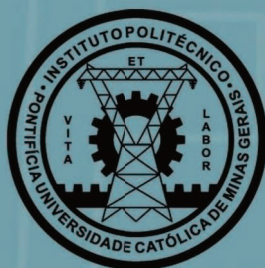


ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DA PUC MINAS



CIPUC

CONGRESSO DO INSTITUTO
POLITÉCNICO DA PUC MINAS



PUC Minas



PUC Minas

**REITOR DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE
MINAS GERAIS:**

Prof. Dom Joaquim Giovanni Mol Guimarães

**VICE-REITORA DA PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DE MINAS GERAIS:**

Prof^a Patrícia Bernardes

DIRETOR DO INSTITUTO POLITÉCNICO DA PUC MINAS

Prof. Attenister Tarcisio Rêgo

COORDENADORA:

Renata Umbelino Rêgo

COMISSÃO ORGANIZADORA

Claudinéia Alves da Silva
Flávio Maurício de Souza
Laís Marino Brandão Pinto
Luiza Bernardes Alves
Leonardo Mitre
Madson Fernando Almeida
Renata Umbelino Rêgo

COORDENADORES DE SESSÃO:

Alessandra Lopes Carvalho
Caio Nelson Nogueira Napoles
Claudete Botaro de Matos
Diego Henrique de Souza Chaves
Gilmar Cordeiro da Silva
Hiram Jackson Ferreira Sartori
Leonel Dimas de Abreu
Luis Carlos Monteiro Sales
Mara Nilza Estanislau Reis
Renata Umbelino Rêgo
Roberts Vinicius de Melo Reis
Thiago Bomjardim Porto
Vania Aguiar Moura

COMISSÃO AVALIADORA

Alberto de Sousa Mol
Amilson Carlos Zanetti
Antônio Hamilton Magalhães
Davidson Geraldo Ferreira
Geraldo Tadeu Rezende Silveira
José Eduardo Brandão
José Luiz Silva Ribeiro
José Rubens Gonçalves Carneiro
Luis Henrique Santos
Luiz Henrique Andrade Maia
Manoel Robério Ferreira Fernandes
Mara Nilza Estanislau Reis
Marcela Rabelo Menezes
Marialva Mota Ribeiro
Osvaldo Luis Manzoli
Pedro Paiva Brito
Sinval Pedroso da Silva
Ubirajara Domingos de Castro
Wéderlley Medes Miranda

AGRADECIMENTOS

A todos que participaram e
contribuíram para realização
do II CIPUC.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

C749a Congresso do Instituto Politécnico da PUC Minas (2. : 2016. : Belo Horizonte, MG).
Anais do II CIPUC [recurso eletrônico] / coordenadora Renata Umbelino Rêgo. Belo Horizonte: PUC-MG, 2016.
E-book (345 p.: il.)

ISBN: 978-85-8239-057-3

1. Ensino Superior - Congressos. 2. Engenharia. 3. Sustentabilidade. 4. Inovações técnicas. 5. Universidades e faculdades - Pesquisa. I. Rêgo, Renata Umbelino. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Instituto Politécnico. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 69

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Paim Brito - CRB 6/2999

SUMÁRIO

METEOROLOGIA: instrumento de auxílio na engenharia civil.....	9
<i>Fernando Júnior Resende Mascarenhas, Edineia Alves Benjamin, Eugênio Batista Leite, Máira Antunes de Oliveira Malta Latanza</i>	
INFLUÊNCIA DA CURA TÉRMICA NO CONCRETO COLORIDO DE ALTA RESISTÊNCIA	21
<i>Cássio Tadeu Alvarenga, Filipe Siqueira Mazzaro, Eduardo Cardoso Ribeiro e Silva, Álvaro Menezes Alves, Ayrton Hugo de Andrade e Santos</i>	
LIGAÇÃO FLEXÍVEL METÁLICA PARA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	33
<i>Carla Cavalcanti Ribeiro, Glenda Miranda de Faria, Julia Lopes Vasconcelos, Sara Silva Teixeira, Juliana Moreira Senna Guimarães, Tássia Morcatti Figueiredo, João Batista Santos de Assis, Péricles Barreto de Andrade</i>	
UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO: estudo de caso aplicado a uma panificadora	43
<i>Melissa Fernandes Soares Silva, Alessandra Lopes Carvalho, Ana Valéria Moreira Magalhães</i>	
A EVOLUÇÃO DA CONFIABILIDADE DE PRODUTOS E PROCESSOS: estudo bibliométrico nacional focado em aplicações industriais.....	53
<i>Amanda Cristina Irias Cachoeira, Letícia Camila Matos, Maria Laura Mendonça Diamantino, Alessandra Lopes Carvalho</i>	
ANÁLISE EXPERIMENTAL DO CONCRETO PÓS-REATIVO SUBMETIDO À CURA TÉRMICA	63
<i>Mayara Roberta de Castro, Talita Arantes Melo, Camila de Moraes Duarte Miranda, Lucas Batista Coelho, Ayrton Hugo de Andrade e Santos, André Newinski</i>	
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À FADIGA DO AÇO AISI 420	75
<i>Murilo Pereira Lopes, Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior, Yuri Adan Cordovil</i>	
SEGURANÇA DO TRABALHO E SEUS IMPACTOS FINANCEIROS NAS INSTITUIÇÕES	83
<i>Emílio Duarte, José Luiz Silva Ribeiro, Isadora Micheline Marques, Hugo de Oliveira Gomes</i>	
ALGORITMO PARA VERIFICAÇÃO DE VIGAS DE SEÇÃO RETANGULAR, SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA, ATRAVÉS DE ENVOLTÓRIAS DE RESISTÊNCIA.....	95
<i>Jonas Paulo Costa Silveira, Tamires Eduarda da Silva, Juliana Torres de Oliveira Bonaldo, Everaldo Bonaldo</i>	
FADIGA E MECÂNICA DA FRATURA EM RODAS FERROVIÁRIAS.....	103
<i>Francisco José Freitas Lopes, Edmilson Ferreira Soares</i>	

USO DO MATLAB PARA RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS	115
<i>Anderson de Oliveira, Dantas de Oliveira, Everaldo Bonaldo, Fernando Júnior Resende Mascarenhas, Juliana Torres de Oliveira Bonaldo</i>	
AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DA TERMOGRAFIA APLICADA A MEDIÇÃO DE DESGASTE EM TUBULAÇÃO	125
<i>Hudson Henrique Oliveira, Isaac Ribeiro da Cruz, Renato Arruda de Oliveira, Thiago Ali Resende Lauar</i>	
EXTRAÇÃO DA LIGNINA PRESENTE NO LICOR NEGRO PARA ADSORÇÃO DE METAIS PESADOS	137
<i>Caique Prado M. Oliveira, Marcela Rachid Silva, Mayra do Carmo Siqueira, Yasmim Arantes da Fonseca</i>	
ANÁLISE DA ELETRODIÁLISE PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MINERAÇÃO DE OURO	147
<i>Amanda Vitória Santos, Rana Gabriela Lacerda Santos, Laura Hamdan de Andrade, Míriam Cristina Santos Amaral</i>	
O EMPREGO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS NA ENGENHARIA CIVIL: uma proposta metodológica	159
<i>Everaldo Bonaldo, Fernando Júnior Resende Mascarenhas, Juliana Torres de Oliveira Bonaldo, Ricardo Siervi Natali</i>	
COMPARAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE FADIGA STAIRCASE E OS CRITÉRIOS DE FALHA UTILIZADOS EM PROJETOS DE MÁQUINAS.....	171
<i>Marília Mansur Ferreira de Resende Chaves, Guilherme Celeghini Ferreira, José Rubens Gonçalves Carneiro</i>	
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E FENDILHAMENTO DO PARAFUSO DE MADEIRA	181
<i>Marina Emília Muniz Costa, Túlio Pinheiro Duarte, Nathália Mateus Fidelis, Ayrton Hugo de Andrade e Santos</i>	
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO COM USO DE ENERGIA SOLAR	191
<i>Ana Cláudia de Melo Cunha, Carlos Alexandre Costa e Costa, Dr.^a Mara Nilza Estanislau Reis, Nayara Stephanie da Silva Kischka</i>	
SIMULAÇÃO DE UMA BANCADA DE TESTE PARA CONTROLE DE SUSPENSÃO AUTOMOTIVA.....	203
<i>Tarcísio Flávio Umbelino Rêgo, Saint Clair Duarte Moreira</i>	
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHA DO EIXO-LUBRIFICADOR DE UMA MÁQUINA OPERATRIZ (PRENSA HIDRAÚLICA)	225
<i>Pedro Vital Martins Neto, Felipe Guimarães Lopes, Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior</i>	

RESISTÊNCIA DE UM PINO DE SUSTENTAÇÃO DE UMA LINHA DE VIDA, QUANDO SUBMETIDO A TESTES DE SIMULAÇÃO DE QUEDA HUMANA	241
<i>Pedro Vital Martins Neto, Felipe Guimarães Lopes, Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior</i>	
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL BIOCONSTRUTIVO PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO COM MATRIZ CERÂMICA A BASE DE CIMENTO SOREL.....	255
<i>Letícia Guerra Dias, Gabriel Diniz Junqueira, Matheus Teixeira Maia, Roberto Hiroshi Nakata, Euler de Oliveira Guerra, Manoel Robério Fernandes, Viviane Silva Gomide</i>	
FADIGA EM TREM DE POUSO: carregamento e avaliação.....	263
<i>André Fioravante de Oliveira, Paulo Rogério Granja</i>	
ESTUDO DOS AVANÇOS NAS METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA DE ANCORAGENS NO SOLO.....	273
<i>Brenda de Souza Melo, Bruno Augusto Fonseca Duarte Ribeiro, Jakson Silva Correia, Thiago Bomjardim Porto</i>	
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS ANCORADAS.....	285
<i>Brenda Machado de Souza Leopoldino, Hudson Rodrigo Gonçalves Caires, Mayra Bolina Marques, Thiago Bomjardim Porto</i>	
OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS WEB	297
<i>Denise Christie de Oliveira Capanema, Krizyan Vitória Gomes Franklin, Thiago Bomjardim Porto</i>	
ANÁLISE QUALITATIVA DE JUNTAS DISSIMILARES DE AÇO 1020 E COBRE UNIDAS POR SOLDA A FRICÇÃO	309
<i>Victor Maciel Cunha, Leonardo Ferreira de Melo, Luiz Carlos Figueiredo, Ayrton Hugo de Andrade, Leonel Dimas de Abreu</i>	
DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS TÉRMICOS	319
<i>Paulo César Gesualdo Júnior, Mara Nilza Estanislau Reis</i>	
BLICK: leitor de livros digitais em braille.....	329
<i>Juscelino Junior de Oliveira</i>	
A INFLUÊNCIA DO USO DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO COMO AGREGADO DE CONCRETO	337
<i>Priscila Alves da Silva Machado, Tadeu Henrique de Lima, André Luiz Bastos Pessoa, Lorena Alves da Silva Machado</i>	

METEOROLOGIA: instrumento de auxílio na engenharia civil

Fernando Júnior Resende Mascarenhas*

Edineia Alves Benjamin**

Eugênio Batista Leite***

Maíra Antunes de Oliveira Malta Latanza****

RESUMO

A urbanização tem grande potencial transformador o que, por sua vez, acaba gerando grandes impactos nos grandes centros urbanos, devido à impermeabilização do solo, intenso fluxo de carros e grandiosas construções. O Engenheiro Civil é agente ativo nessa transformação social, sobretudo nos aspectos físicos. Uma ferramenta muito poderosa que auxilia os Engenheiros Civis nos exercícios de suas atividades, é a Meteorologia. A meteorologia, que se ocupa em estudar os fenômenos atmosféricos, é de grande valia para a Engenharia Civil, uma vez que ela fornece subsídios para se evitar prejuízos, dias mais quentes, mais chuvosos, enfim, ela permite, através de um estudo climatológico bem feito, que se estabeleçam os dias mais propícios à construção: os dias típicos de projeto.

Palavras-chave: Condições atmosféricas. Meteorologia. Instrumento de auxílio. Engenharia Civil.

ABSTRACT

Urbanization has great transformative potential which, in turn, ends up generating major impacts in large urban centers, due to soil sealing, heavy flow of cars and tall buildings. The Civil Engineer is an active agent in this social transformation, especially in physical aspects. A very powerful tool that helps Civil Engineers in the exercise of their activities is the Meteorology. The Meteorology, which deals with atmospheric phenomena studies, is of great value for Civil Engineering, since it provides subsidies to avoid losses, warmer and/or rainier

* Engenheiro Civil, pela PUC Minas no Barreiro e Estudante de Mestrado em Engenharia de Estruturas

** Engenheira Civil formada pela PUC Minas.

*** Professor Mestre e Pró-Reitor da PUC Minas em Betim.

**** Engenheira Civil formada pela PUC Minas.

work days, finally, it allows, through a climatological well done study, to establish the most conducive days to build: the typical day project.

Keywords: Weather conditions. Meteorology. Aid instrument. Civil Engineering.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil é um ramo muito vasto, abrangendo os mais variados campos do conhecimento: da matemática à física, da biologia à química, da geografia à geologia e, inclusive, a meteorologia. Na antiguidade o homem aprendeu que não era possível controlar os fenômenos da natureza, mas que era capaz de estabelecer uma convivência harmoniosa com ela. Apenas a partir do momento que ele percebeu que tal convivência lhe traria muitos benefícios, ele passou a tentar entender e quantificar o tempo e, de maneira mais abrangente, o clima.

Mesmo antes do advento da meteorologia em si, os construtores da antiguidade procuram meios para entender o tempo para que assim pudessem realizar obras de maneira mais eficiente e que aproveitassem ao máximo os recursos naturais, como luminosidade e ventilação natural (ALCOFORADO, 1999).

Siqueira et al. (2005) destacam que “os dados climáticos da região onde uma habitação é construída, são parâmetros importantes para avaliação do desempenho térmico da mesma” e para a correta avaliação “são necessários os dados horários referentes à radiação solar, à temperatura do ar e à umidade relativa do ar”. Além disso, “a construtora que começa uma obra sem se importar com os aspectos meteorológicos normalmente acaba submetendo seu canteiro de obras a paralisações parciais ou totais, afetando a produtividade dos serviços” (SANTOS, 2012).

Segundo Magalhães Filho (2015), a inexistência de áreas verdes, a verticalização, a contaminação ou poluição do ar, a baixa umidade relativa, ou seja, o processo de urbanização desorganizado acarreta no fenômeno de ilhas de calor, que relaciona diretamente a alterações de volumes pluviométricos por exemplo.

Frente a isso, este artigo propõe-se a estabelecer um elo entre a Construção Civil e a Meteorologia através do uso de artigos científicos que tratem do tema e de uma visita realizada ao Centro de Climatologia Tempo Clima/Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Além disso, pretende-se relatar como a meteorologia exerce grande influência na construção civil, de maneira clara, objetiva e bem exemplificada.

Para tanto, este artigo analisará como a urbanização altera as variáveis climáticas no âmbito local; apresentará o conceito de meteorologia, básica e complexa; demonstrará a relação do homem com o clima e a construção, desde a antiguidade; para, então, esclarecer a importância da meteorologia na Engenharia Civil.

1.1 Metodologia

Este artigo baseia-se em uma revisão bibliográfica e desenvolveu-se utilizando artigos científicos em Língua Portuguesa que tratem da temática aqui abordada, bem como realizou-se uma visita de caráter técnico e exploratório no Centro de Climatologia Clima Tempo/PUC Minas, e foi feita uma entrevista realizada com o geógrafo Thiago Nadú Andrade e com o climatologista Heriberto dos Anjos Amaro, que trabalham no referido centro de climatologia.

2 A URBANIZAÇÃO E O CLIMA

A priori, faz-se necessário esclarecer o significado de urbanização, que é o aumento do percentual da população urbana sobre a rural; isto é, a população urbana cresce mais que a rural (MIRANDA, 2006). Desde meados da década de 20, o Brasil é considerado um país urbano, uma vez que a maioria de sua população vive nas cidades. No decorrer dos anos, a população brasileira cresceu de modo expressivo, o que acarretou, também, o crescimento das cidades, que cada vez mais foram se adaptando aos anseios das pessoas (MIRANDA, 2006).

Com a evolução da sociedade e desenvolvimento frenético da urbanização, as pessoas foram modificando seu ecossistema urbano, isto é, as ruas tornaram-se cada vez mais pavimentadas, o que acaba por impermeabilizar o solo; altíssimas construções nas regiões centrais dos grandes centros urbanos, o que prejudica a circulação do ar; a contínua e descontrolada emissão de gases estufa; a poluição gerada pelas indústrias; a canalização de cursos d'água; o desmatamento a fim de atender caprichos estéticos, como a construção de *shopping centers*, hotéis, dentre outros; além da imensa quantidade de resíduos produzidos pela população (CIDIN; SILVA, 2004).

Todas essas interações e alterações no ambiente fazem com que, de forma direta ou indireta, as variáveis climáticas de um determinado local sejam alteradas, criando, assim, microclimas (LIMA; ZANELLA, 2011). Portanto, o clima urbano nada mais é do que uma modificação do clima local, modificações essas oriundas da maneira como se deu a ocupação do solo naquele lugar, propriedades dos materiais constituintes, tipo e nível de agrupamento das

construções, pavimentação asfáltica, fluxo de carros e pessoas, além da poluição atmosférica. O que acaba alterando as condições de insolação, ventilação, precipitação e até a própria temperatura do local (ALMEIDA; BARBIRATO, 2004).

Segundo Tavares, citado por Vasconcelos e Zamparoni (2011), “processo de urbanização, conduzido pelo homem, é o principal agente modificador do ambiente e que as transformações na superfície tornam o clima, uma das variáveis mais importantes do meio natural, mais vulnerável, sofrendo sérios impactos” (TAVARES apud VASCONCELOS; ZAMPARONI, 2011).

Mardock et al. (2014) ressaltam que

ambientes cercados de vegetação são mais úmidos, sua temperatura do ar e do solo são bem menores do que em uma área sem vegetação, já os ventos são menos intensos em áreas com vegetação devido ao ar frio ser mais pesado, porém em área sem vegetação a intensidade dos ventos é bem maior devido ao ar ser quente e bem mais leve (MARDOCK et al. 2014, p. 5).

Estudos conduzidos por Costa e Oliveira (1996), em Belém, Pará, mostraram um fato interessante, a temperatura do ar durante a semana aumentava das periferias para o centro, devido ao intenso fluxo de veículos e número de edificações. Por outro lado, nos finais de semana, principalmente no domingo, ocorria o inverso, a temperatura aumentava do centro para a periferia, uma vez que esse é um local para o qual as pessoas se dirigem a fim de encontrar lazer (COSTA; OLIVEIRA, 1996). Vasconcelos e Zamparoni (2011), através de projeto de pesquisa realizado em Cuiabá, Mato Grosso, mostram que áreas residenciais, pouco urbanizadas e próximas a áreas verdes têm menos influência no “comportamento das médias da temperatura e umidade relativa do ar registradas” em comparação com áreas mais intensamente urbanizadas, com comércio e verticalização.

3 METEOROLOGIA

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a meteorologia pode ser entendida como a ciência que estuda os fenômenos que acontecem na atmosfera, isto é, ela ocupa-se na obtenção de informações relacionadas ao tempo e, conseqüentemente, ao clima; o que faz com que ela não seja uma ciência restrita e simples, uma vez que a mesma engloba as mais diferentes variáveis climáticas, sendo portando, algo complexo (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016).

A meteorologia básica é mais restrita e simples, já que ela fornece dados relativos a

fenômenos que ocorrem do dia a dia. Por outro lado, uma meteorologia mais complexa faz um estudo, uma observação mais aprofundada de tais fenômenos em um determinado período de tempo e em um lugar específico (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016). Por sua vez, o meteorologista é o profissional, com formação superior, nesta área. E estação meteorológica é o lugar no qual se reúnem os mais diferentes instrumentos de medição.

4 UTILIZAÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS NA ANTIGUIDADE

Desde a antiguidade, já se notava a correlação entre o clima de um determinado lugar e a construção que lá se realizaria. Segundo a investigadora do Centro de Estudos Geográficos e Professora Associada da Universidade de Lisboa, Maria João Alcoforado (1999, p. 84), “as estratégias adotadas pelo Homem para combater impactos climáticos negativos e tirar partido dos elementos positivos da ambiência atmosférica que o cerca, são patentes na arquitetura tradicional” (ALCOFORADO, 1999, p.84). Isto é, desde o momento a partir do qual o homem passou a construção, ele tinha a preocupação meteorológico-climática embutida.

Potcher (1989), citado por Alcoforado (1999, p.84), afirma que “no planejamento das cidades gregas (500 a.C) as condições climáticas já eram consideradas. Yoshino, citado por Alcoforado (1999, p. 84) dizia que:

o engenheiro arquiteto romano Marcus Vitruvius estabeleceu, no início da era cristã, as seguintes regras: o local de construção ideal será uma colina; a orientação de vertente e a distância a pântanos e ao litoral também se terão em conta; as ruas principais deverão ter uma direção intermediária entre a dos dois rumos predominantes do vento. (YOSHINO apud ALCOFORADO, 1999, p. 84).

Já Vitruvius, que escreveu a obra *10 livros em arquitetura* citado por Cabús (2002, p. 4), destaca a importância do conhecimento das condições climatológicas para se realizar uma construção:

parece ser necessário desenvolver tipos de edificações de um jeito no Egito, de outra forma na Hispânia, ainda diferentemente em Pontus, bem como em Roma e assim por diante de acordo com as propriedades distintas de outras terras e regiões. Isto devido a que em uma parte do mundo a Terra é superaquecida pela ação do sol, enquanto em outra se situa bem distante dele, assim como em uma outra parte ela se situa em uma distância intermediária. (VITRUVIUS apud CABÚS, 2002, p. 4).

Logo, nota-se como as condições climáticas interferem na edificação de algo, daí a importância de se ter dados sobre as condições meteorológicas de um determinado lugar. Percebe-se como as condições climatológicas influam quanto a forma, materiais e locais nos

quais se construiriam algo. Não muito distante cronologicamente, várias cidades modernas, como Camberra, Brasília e Chandrigarh tiveram suas construções orientadas a partir de informações climáticas; permitindo que os interiores das construções se tornassem mais confortáveis na medida do possível.

5 A METEOROLOGIA A SERVIÇO DA ENGENHARIA CIVIL

Todas as pessoas, em suas atividades cotidianas, estão continuamente sofrendo influências das variáveis climáticas; porém, na maior parte das vezes, elas não causam grandes problemas, passando até mesmo imperceptíveis.

Em uma obra, por exemplo, a construção de um prédio, ou de uma rodovia, as condições climáticas são de extrema importância, uma vez que as mesmas exerceram grande influência não apenas sobre as estruturas dessa obra, como também em suas matérias, diminuindo sua durabilidade e, até mesmo, influenciando no prazo estipulado para que a mesma terminasse, causando, assim, prejuízos. Para Santos (2012),

o conhecimento climático também fez avançar a gestão do canteiro de obras, fazendo com que as empresas se prevenissem contra períodos longos de instabilidade meteorológica, protegendo os materiais de construção, drenando o terreno e promovendo o encaibramento de áreas onde o tráfego de veículos e maquinários, além da circulação de trabalhadores, é mais intenso (SANTOS, 2012).

José Geraldo Canhoto, especialista em gerenciamento e supervisão de obras, entrevistado por Santos (2012), enfatiza que apenas construtores e/ou engenheiros “desprevenidos deixam obras atrasar por causa de imprevistos meteorológicos”, já que os avanços nas previsões meteorológicas são constantes.

Muito mais do que se determinar a ocorrência de precipitações, a meteorologia é ferramenta essencial no desenvolvimento econômico do país: na agricultura, na geração de energia em usinas hidrelétricas, que dependem do volume de água, e nas mais diversas atividades econômicas”, contribuindo, assim, na prevenção de “acidentes e prejuízos para os setores de serviços e produção” (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SERGIPE, 2015).

As empresas de construção civil podem contratar os serviços de um centro de climatologia para que o mesmo, através do monitoramento do tempo, possa emitir alertas e fornecer informações de suma importância para a obra, o que são instrumentos eficazes para a redução de riscos e aumento da segurança na construção. Os centros de meteorologia informam

antecipadamente a ocorrência de chuvas, fortes ou não, com ventos, raios, granizos, dias com sol, propícios à construção, dentre outros. (CLIMATEMPO CONSULTORIA, 2013).

O estudo climático de uma obra permite que os engenheiros diminuam os prejuízos relativos a atrasos, oriundos de fenômenos climáticos, ou que possam ter subsídios para justificar o atraso, como dias de chuva, que acabam atrasando o comprimento do cronograma estabelecido; ventos muito fortes, o que pode interferir, por exemplo, na construção de grandes edifícios ou pontes, até mesmo a questão da incidência de descargas elétricas. (CLIMATEMPO CONSULTORIA, 2013).

Segundo Amaro (2010), as construtoras envolvidas na construção do novo Centro Administrativo do Estado de Minas Gerais, encomendaram estudos climáticos acerca do local onde seria realizada a obra, a fim de se obter uma maior eficiência em sua execução e tentar evitar possíveis transtornos (AMARO, 2010).

Além disso, ao conhecerem-se as condições atmosféricas de lugar é possível que se projete uma edificação adaptada ao clima do lugar no qual ela será construída, diminuindo, assim, os gastos com energia, água, já que se pode fazer uma casa, por exemplo, de tal maneira que se aproveite das condições do lugar para que os cômodos fiquem mais bem iluminados, se for um local com muita precipitação, que haja mecanismos para a captação o reaproveitamento da água pluvial. Segundo Maria João Alcoforado:

selecionar, quando possível, a melhor localização, posição relativa e orientação para conjuntos de edifícios, a localização e a estrutura mais adequada para os espaços verdes, até, aconselhar decisões sobre pormenores que poderiam parecer secundários, como a localização das entradas dos edifícios (ALCORORADO,1999, p.86).

Garrocho (2005) ressalta que “uma das principais funções de uma edificação é a de atenuar as condições negativas e aproveitar os aspectos positivos oferecidos pela localização e pelo clima. Portanto, trata-se de neutralizar as condições climáticas desfavoráveis e potencializar as favoráveis, tendo em vista o conforto dos usuários”. A título de exemplificação, Garrocho (2005) a importância da luz oriunda do Sol:

a intensidade e distribuição da luz no ambiente interno dependem de um conjunto de fatores, tais como: da disponibilidade da luz natural (quantidade e distribuição variáveis com relação às condições atmosféricas locais), de obstruções externas, do tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas (verticais e/ou horizontais), das características óticas dos fechamentos transparentes, do tamanho e geometria do ambiente e da refletividade das superfícies internas. Um bom projeto de iluminação natural usufrui e controla a luz disponível maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens. As decisões mais críticas, a este respeito, são tomadas nas etapas iniciais de projeto (GARROCHO, 2005, p. 37).

Os fatos destacados por Alcoforado (1999) e Garrocho (2005) reafirmam, mais uma vez, o papel crucial que o conhecimento das condições climáticas, intensidade de ventos e de luz solar, exercem na concepção de um projeto de uma edificação.

5.1 Dias típicos de projeto

Além dos benefícios acima citados, ao empregar-se a meteorologia na Engenharia Civil, é possível que se estabeleçam os dias típicos de projeto. Segundo Siqueira et al. (2005),

O dia típico de projeto é definido como um dia real, caracterizado pela velocidade média predominante do vento e pelos valores horários de cada uma destas variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar incidente em superfície horizontal (SIQUEIRA et al., 2005).

Para que se determinem esses dias típicos de projeto, é necessário que se faça um levantamento climatológico do local onde se realizará o projeto num período de 10 a 15 anos (SIQUEIRA et al. 2005). Há toda uma metodologia a ser seguida para se estabelecer esses dias. Primeiramente, faz-se um estudo dos meses mais quentes e mais frios do ano; na segunda etapa, devem-se determinar os valores das temperaturas máximas e mínimas diárias; na terceira etapa, analisa-se a frequência com que essas temperaturas aparecem; na quarta etapa, calcula-se a Temperatura de Bulbo Seco, a Umidade Relativa, a Radiação Solar, a Velocidade dos Ventos, direção do vento predominante; na quinta e última etapa, reuniu-se todos os dados coletados os processa e se estabelecem os dias típicos de projeto (SIQUEIRA et al. 2005).

6 CONCLUSÃO

Devido à urbanização e a frenética procura do ser humano em sempre melhorar sua condição de vida nas cidades, como a impermeabilização das ruas, a construção de imensos edifícios, o consumo exacerbado de combustíveis fósseis e o intenso fluxo de pessoas e veículos, acabou gerando microclimas urbanos e as famosas ilhas de calor.

Desde a antiguidade, as pessoas usavam a meteorologia para nortearem-se quanto a construção e realização de grandes obras. Atualmente, pode-se dizer que meteorologia e engenharia civil andam de mãos dadas, uma vez que aquela fornece dados e informações para que se possa realizar uma obra com a máxima eficiência e sem a interferência dos fenômenos atmosféricos. Ou seja, a meteorologia é uma ferramenta utilizada pela engenharia civil a fim de

se identificar os dias e/ou períodos mais propícios para que as obras ocorram, facilitando a execução de projetos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Heriberto dos Anjos Amaro e ao Thiago Nadú Andrade, do TempoClima PUC Minas por toda generosidade, todo conhecimento transmitido e todo auxílio na realização deste artigo. Agradecemos, também, ao professor Eugênio Batista Leite, da PUC Minas, por tamanha generosidade, paciência e suporte.

REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, Maria João. Aplicação da climatologia ao planeamento urbano: alguns apontamentos. **Finisterra**, Lisboa, v. 67-68, n. 34, p. 83-94, 1999.

ALMEIDA, Eveline M. de A.; BARBIRATO, Gianna M. A morfologia urbana como determinante de variações climáticas locais: estudo comparativo das orlas marítima e lagunar de Maceió – AL. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0159d.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2016.

AMARO, Heriberto dos Anjos. **Meteorologia**. Belo Horizonte: Tempo Clima/PUC Minas, 14 set. 2010. Entrevista concedida a Edineia Alves das Dores, Fernando Júnior Resende Mascarenhas e Maíra Antunes de Oliveira Malta.

ANDRADE, Thiago Nadú. **Meteorologia**. Belo Horizonte, TempoClima/PUC Minas, 14 set. 2010. Entrevista concedida a Edineia Alves das Dores, Fernando Júnior Resende Mascarenhas e Maíra Antunes de Oliveira Malta.

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Clima e conforto ambiental**: um estudo para Maceió. Alagoas: UFA, p. 1-20, 2002. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/cct/rcabus/Clima%20e%20Conforto%20Ambiental%20-%20Um%20estudo%20para%20Maceio%20v1.0.htm>. Acesso em: 15 jun. 2016.

CIDIN, Renata da Costa Pereira Jannes; SILVA, Ricardo Siloto da. Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. **Revista Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 2, n. 1, 2004. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/PROFESSORES/iarasantos/CA/PE/Pegada%20ecologica_2004.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2016.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SERGIPE. **A importância da meteorologia vai muito além de saber “se vai chover hoje”**. Aracaju: CREA-SE, 2015. Disponível em: <http://www.crea-se.org.br/a-importancia-da-meteorologia-vai-muito-alem-de-saber-se-vai-chover-hoje/>. Acesso em: 13 jun. 2016.

COSTA, Antonio Carlos Lôla da; OLIVEIRA, Maria do Carmo Felipe de. Influências das atividades urbanas no comportamento da temperatura do ar na cidade de Belém-PA. Belém: UFPA, p.1-3, 1996. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/33799829/21-7fb21460a6d9863dd676f43978edfbb9>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

EMPO CONSULTORIA. Construção civil aposta em novidade para melhorar desempenho em 2013. [S.l.]: Climatempo Consultoria, 2013. Disponível em: <<http://www.climatempoconsultoria.com.br/construcao-civil-aposta-em-novidade-para-melhorar-desempenho-em-2013/>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Instrumentos Meteorológicos. Brasília: INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=instrumentos>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Meteorologia Básica. Brasília: INMET, 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=meteorologia_basica>. Acesso em: 16 jun. 2016.

GARROCHO, Juliana Saiter. **Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação Zenital em centros de compras.** 2005. 129f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/luz%20natural%20e%20projeto.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

LIMA, Lorena Cavalcante; ZANELLA, Maria Elisa. A climatologia aplicada ao planejamento urbano a ambiental de Aquiraz/CE-BR. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, Número Especial EGAL, p. 1-13, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2633>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

MAGALHÃES FILHO, Luiz Cláudio de Almeida; ABREU, João Francisco de. Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória. **Revista Sistemas, Cibernética e Informática**, v. 12, n. 1, p. 1-6, 2015. Disponível em: <[http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risci/pdfs/CA396VP13.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risci/pdfs/CA396VP13.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2016.

MARDOCK, Margarete Marizi Oliveira et al. Comportamento de alguns elementos climáticos em relação à cobertura do solo numa área urbana no município de Ananindeua – PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VI-059.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

MIRANDA, Ângelo Tiago de. Urbanização no Brasil: consequências e características das cidades. **Uol Educação**, 2006. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

SANTOS, Altair. **Previsão meteorológica vira aliada da construção civil.** [S.l.]: Massa

Cinzenta, 2012. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/previsao-meteorologica-vira-aliada-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Centro de Climatologia TempoClima. **PUC Minas TempoClima**. Contagem: PUC Minas TempoClima, 2016. Disponível em: <<http://www.pucminastempoclima.com.br/apresentacao/institucional>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SIQUEIRA, Túlio Cesar Pessotto Alves. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 2, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000200007>. Acesso em: 17 jun. 2016.

VASCONCELOS, Laura Cristina da Silva; ZAMPARONI, Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira. Análise do Microclima em Cuiabá-MT: um estudo de caso nos bairros Duque de Caxias e dos Bandeirantes. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, n. 16, p. 16-33, 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/26018>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

INFLUÊNCIA DA CURA TÉRMICA NO CONCRETO COLORIDO DE ALTA RESISTÊNCIA

Cássio Tadeu Alvarenga*

Filipe Siqueira Mazzaro**

Eduardo Cardoso Ribeiro e Silva***

Álvaro Menezes Alves****

Ayrton Hugo de Andrade e Santos*****

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizado em obras de construção civil, sendo sua aceitação devido à versatilidade, durabilidade e resistência. O desenvolvimento de novas tecnologias na construção civil, principalmente em relação ao concreto, tem como principal objetivo aumentar a vida útil de empreendimentos, promovendo a melhoria das propriedades dos elementos adotados. O concreto colorido de alta resistência é uma destas inovações do setor da construção civil, no entanto, o pigmento que promove sua coloração pode reduzir sua resistência. Além do pigmento, outro importante fator a ser analisado é a cura do concreto. A cura correta evita a perda precoce de umidade e auxilia no controle da temperatura por um período adequando, aumentando as propriedades mecânicas e reduzindo a absorção de água. Este estudo tem por objetivo analisar a influência da cura térmica no concreto colorido de alta resistência, sendo avaliado por meio da compressão axial de corpos de prova cúbicos e cilíndricos. Foram moldados 4 corpos de prova cúbicos com arestas de 100 mm e 4 corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura nos tempos de cura de 7 e 21 dias. Os resultados indicaram que a cura térmica alterou ligeiramente a pigmentação dos corpos de prova, porém aumentou em 32% a resistência a compressão do concreto.

Palavras-chave: Cura térmica. Concreto colorido. Resistência.

* Graduando em Engenharia Civil – IPUC / PUC Minas - cassiotalvarenga@yahoo.com.br

** Graduando em Engenharia Civil – IPUC / PUC Minas - filipemazzaro@hotmail.com

*** Graduando em Engenharia Civil – IPUC / PUC Minas - educrs93@gmail.com

**** Graduando em Engenharia Civil – IPUC / PUC Minas - alvaromenezes_92@hotmail.com

***** Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil – IPUC / PUC Minas – ayrtonhugo@pucminas.br

ABSTRACT

The concrete is one of the most widely materials used in construction works, and its acceptance due to the versatility, durability and strength. The development of new technologies in construction, especially in relation to the concrete, aims to increase the life of enterprises, promoting the improvement of the properties of elements adopted. The colored high strength concrete is one of these innovations in the construction sector, however, the pigment that promotes their coloring can reduce their resistance. In addition to the pigment, another important factor to be considered is the cure of concrete. The proper healing to prevent premature loss of moisture and aids in temperature control by adjusting a time, increasing the mechanical properties and reducing the water absorption. This study aims to analyze the influence of thermal curing in the colored high strength concrete, being evaluated by axial compression cubic and cylindrical specimens. Was used 4 cast cubic specimens with edges of 100 mm and 4 cylindrical specimens with 100 mm diameter and 200 mm high in curing times of 7 and 21 days. The results showed that thermal cure slightly altered pigmentation of the specimens but increased by 32% compressive strength of the concrete.

Keywords: Thermal Cure. Colored concrete. Strength.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto por uma mistura de agregados, aglomerantes e água. Muitas vezes outras adições são realizadas com o intuito de variar as propriedades mecânicas ou alterar as características físicas deste compósito. No caso particular do concreto colorido, que segundo Rivera (2007) é o concreto cujas superfícies cumpram funções estéticas e apresentam uma aparência previsível, ao ser realizado a adição de um pigmento a resistência mecânica deste concreto à compressão tende a reduzir.

A produção do concreto colorido pode ocorrer de três modos diferentes: Por pintura da superfície do concreto após o endurecimento do mesmo, por adição de pigmentos na mistura ou por combinação dos componentes do concreto conseguindo assim colorações derivadas da sua cor natural (HENAO; CELEDÓN; AVENDANO, 1999 apud PASSUELO, 2004).

1.1 A cura do concreto

Segundo Mehta (1994), a cura é o procedimento destinado a promover a hidratação do cimento, consistindo do controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas formas. Este processo tem por objetivo evitar a evaporação precoce da água necessária à hidratação do cimento, o qual é responsável pela pega e endurecimento do concreto. A evaporação é provocada pela temperatura ambiente, vento e a umidade relativa do ar. A influência é maior quando há uma combinação destes fatores (BATTAGIN et al. 2010).

A perda de água pode ser evitada através da saturação do ambiente, eliminando-se a passagem de água do concreto para o meio. A qualidade do concreto é reduzida quando há perda de parte desta água. Por tal motivo, a cura tem o propósito de manter o concreto saturado até que todos os espaços ocupados inicialmente pela água sejam substituídos pelos produtos da hidratação, e assim, promova a redução da porosidade, absorção de água, fissuração e eflorescência do concreto, os quais contribuem para a durabilidade das estruturas. Por isso, a cura é de fundamental importância para que o concreto atinja o melhor desempenho.

1.1.1 Cura térmica

A cura térmica é realizada em câmaras que mantêm o concreto em altas temperaturas e vapor saturado. O principal objetivo é tornar mais rápido o processo de cura dos concretos e obter uma resistência mecânica mínima desejada em um pequeno período de tempo, e assim, ser manuseado nas primeiras idades. Esta técnica permite otimizar o traço do concreto e garantir a umidade necessária ao concreto, e assim, acelera a velocidade de ganho de resistência pelo aquecimento (CAMARINI; CINCOTTO, 1995).

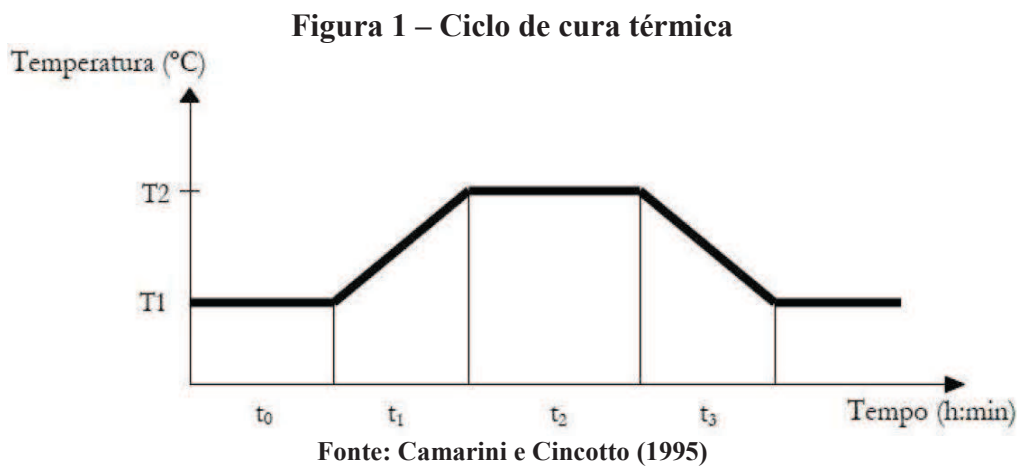
De acordo com Neville (1997), a cura térmica funciona como aceleradora das reações de hidratação do cimento. Uma temperatura elevada durante e após o contato inicial entre o cimento e a água reduz a extensão do período de latência, de modo que a estrutura total da pasta de cimento hidratada se define mais cedo, proporcionando enrijecimento mais rápido e reduzindo o tempo de início de pega.

Ainda segundo Camarini e Cincotto (1995), a cura térmica é considerada mais eficiente, pois possibilita um melhor aproveitamento das formas, equipamentos e espaço para estocagem dos elementos, e assim, haverá maior agilidade na entrega das peças, quando comparadas com o processo de cura convencional. No entanto, este tipo de cura deve atentar para o perigo da

evaporação de uma parcela da água necessária à hidratação do cimento, a qual pode provocar microfissuras. Outro importante fator a ser avaliado se deve à grande velocidade inicial de hidratação, em que pode não haver tempo para a propagação dos produtos para posições mais distante das partículas de cimento, o que forma interstícios.

A cura térmica em atmosfera saturada de vapor pode ser realizada de duas maneiras:

- com pressão e temperaturas elevadas (acima de 100°C), conhecida como cura em autoclave e;
- à pressão atmosférica, com temperaturas inferiores a 100°C (CAMARINI; CINCOTTO, 1995). No que diz respeito à cura térmica à pressão atmosférica, as temperaturas não devem exceder 80°C , para não causar modificação na microestrutura do concreto. Assim, Camarini e Cincotto (1995) apresentam um ciclo de cura que deve ser observado.



em que:

- T1: Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);
- T2: Temperatura máxima atingida no ciclo ($^{\circ}\text{C}$);
- t0 : Período de espera (h:min). Período de tempo decorrido entre a mistura do aglomerante com a água e o início do aquecimento. Deve coincidir com o tempo de pega do concreto.
- t1 : Período de elevação da temperatura (h:min). Aumento controlado da temperatura de cura (em gradiente controlado), não podendo ser superior a 20°C por hora, de acordo com a NBR 9062/2006.
- t2: período de manutenção da temperatura (h:min). Regime isotérmico até que se atinja a resistência desejada, sendo definido de acordo com as necessidades de desforma e

utilização.

- f) t3: período de esfriamento (h:min). Diminuição controlada da temperatura das peças até a temperatura ambiente (no máximo 30°C por hora), segundo a NBR 9062/2006.
- g) G1: Gradiente de aquecimento.
- h) G2: Gradiente de resfriamento.

Vale ressaltar que neste método a elevação da temperatura deva ser gradativa até atingir 70°C. O vapor deve ser homogêneo em torno de 5 horas com a câmara fechada. A redução de temperatura, assim como a elevação, deve ser gradativa, até que a peça de concreto atinja a temperatura ambiente, podendo ser transportado.

Aldea et al. (2000) ressaltam que concretos curados termicamente a 80 °C apresentam queda de resistência em relação a concreto curado por imersão após 28 dias. Essa queda da resistência pode ser atribuída, como já dito, a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação, devido à rápida hidratação inicial dos compostos, ocasionando perda de resistência e aumento da porosidade (MARTINS, 2001; FERREIRA JÚNIOR, 2003).

1.1.2 Cura química

A cura química é realizada por meio de um processo de aspersão de produto químico, gerando um filme sobre a superfície tratada evitando a evaporação da água.

Devido ao seu desempenho, a cura química geralmente é utilizada em estruturas maiores, como barragens, rodovias, pontes e aeroportos. Nestas estruturas é importante que o produto utilizado atenda às especificações normativas, que estabelece uma evaporação máxima de 0,55 kg de água/m² por um período de 72 horas.

A aplicação da cura química é indicada quando não é possível realizar a cura úmida, que é o processo de cura mais comum nas aplicações práticas. O seu desempenho é compatível com a cura úmida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Fôrma

Para que o corpo de prova atingisse o formato desejado, foram criadas três formas cúbicas com faces de 100mm x 100mm a partir de chapas de madeira Medium Density Fiberboard (MDF) com dimensões de 420mm x 540mm. A confecção das formas se deu no Laboratório de Maquete do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas, no campus Coração Eucarístico. O MDF foi escolhido pelo fato de se tratar de um material reconhecido por sua resistência, estabilidade, capacidade de ser perfurado e pintado, que eram características essenciais para o bom prosseguimento da concretagem. Inicialmente as chapas de madeira foram cortadas na dimensão citada anteriormente e lixadas, buscando uma superfície mais lisa possível. Depois, com as seis faces de cada cubo prontas, deu-se início ao processo de furação das mesmas, com o auxílio de uma parafusadeira, para colocação de parafusos, como apresenta-se na Figura 2. A escolha por parafusos ocorreu pela facilidade que é proporcionado no processo de desforma. Com todas as faces prontas, as mesmas foram rosqueadas para se obter o cubo.

Figura 2 – Confecção das fôrmas cúbicas



Fonte: Acervo pessoal

Figura 3 - Fôrmas cúbicas finalizadas



Fonte: Acervo pessoal.

2.2 Traço do concreto

Seguindo as recomendações da Norma Brasileira (NBR 12655, 2006) Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, por se tratar de um concreto superior a classe C25, foi elaborado um traço medido em massa, com adição de pigmento verde para dar a tonalidade desejada ao concreto. O volume de concreto produzido foi de 0,010 m³ seguindo a seguinte quantidade: 5,20 kg de cimento CPV; 370 g de sílica ativa; 1,10 kg de areia artificial de gnaiss; 4,53 kg de areia de quartzo; 9,10 kg de brita 00 de gnaiss; 3,90 kg de brita 0 de gnaiss; 36,4 g aditivo Muraplast; 41,6 g de aditivo ADVA CAST 525; 1,56 litros de água e 240 g de pigmento verde.

2.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a elaboração desta concretagem foram:

- a) 3 fôrmas cúbicas de 100x100x100 mm;
- b) 4 moldes cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm;
- c) Balança;
- d) Betoneira;
- e) Colher de pedreiro;
- f) Óleo desmoldante;
- g) Estopa;

- h) Tronco de Cone com altura de 30 cm;
- i) Haste;
- j) Placa metálica para base;
- k) Régua;
- l) Concha;
- m) Carrinho de mão.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Primeiramente, foram realizadas as pesagens de todos os materiais. Na sequência a betoneira foi ligada e umedecida e os materiais foram lançados, respeitando a seguinte ordem: metade da água, aditivo Muraplast FK, brita 00 de gnaiss, brita 0 de gnaiss, areia natural lavada e areia de quartzo. Após aproximadamente quatro minutos de homogeneização, a betoneira foi desligada e acrescentou-se o cimento, a sílica ativa, o pigmento verde, o restante de água e o aditivo ADVA CAST 525. Após este processo, foi misturado o concreto até atingir homogeneidade e consistência ideais.

Foi realizado o teste do *slump*, seguindo a NBR NM 67 (1998). O abatimento encontrado foi de 4 mm na concretagem do pigmento verde, conforme a Figura 4.

Antes de proceder à moldagem das fôrmas e dos corpos de prova, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo desmoldante. Em seguida foi colocado o concreto dentro das fôrmas e dos cilindros em duas camadas utilizando uma concha de seção U, sendo que cada camada sofria 12 golpes. Posteriormente adensaram-se as fôrmas e os corpos de prova por vibração manual até a superfície do concreto apresentar um aspecto relativamente liso e praticamente não houver mais o aparecimento de bolhas de ar na superfície. Após a moldagem das fôrmas, foram colocadas peças de vidros sobre a superfície livre, para um melhor acabamento. Esses corpos de prova moldados foram armazenados em um local arejado e com temperatura adequada sobre uma superfície horizontal, livre de vibrações. A Figura 5 apresenta os corpos de prova.

Após as primeiras 24 horas, dois cubos e dois moldes cilíndricos foram colocados no banho maria com uma temperatura controlada de aproximadamente 100°C, sendo restituída a água que evaporava de 12 em 12 horas, permanecendo por dois dias imerso na água aquecida. A Figura 6 apresenta esse processo de cura térmica.

Figura 4 – Teste do *Slump*



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 5 – Corpos de prova



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 6 – Cura Térmica



Fonte: Acervo pessoal.

Os demais corpos de prova tiveram a cura química realizada logo após as 24 horas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o processo de cura, foram realizados ensaios de compressão axial nos corpos de prova cúbicos e cilíndricos em 7 e 21 dias, sendo observado que a cura térmica alterou um pouco a pigmentação dos corpos de prova, mas aumentou em cerca de 32% a resistência à compressão do concreto. A Figura 5 apresenta o ensaio de resistência à compressão de um corpo de prova cilíndrico.

A resistência obtida para o concreto com cura térmica foi de 74 MPa e a cura química atingiu uma resistência de 50,32 MPa.

Figura 7 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Acervo pessoal.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a cura térmica caso seja bem executada pode melhorar o desempenho mecânico do concreto colorido, compensando de certo modo a influência negativa do pigmento no composto. Caso seja possível adicionar um maior número de finos no concreto essa cura pode amplificar os resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Pró-Reitoria de Extensão da PUC Minas para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67**:1998: concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT,1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**:2006 concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006..
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ALDEA, Corina Maria; YOUNG, Francis B.; SHAH, Surendra P. Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement. **Cement and Concrete Research**, v.30, n. 3, p. 465-472, Mar. 2000.
- BATTAGIN, Arnaldo Forti; CURTI, Rubens; SILVA, Claudio Oliveira; MUNHOZ, Flavio A. Cunha. Influencia das condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho. In: Instituto Brasileiro de Concreto – **Congresso Brasileiro**, 44, 2010. São Paulo, 13p.
- CAMARINI, Gladis; CINCOTTO, Maria Alba. Cura térmica de argamassas e concretos por agentes térmicos: aspectos Gerais. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DOS PRÉ-MOLDADOS E AUTOCONSTRUÇÃO. 1995. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: FAU-USP, maio 1995. p.141-51.
- FERREIRA JUNIOR, Epaminondas Luiz. **Avaliação de propriedades de concretos de cimento Portland de alto-forno e cimento Portland de alta resistência inicial submetidos a diferentes condições de cura**. 2003. 141 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- MARTINS, Aline Rosa. **Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobertura**. 2001. 155 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.
- MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. Tradução de Salvador E. Giammuso. São Paulo: Pini, 1997.
- PASSUELO, Alexandra. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. 2004. 175 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

RIVERA, Adriana Falcochio. **Estruturas de concreto arquitetônico: projeto, execução e recebimento**. 2007. 127f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisa Tecnológica, São Paulo, SP, 2007.

LIGAÇÃO FLEXÍVEL METÁLICA PARA ESTRUTURA DE MADEIRA

Carla Cavalcanti Ribeiro*

Glenda Miranda de Faria*

Julia Lopes Vasconcelos*

Sara Silva Teixeira*

Juliana Moreira Senna Guimarães*

Tássia Morcatti Figueiredo*

João Batista Santos de Assis**

Péricles Barreto de Andrade***

RESUMO

Este artigo consiste no estudo do dimensionamento de uma ligação flexível metálica para estrutura de madeira através de estudo teórico-experimental. Objetiva definir critérios de dimensionamento da ligação de madeira referenciada no guia AITC 104: Typical Construction Details (AITC, 2003), recomendado pelo American Institute of Timber Construction para a madeira *Manilkara spp*, a Maçaranduba, e estimular o projeto de ligações para estruturas de madeira, por arquitetos e engenheiros brasileiros. A ligação objeto do estudo foi escolhida por possuir embasamento em estudos e experiências de utilização dos detalhes construtivos pela indústria de projetos e construção em madeira. Estudaram-se as propriedades da madeira escolhida, as características da ligação e de seus constituintes e as solicitações impostas. Por fim, fez-se o dimensionamento da ligação para a estrutura de madeira solicitada pela sobrecarga de escritório do prédio 3 da PUC Minas e suas respectivas considerações, de acordo com as normas brasileiras vigentes. Com os resultados do ensaio de flexão para verificação da ligação, foi possível comparar os valores teóricos com os experimentais, concluindo-se que os critérios de dimensionamento são adequados. Construtivamente, a ligação proposta em comparação com os métodos usuais reduz custos e traz qualidade à estrutura, dispensando recortes na peça de madeira, por muitas vezes errôneos.

Palavras-chave: Estrutura de madeira. Ligação metálica. Dimensionamento. Ensaio de flexão.

*Bacharel em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

** Dr. Eng. Professor da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

*** MSc. Eng. Professor da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

ABSTRACT

The aim of this study consists of a metallic connection design in a timber structure and will be presented their theoretical and experimental study. The objective of this work is to study design criterias of the wood connection referenced in the AITC 104: Typical Construction Details (AITC, 2003), recommended by American Institute of Timber Construction for the most common structure wood used in Brazil, *Manilkara spp*, the Maçaranduba and to stimulate the usage of timber structures in construction projects by Brazilian architects and engineers. The connection of this study was chosen because had been utilized by the project industry and timber construction, ensuring high quality standards in wood structures. The property of the wood chosen, the characteristics of connections, its units, and the load solicitations, was studied in this work. Lastly, the work shows the design of timber structures of the Building Three used as an office inside the “Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais”, regarding the Brazilian specifications. Results of bending test were compared to the theoretical design, concluding that the design criterias are appropriate. The connection proposed can reduce the cost of constructions if compared with similar structural materials, and brings higher quality of the structures, because do not need to make wrong sections in the wood piece.

Key-Words: Structural Timber. Metallic connection. Design. Bending test.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, país de grande extensão territorial e com a segunda maior área florestal do planeta, possui um grande potencial construtivo em madeira. No entanto, o número de construções com essa matéria-prima não representa o potencial do País. Esse fato deve-se à tradição das construções em alvenaria, desvalorização da madeira como material de construção, a falta de estudos e pesquisas que viabilizam seu uso ou de políticas que estimulem o seu emprego.

Podem-se citar inúmeras propriedades que tornam a madeira atraente frente a outros materiais, como por exemplo, alta resistência específica, isolamento elétrico e térmico além de ser um material de fácil manuseio.

Dito isto, este artigo apresenta um estudo sobre a ligação para estrutura de madeira, referenciada no guia American Institute of Timber Construction (AITC) 104 AITC (2003), desde as propriedades da madeira adotada até o dimensionamento para receber uma sobrecarga de escritório.

Na etapa de estudo experimental, ensaiou-se um corpo de prova constituído de viga e apoio de madeira e ligação metálica, a fim de avaliar os critérios de dimensionamento adotados e propor melhorias e ajustes nesse dimensionamento, uma vez que os mesmos não foram encontrados na bibliografia nacional ou internacional.

2 METODOLOGIA

Estudar os critérios de dimensionamento da ligação flexível metálica em estrutura de madeira referenciada na figura 4.1 do guia “AITC 104: Typical Construction Details” AITC (2003), para a madeira *Manilkara spp*, a Maçaranduba. Através da construção e ensaio do corpo de prova, verificaram-se os resultados obtidos no dimensionamento, encontrando o ponto mais fraco da estrutura e atestando se os constituintes da ligação e a madeira escolhida para a estrutura eram de fato viáveis. Por fim, efetuou-se a análise crítica da estrutura como um todo, avaliando seus aspectos positivos e apontando possíveis melhorias.

Para dimensionamento da estrutura, foi utilizada a norma brasileira NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira. Para dimensionamento da ligação, foi utilizada a NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Para estudo experimental, foi realizado ensaio de flexão para verificação da ligação, e, por ser esse pioneiro no Brasil, não há normalização.

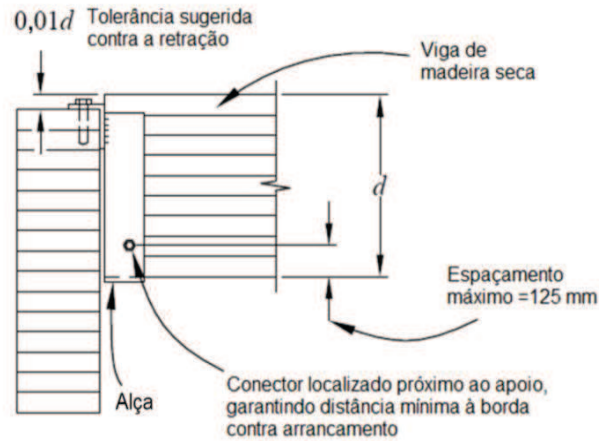
3 ESCOLHA DA LIGAÇÃO PARA ESTUDO E SUAS CARACTERÍSTICAS

A escolha da ligação a ser estudada foi feita a partir do guia “AITC 104: Typical Construction Details”, recomendado pelo AITC (2003). Este guia possui embasamento em estudos e experiências de utilização dos detalhes construtivos nele contidos pela indústria de projetos e construção em madeira. Segundo o AITC (2003), a adoção de qualquer destes detalhes auxiliam na garantia de elevada qualidade da construção em madeira.

As ligações típicas do guia são utilizadas principalmente para carregamentos verticais de gravidade; conforme necessário devem ser adotadas outras disposições para resistir às cargas laterais.

Para o estudo corrente, foi utilizada a ligação referenciada no item 4.1 do guia supracitado – Ligação entre vigas com alças para suporte entre elementos estruturais (Figura 1).

Figura 1 - Ligação entre vigas com alças para suporte entre elementos estruturais



Fonte: Adaptado do AITC (2003).

A ligação escolhida deve ser adotada em caso de vigas apoiadas em vigas principais de uma estrutura, e ambas devem ser fabricadas com madeira seca.

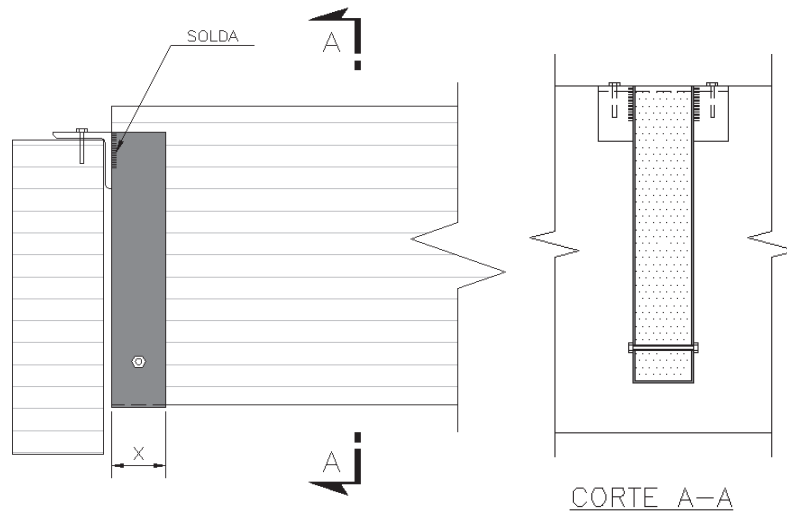
Neste sistema, a viga apoiada é sustentada por alça e a conexão entre estes elementos é feita com parafuso. Estas alças, por sua vez, são fixadas através de solda em uma cantoneira metálica, que é conectada à viga principal por meio de parafuso, com função apenas construtiva. Para vigas principais carregadas apenas de um lado, deve-se fornecer um vínculo para evitar uma rotação potencial da viga, devido à excentricidade do carregamento da alça.

A face superior da viga apoiada pode ser ajustada, estando aproximadamente nivelada com o topo da viga principal. Nesta ligação, os elementos de ligação devem localizar-se o mais próximo possível à superfície de apoio, de forma a minimizar o fendilhamento da viga de madeira devido à retração. Como sugestão, o guia AITC menciona que a distância entre as faces das vigas apoiadas e de apoio seja de 1% da altura d da viga, como forma de auxiliar na retração.

Para os conectores laterais à viga, é estabelecida a distância máxima de 125 mm em relação à borda inferior da viga e deve-se prever também uma distância mínima, de forma que ocorra o efetivo suporte da mesma.

4 ESTUDO TEÓRICO

O presente estudo contempla a verificação de uma ligação metálica, para receber os esforços do vigamento do piso do prédio 03 da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), utilizado como escritório. A ligação metálica é referenciada no guia “AITC 104: Typical Construction Details” e a estrutura de madeira utilizada no estudo é a Maçaranduba.

Figura 2 - Ligação metálica em estudo

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO

Os cálculos elaborados possuem o objetivo de dimensionar a viga e a ligação, composta por uma chapa dobrada, uma cantoneira e solda.

Além disso, a partir do dimensionamento é possível verificar a capacidade de carga das solicitações sofridas por cada material utilizado, e com isso avaliar qual peça trabalha com menor folga entre carregamentos atuantes e resistentes, determinando assim o ponto mais frágil da ligação.

Para a realização dos cálculos foram adotados valores médios das propriedades de resistência e rigidez da madeira Maçaranduba. Estes valores são apresentados na Tabela 2 – Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de reflorestamento, da norma vigente: NBR 7190:1997.

Na tabela 1, pode-se observar os resultados obtidos na realização dos cálculos e as considerações adotadas para o dimensionamento da viga e da ligação.

Tabela 1 - Resumo do Dimensionamento

Dados para madeira Maçaranduba	
Coefficiente de modificação	$k_{mod} = 0,56$
Resistência característica de compressão paralela às fibras	$f_{c0,k} = 5,80 \text{ kN/cm}^2$
Resistência de cálculo à compressão paralela às fibras	$f_{c0,d} = 2,32 \text{ kN/cm}^2$
Módulo de elasticidade	$E_{c0,m} = 1590 \text{ kN/cm}^2$
Rigidez de cálculo	$E_{c0,ef} = 890 \text{ kN/cm}^2$
Massa específica aparente a 12% umidade	$\rho_{aparente, 12\%} = 1140 \text{ kg/m}^3$
Peso específico	$\gamma = 11,2 \text{ kN/m}^3$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Dimensionamentos

Dimensionamento da viga de madeira L = 9,0 m - 2ª tentativa		
VERIFICAÇÃO	RESULTADO	OBSERVAÇÃO
Altura mínima da viga mediante à flecha (L/200)	b = 6,5 cm h ≥ 31,5 cm	Adotou-se: viga seção 6,5 x 34 cm
Tensão devida ao momento Condição de segurança atendida:	$\sigma_{1,d} = 1,69 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{1,d} = 1,69 \text{ kN/cm}^2 < f_{c0,d} = 2,32 \text{ kN/cm}^2$	
Cisalhamento Condição de segurança atendida:	$\tau_d = 0,064 \text{ kN/cm}^2$ $\tau_d = 0,064 \text{ kN/cm}^2 < f_{vd} = 0,324 \text{ kN/cm}^2$	
Dimensionamento da largura e espessura chapa dobrada (alça)		
VERIFICAÇÃO	RESULTADO	OBSERVAÇÃO
Compressão normal às fibras (extensão da carga normal às fibras = 2 cm) Condição de segurança atendida:	$\sigma_{90,d} = 0,725 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{90,d} = 0,725 \text{ kN/cm}^2 < f_{c90,d} = 0,986 \text{ kN/cm}^2$	Adotou-se: Chapa largura = 6 cm
Tração Espessura da chapa:	$N_{t,rd} = 4,71 \text{ kN}$ $t = 0,345 \text{ mm} \rightarrow t = 3 \text{ mm (comercial)}$	Adotou-se: aço MR 250 Chapa espessura = 3 mm
Dimensionamento da solda (alça à cantoneira)		
VERIFICAÇÃO	RESULTADO	OBSERVAÇÃO
Corte na seção efetiva	Perna da solda: b = 3 mm Comprimento efetivo filete: $L_w = 40 \text{ mm (mínimo)}$	Adotou-se: aço MR 250 L 64 x 6,4 mm
Dimensionamento do comprimento e verificação da cantoneira - 2ª tentativa		
VERIFICAÇÃO	RESULTADO	OBSERVAÇÃO
Corte pela força transmitida pela alça Comprimento da cantoneira (B):	$V_{rd} \geq 9,41 \text{ kN}$ B = 1,08 cm → B = 15 cm (construtivo)	Adotou-se: aço MR 250 L 64 x 6,4 mm; B = 15 cm
Compressão perpendicular às fibras da madeira (apoio) (seção efetiva cantoneira: extensão carga = 15 cm) Condição de segurança atendida:	$\sigma_{90,d} = 0,109 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{90,d} = 0,109 \text{ kN/cm}^2 < f_{c90,d} = 0,580 \text{ kN/cm}^2$	
Flexão da aba da cantoneira (viga em balanço ou engastada) Momento fletor resistente característico (situação de plastificação) Momento fletor resistente de cálculo (situação de plastificação) Momento fletor solicitante de cálculo Condição de segurança atendida:	$M_{pl} = 38,5 \text{ kN.cm}$ $M_{rd} = 35,0 \text{ kN.cm}$ $M_{sd} = 27,1 \text{ kN.cm}$ $M_{sd} = 27,1 \text{ kN.cm} < M_{rd} = 35,0 \text{ kN.cm}$	(menor margem de segurança)

Fonte: Elaborado pelos autores.

6 ESTUDO EXPERIMENTAL

Para a avaliação do comportamento da estrutura de madeira apresentada na Figura 4.1 do guia “AITC 104: Typical Construction Details” AITC (2003), conectada por ligação metálica, foi feita a análise dessa ligação por meio teórico. Porém, para comparar resultados, além da análise teórica, foram feitos ensaios de laboratório.

Para obter valores e fazer comparativos, analisou-se uma viga de um metro de vão com um apoio em cada extremidade, com seção transversal de tamanho semelhante ao modelo teórico, para representar o modelo teórico calculado.

Inicialmente todos os materiais envolvidos no ensaio, viga de madeira e ligação metálica, foram caracterizadas e determinadas suas propriedades.

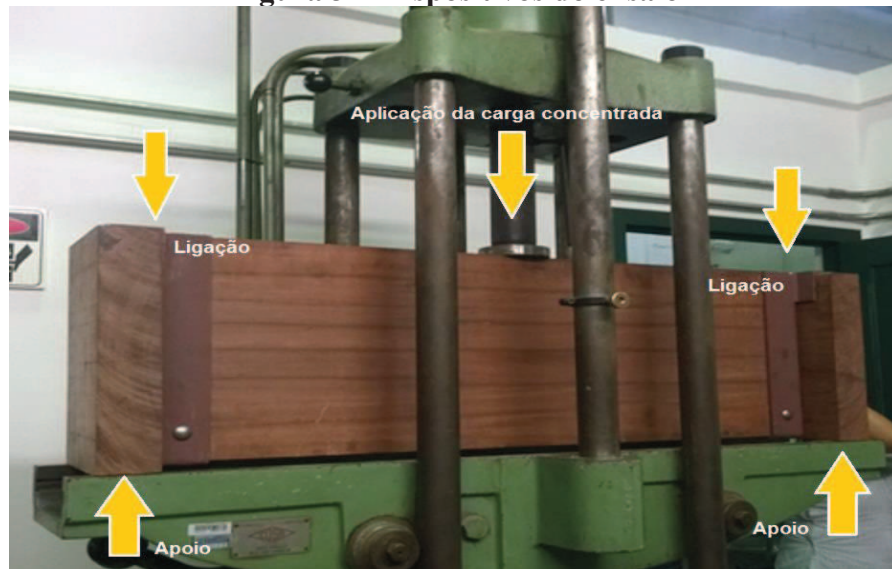
Para a verificação do modelo teórico, não foram encontradas referências sobre a rigidez desse tipo de ligação metálica com a viga de madeira em bibliografias nacionais.

6.1 Esquema estático e procedimentos do ensaio

O ensaio de flexão para teste da ligação foi montado segundo o esquema estático apresentado na Figura 3. A configuração do ensaio consiste na aplicação de carregamento centrado por um cilindro hidráulico no meio do vão da viga, de forma a permitir a observação do comportamento da ligação, mediante a atuação de momento fletor.

O ensaio de flexão no corpo de prova foi realizado em uma Prensa Universal de sistema hidráulico. O equipamento pertence ao Laboratório de Engenharia Civil da PUC-MG.

Figura 3 - Dispositivos do ensaio



Fonte: Elaborado pelos autores.

7 RESULTADOS

No ensaio de flexão no corpo de prova, a ruptura se deu com a aplicação da carga de 147,1 kN, quando se tornou visível a flexão na aba da cantoneira da ligação, Figura 4, o que já esperado nos cálculos teóricos, pois para esse tipo de carregamento aplicado, o elemento mais frágil do corpo de prova foi a ligação (cantoneira), visto que esse foi o parâmetro que tinha menor margem de segurança.

Figura 4 - Flexão da aba da cantoneira após o ensaio



Fonte: Arquivo pessoal.

A carga de 147,1 kN provocou a flexão plástica na cantoneira, porém o corpo de prova continuou recebendo carga até 171,6 kN, para observar-se a continuação da flexão das cantoneiras e a deformação do apoio, que sofreu flexão da parte externa.

A flexão elástica na viga apresentou os valores de deformação de 9,93 mm de flecha nas laterais (próximo ao apoio) e 19,29 mm de flecha no centro da viga.

À medida que o ocorria a compressão perpendicular às fibras da madeira, observou-se o esmagamento da madeira dos apoios, como se pode observar na Figura 5. Este esmagamento foi provocado pela pequena área de contato da peça do apoio com o equipamento, gerando uma grande tensão na região de contato entre o apoio e o equipamento, tensão maior que a resistente.

Figura 5 - Esmagamento da madeira dos apoios após início do carregamento



Fonte: Arquivo pessoal.

A partir dos resultados do ensaio, sugerem-se para ensaios futuros algumas alterações no corpo de prova, de forma a melhorar as características do sistema:

- a) reforço na peça do apoio com barras de aço parafusadas no sentido transversal, para combater a flambagem na viga do apoio;
- b) a utilização de parafuso sextavado ao invés do parafuso francês, para não prejudicar a ligação com a alça metálica.

8 CONCLUSÃO

A ligação estudada, no quesito dimensionamento, atende a todas as solicitações impostas. Após os ensaios em laboratório, comprovou-se que, de acordo com o dimensionamento da ligação, a cantoneira é o ponto mais fraco da ligação por apresentar menor margem de segurança em relação ao momento fletor.

Pode-se concluir e verificar com esse ensaio a alta deformabilidade elástica da madeira, com a flexão da viga e com o comportamento das fibras da madeira, observando-se que após a retirada de todo o carregamento, a peça retornou ao seu estado inicial.

Construtivamente, a ligação estudada aumenta a qualidade na execução de estruturas de madeira, não gera perdas ocasionadas por recortes, em comparação com os métodos usuais e pode reduzir a altura total da edificação por não ser viga sobreposta à viga, resultando em economia.

REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC 104-2003**: typical construction details. Englewood: AITC, 2003. Disponível em: <http://www.aitc-glulam.org/shopcart/Pdf/aitc_104_2003.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO: estudo de caso aplicado a uma panificadora

Melissa Fernandes Soares Silva*

Alessandra Lopes Carvalho**

Ana Valéria Moreira Magalhães***

RESUMO

A necessidade de atender as exigências dos clientes e o ambiente corporativo extremamente competitivo levam as organizações a buscarem melhorias de qualidade e conseqüentemente produtividade. Este trabalho consiste em um estudo de caso realizado em uma panificadora de pequeno porte situada na região metropolitana de Belo Horizonte e que se encontra no mercado há 28 anos, observou-se alta variabilidade em produtos resultando em prejuízos financeiros devido ao desperdício de matéria prima e insatisfação dos clientes. O estudo foi de extrema relevância, visto que o controle e monitoramento do processo produtivo possibilitou redução de custos com retrabalho e aumento da satisfação do cliente final.

Palavras-chave: Qualidade. Controle Estatístico de Processo. Pequena Empresa.

ABSTRACT

The need to attend the clients exigencies and the currently corporative environmental that presents an extremely and competitive behaviors lead the organizations to search for quality improvement and consequently efficiency. This paper work consists in a study on field developed in a small familiar bakery that is in the market since 1988, localized in the metropolitan region of Belo Horizonte. As a result of the case study it was observed a high variability in the products resulting in financial loss caused by a waste of material and the client's lack of satisfaction. The study was of extremely relevant, the control and monitoring of the productive process gave the possibility to reduce the costs with rework and increase of the final client satisfaction of the final client.

* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, fernandesmelissa@hotmail.com, Engenheira

** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, alessandralcarvalho@pucminas.br, Doutora

*** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, anavaleriamm@gmail.com, Engenheira

Keywords: Quality. Statistical control process. Small business.

1 INTRODUÇÃO

Observa-se que o cotidiano das famílias nos grandes centros urbanos favorece o hábito de aquisição de produtos alimentícios para consumo imediato. Considerando o tempo cada vez mais escasso e a rotina exacerbada, percebe-se claramente o aumento da procura por produtos prontos que apresentem qualidade aliada a um preço justo.

Segundo ressalta Silva et al. (2015), é importante que a organização tenha um programa bem definido de gestão da qualidade de forma a atender e superar as expectativas dos clientes. Com objetivo de atrair mais clientes, torna-se imperativa a iniciativa das organizações em obter técnicas capazes de auxiliar no monitoramento do processo produtivo e na busca por solução dos problemas.

A associação de boas práticas de fabricação e padronização é primordial para assegurar a segurança alimentar e a qualidade dos produtos. Sabe-se inclusive, que qualidade não é vista mais como vantagem competitiva pois tornou-se requisito primordial para a venda (OLIVEIRA et al. 2014). Observa-se ainda que os clientes estão mais atentos e exigentes. Portanto, para fidelizar um cliente o empreendedor deve estar atento ao atendimento de forma eficaz de inúmeros requisitos.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (2015), o setor de panificação apresentou um faturamento aproximadamente de R\$ 84,7 bilhões em 2015, correspondendo a um crescimento de 2,7% em relação ao ano anterior. Observa-se, entretanto, queda significativa do índice de crescimento do setor, conforme Figura 1, nos últimos seis anos. O levantamento foi realizado abrangendo mais de 1000 representantes do setor de todos os portes.

Figura 1- Desempenho do setor de panificação no Brasil



Fonte: Instituto Tecnológico de Panificação e Confeitaria (2015)

Ainda segundo a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (2015), o principal fator que acarretou o baixo crescimento das organizações desse segmento foi à redução do fluxo de clientes, além do aumento das despesas operacionais.

Todos os fatores anteriormente expostos impactam negativamente na lucratividade anual das organizações, levando à necessidade de otimização dos processos produtivos. Neste contexto, o uso efetivo de ferramentas da qualidade pode contribuir para o aumento da produtividade, trazendo um diferencial ante a um cenário de baixo crescimento e alta competitividade.

O objetivo deste trabalho é a realização de um estudo de caso em uma empresa do ramo alimentício que apresenta alta variabilidade em produtos. Como efeitos da falta de padronização foram observados prejuízos financeiros devido ao desperdício de matéria prima e insatisfação do cliente. Especificamente este trabalho foi realizado em uma micro empresa do segmento de panificação, situada na região metropolitana de Belo Horizonte. O estudo foi de extrema relevância, visto que o controle e monitoramento do processo produtivo possibilitou redução de custos com retrabalho e aumento da satisfação do cliente final.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Foram utilizadas as ferramentas da qualidade para identificação de problemas e monitoramento controle *on line* de processo. Sendo assim, apresentam-se os principais conceitos relacionados a estes temas.

A qualidade é algo inerente ao ser humano e o pode estar relacionada genericamente ao

nível de satisfação oferecida por produto ou processo do ponto de vista do usuário, do produto em si, da produção ou do valor agregado (CARVALHO et al. 2016; CARPINETTI, 2012; PALADINI, 2011)

Após a revolução industrial os maquinários que possibilitaram a produção em série trouxeram a necessidade de padronização e uniformidade de produtos e processos (RODRIGUES, 2014). Assim, a partir do século XIX, com o desenvolvimento das ferramentas de trabalho e dos sistemas de unidades de medidas, a qualidade evoluiu até os dias de hoje passando por várias eras.

Atualmente sabe-se que a qualidade de um produto ou processo é assegurada com a minimização da variabilidade das variáveis de interesse em um escala contínua ou discreta (SAMOHYL, 2009).

Neste contexto, o Controle Estatístico de Processo (CEP) é um conjunto de ferramentas que têm por objetivo a redução da variabilidade de processos fazendo com que a apuração de anomalias ocorra de modo mais ágil (MONTGOMERY, 2009; MIYATA et al. 2010).

A principal vantagem do Controle Estatístico de Processos é possibilitar o monitoramento do desempenho de processos em tempo real (MIYATA et al. 2010; SEIDEL et al. 2011). O CEP também tem sido utilizado em ambientes não industriais, como por exemplo apresentado em Gautero e Mattos (2014).

Dentre as ferramentas clássicas do CEP podem ser citadas histograma, folha de verificação, gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, diagrama de concentração de defeitos, diagrama de dispersão e gráfico de controle (TOLEDO et al. 2013; RODRIGUES, 2014). Neste trabalho foram utilizados gráficos de controle e diagrama de causa e efeito.

O gráfico de controle é uma ferramenta largamente utilizada em diversos setores de produção, por auxiliar no monitoramento *online* de processo. Através da análise de gráficos de controle é possível detectar de forma preventiva a presença de anomalias no processo que provocam uma variabilidade que excede a variabilidade natural (MONTGOMERY, 2009)

Existem duas classificações para gráficos de controle. Quando o parâmetro analisado é expresso em valores contínuos (peso, diâmetro, espessura) são utilizados gráfico de controle para variáveis. Quando os parâmetros não são representados numericamente e sim pela classificação de produtos conformes ou não conformes são utilizados gráficos de controle para atributos.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009) o diagrama de causa-efeito, é um método que relaciona um efeito com suas prováveis causas. Segundo o método as possíveis causas primárias do evento em estudo são agrupadas considerando-se maquinário, mão de obra,

materiais, métodos, medidas e meio ambiente (6M's). Posteriormente busca-se encontrar causas secundárias relacionadas as causas primárias e assim sucessivamente.

A construção do gráfico de causa e efeito demanda a realização das seguintes etapas:

- a) identificação do problema a ser analisado;
- b) relato da possível causa e registro no diagrama;
- c) construção do diagrama agrupando de acordo com os “6M”;
- d) analisar o diagrama, identificando as principais causas;
- e) propor medidas para solução do problema.

3 METODOLOGIA

De acordo com Acevedo e Nohara (2013), o estudo científico é caracterizado pelo emprego do método científico. A pesquisa científica é classificada em três grandes grupos, denominados como, explicativa, descritiva e exploratória. Este trabalho é caracterizado como uma pesquisa exploratória pois foi realizado a partir da observação da produção em um processo real visando melhor compreensão das causas que levam a alta variabilidade (GILL, 2002; ACEVEDO; NOHARA, 2013).

A pesquisa, de acordo com Cauchick Miguel (2011), pode se diferenciar quanto a sua abordagem, ou seja, qual foi o método utilizado para a coleta dos dados e as interpretações sobre o estudo realizado. As classificações dos métodos consistem em qualitativa, quantitativa e quali quantitativa. Portanto a metodologia utilizada baseia-se em uma pesquisa qualitativa e quantitativa aliada ao método estudo de caso. Especificamente escolheu-se como empresa foco do estudo uma panificadora.

Foram realizadas entrevistas com os funcionários e os gestores do empreendimento. Por meio de um diagnóstico inicial foi identificada uma considerável queda das vendas devido à insatisfação dos clientes com a imprecisão do peso unitário dos bolos. Observou-se ainda aumento recorrente nos custos de fabricação devido ao alto consumo da matéria-prima.

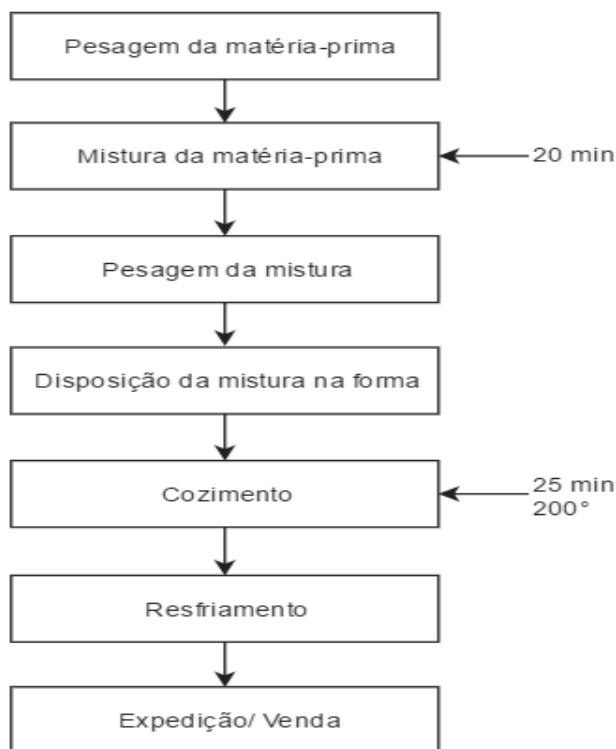
Escolheu-se como característica de qualidade a ser monitorada o peso final de um bolo produzido frequentemente. A partir desta decisão foram coletados dados durante seis meses, com um total de 33 amostras. Todas as amostras foram pesadas em uma balança eletrônica, com nível adequado de precisão. Foram elaboradas cartas de controle utilizando-se o *software* Matlab® para monitoramento do processo. Posteriormente utilizou-se o diagrama de causa- e efeito, com objetivo de identificar as principais causas de variabilidade.

4 ESTUDO DE CASO

A organização foco do estudo é uma panificadora consolidada no mercado de panificação e varejo há 28 anos, localizada em Contagem, região metropolitana de Belo Horizonte. A sua produção e comercialização está vinculada principalmente à fabricação de pães, bolos e pães de queijo. A aquisição de insumos e embalagens é realizada por meio de pesquisa de preços entre fornecedores externos, para posterior compra. Os produtos são fabricados de acordo com a demanda do cliente e comercializados na própria loja.

A empresa em estudo é dividida por quatro setores: planejamento da produção, armazenamento das matérias-primas, produção e venda dos produtos. O fluxograma de fabricação de bolo é apresentado na Figura 2. O processo é constituído primeiramente da pesagem da matéria- prima. Em seguida os ingredientes são colocados na batedeira para que ocorra o processo de mistura durante 20 minutos. Após o tempo de mistura, a mesma é pesada e colocada na forma untada com óleo desmoldante e um refil de papel. O forno é preaquecido em temperatura aproximadamente 200° durante 25 minutos. Finalmente o bolo é resfriado em temperatura ambiente e expedido para venda.

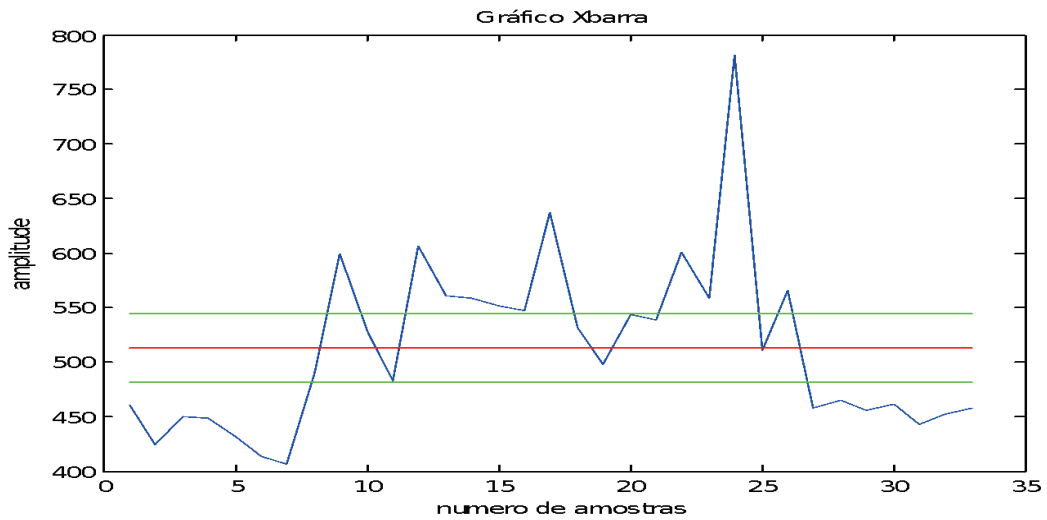
Figura 2- Fluxo de Processo



Fonte: Elaborado pelas autoras.

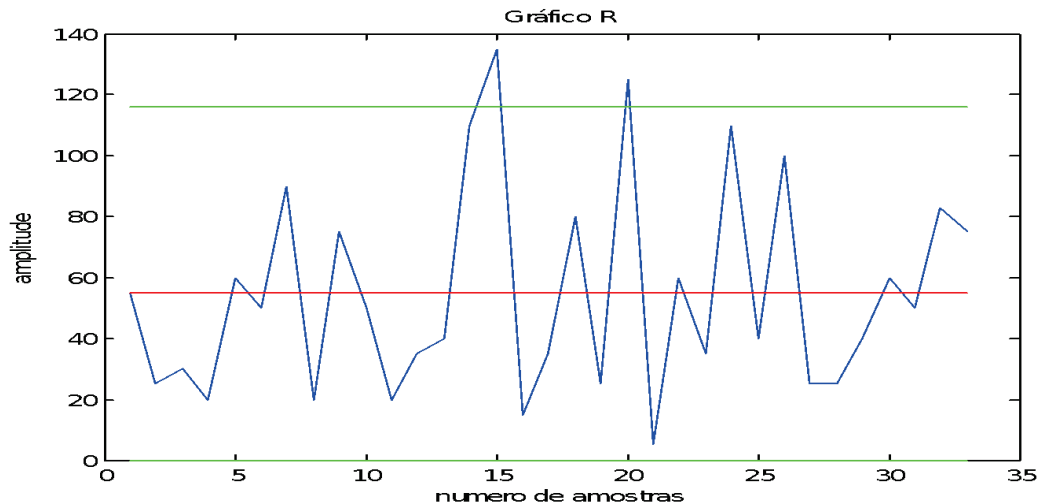
Após diversas reclamações dos clientes sobre a variabilidade do peso do bolo final, iniciou-se uma coleta de dados para verificação se o processo se encontra sob controle estatístico ou não. O peso do bolo especificado pela empresa é de 500g com variação de 50g. Após a coleta dos dados foram elaboradas cartas de controle para xbarra (média) e R (amplitude), apresentadas nas Figuras 3 e 4. Utilizou-se como ferramenta o *software* Matlab®.

Figura 3 - Gráfico de Controle para X(média)



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 4 - Gráfico de Controle para R (amplitude)



Fonte: Elaborado pelas autoras.

O gráfico de controle xbarra (média) da Figura 3 apresenta a média dos pesos dos bolos coletados semanalmente durante 6 meses. É possível identificar no gráfico a presença de pontos fora do limite superior e inferior de controle, o que interfere na produtividade da empresa. Indicando, portanto causas atribuíveis ao processo.

A figura 4 indica o gráfico de amplitude, que é a diferença entre a máxima e mínima dos pesos coletados semanalmente. Este gráfico apresenta também pontos fora do controle estatístico. A partir da análise das cartas de controle observou-se que o processo se encontrava fora de controle. Após esta constatação elaborou-se um diagrama de causa e efeito (Figura 5), de forma a buscar as não conformidades do processo produtivo.

Figura 5 - Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Elaborado pelas autoras.

O diagrama de causa e efeito apresentado na Figura 5 foi realizado com base na classificação dos 6M's. Para a identificação das causas do problema estudado criou-se uma equipe composta por funcionários do setor de operação e planejamento da produção. O benefício da realização do diagrama é a sua facilidade em visualização das causas e sua fácil compreensão por parte da equipe envolvida no trabalho.

A análise do diagrama se concentrou em identificar quais as principais causas de variabilidade do processo, buscando assim medidas de solução. Sendo que de acordo com a equipe as causas de alto grau de variabilidade do peso final do bolo foram, a falta de padronização para a realização do trabalho e o uso inadequado de utensílios para pesagem da matéria prima. Após o desenvolvimento do trabalho a equipe responsável pela produção elaborou padrões para a fabricação do produto.

5 CONCLUSÃO

Este estudo de caso permitiu a observação da aplicação dos conceitos teóricos promovendo a efetiva transformação de um processo real por meio da implementação correta dos métodos e técnicas da qualidade.

A utilização das ferramentas de qualidade foi positiva visto que a organização atingiu seu objetivo em melhorar sua produtividade. Observou-se ainda diminuição de retrabalhos por falta de padronização e utensílios inadequados. Percebeu-se claramente a importância do trabalho em equipe visando resultados satisfatórios a curto, médio e longo prazo.

Sugere-se que a organização implemente um controle efetivo do processo de fabricação de todos os seus produtos, por meio utilização contínua das ferramentas do controle estatístico de processo.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, Claudia Rosa; NOHARA, Jouliana Jordan. **Como fazer monografias: TCC, dissertações, teses**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA. **Sobre o setor 2015: performance do setor de panificação e confeitaria brasileiro**. Brasília: ABIP, 2015. Disponível em: < <http://www.abip.org.br/site/sobre-o-setor-2015/> >. Acesso em: 30 set. 2016.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO, Alessandra Lopes et al. Projeto de extensão piloto aplicado a uma micro empresa de produção artesanal e customizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 7., 2016, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2016.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. São Paulo: Campus Elsevier, 2011.

GAUTÉRIO, Ezequiel Gibbon; MATTOS, Viviane Leite Dias. Utilização de controle estatístico de processo na avaliação do desempenho acadêmico. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 14, n. 2, p. 744-736, 2014.

GILL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MATHWORKS. Matlab Software Package. Massachusetts: MathWorks, 2015.

MELLO, Carlos Henrique Pereira et al. **ISO 9001:2008: sistema de gestão da qualidade para**

operações de produção e serviços. São Paulo: Atlas, 2012.

MIYATA, Hugo Hissashi et al. Controle Estatístico do Processo na Produção de Circuitos Eletrônicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30. 2010, São Carlos. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. 6. ed. Hoboken: John Willey & Sons, 2009.

OLIVEIRA, Maraiza Kelli Lima Marques de et al. Associação entre boas práticas de fabricação e padronização: um estudo de caso no setor de panificação de uma rede de supermercados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 34, 2014, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2014.

PALADINI, Edson Pacheco. **Avaliação estratégica da qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

RODRIGUES, Marcus Vinícius. **Ações para a qualidade**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SEIDEL, Enio Júnior et al. Métodos estatísticos aplicados à avaliação da qualidade da matéria prima e classificação dos fornecedores de uma indústria de laticínios. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 11, n. 1, p. 3-28, 2011.

SILVA, Juliane Vasconcelos et al. Aplicação da ferramenta 5s em uma empresa do setor de panificação: estudo de caso na cidade de Serra Branca-PB. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015. Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SAMOHYL, Robert Wayne. **Controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

TOLEDO, José Carlos de et al. **Qualidade: gestão e métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

**A EVOLUÇÃO DA CONFIABILIDADE DE PRODUTOS E PROCESSOS: estudo
bibliométrico nacional focado em aplicações industriais**

Amanda Cristina Irias Cachoeira*

Letícia Camila Matos**

Maria Laura Mendonça Diamantino***

Alessandra Lopes Carvalho ****

RESUMO

As organizações buscam constantemente meios de passar credibilidade e confiança a seus clientes, visto que existe uma concorrência feroz e um grande dinamismo no mercado. O estudo da confiabilidade e a prevenção de falhas se fazem importantes não apenas neste contexto, mas também para otimização e planejamento de produtos e processos. Além disso, a confiabilidade pode se relacionar diretamente com a redução de prejuízos financeiros e a responsabilidade da empresa com relação ao produto. Desta forma, este artigo tem como objetivo avaliar a evolução do estudo nacional com foco em confiabilidade nos últimos dez anos por meio da Análise Bibliométrica. Os dados obtidos foram organizados segundo várias dimensões como: autores, estados, instituições e datas de publicação, evidenciando particularidades relativas a cada dimensão. Ao final, foram feitas considerações a respeito da evolução do tema, concluindo-se que o assunto ainda é pouco estudado no país demandando um expressivo crescimento.

Palavras-chave: Confiabilidade. Disponibilidade. Falhas.

ABSTRACT

Organizations constantly looking for ways to spend credibility and trust to your customers, as there is fierce competition and a great dynamism in the market. The study of reliability and failure prevention becomes very important not only in this context, but also to optimize planning products and processes, among other strategic factors. In addition, reliability has importance since it can be directly related to the reduction of financial losses and the company's

* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, amanda.iriass@hotmail.com, Graduada

** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, leticia.m4tos@hotmail.com, Graduada

*** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, marialauramdiamantino@gmail.com, Graduada

**** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, alessandralcarvalho@pucminas.br, Doutora

liability for the product. Thus, this article aims to evaluate the evolution of the national study focusing on reliability, through Bibliometric Analysis, with a sample of articles published between the period 2006 and 2016. The data were organized according to various dimensions such as: authors, states, institutions and publication dates, showing characteristics for each dimension. Finally, considerations were made regarding the subject of evolution, concluding that the subject is still little studied in the country but it is expected growth in their study.

Keywords: Reliability. Availability. Failures.

1 INTRODUÇÃO

O estudo referente a este trabalho, cujas características são descritivo, retrospectivo e bibliométrico, têm como principal objetivo analisar a produção científica nacional, entre os anos de 2006 e 2016, com foco em confiabilidade.

O tema escolhido, Confiabilidade, pode ser explicado resumidamente como a probabilidade de um produto, processo, máquina ou equipamento operar por um período isento de falhas, dentro das especificações para as quais foi projetado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Este conceito pode ser estendido a produtos ou a processos.

Segundo Rodrigues, Providello e Bagno (2016), a bibliometria serve como um mapa para apresentar a situação atual da produção científica em um determinado tema e onde existem vácuos que possam ser preenchidos com a criação de novas produções científicas.

Segundo Carvalho, Lopes e Marzagão (2013), a bibliometria fornece as bases para traçar um panorama da literatura e permite a análise em profundidade dos estudos extraindo os principais temas, lacunas e tendências.

Observa-se que estudos bibliométricos têm sido conduzidos por diversos autores em várias áreas do conhecimento (MURTHY, 2007; LOPES; CARVALHO; FLEURY, 2013; VITORINO FILHO et al. 2015; FONSECA et al. 2015; RODRIGUES, PROVIDELLO e BAGNO, 2016) Considerando a importância crescente do tema confiabilidade e a escassez de referências bibliográficas sobre o tema no Brasil, espera-se que este trabalho apresente uma contribuição relevante.

2 CONCEITO DE CONFIABILIDADE

A modelagem de confiabilidade envolve a escolha de uma função densidade de probabilidade adequada, a estimação de seus parâmetros e posterior validação. Podem ser citadas como distribuições de probabilidade mais utilizadas ao longo do tempo Weibull, exponencial, lognormal e gama. (O'CONNOR; KLEYNER, 2012)

Apresenta-se, como exemplo, a função densidade de probabilidade $f(t)$ para a distribuição Weibull na equação 1. Os valores β , γ , η são os parâmetros a serem estimados. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Dentre os métodos mais utilizados para estimação de parâmetros podem ser citados Mínimos Quadrados e Máxima Verossimilhança.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

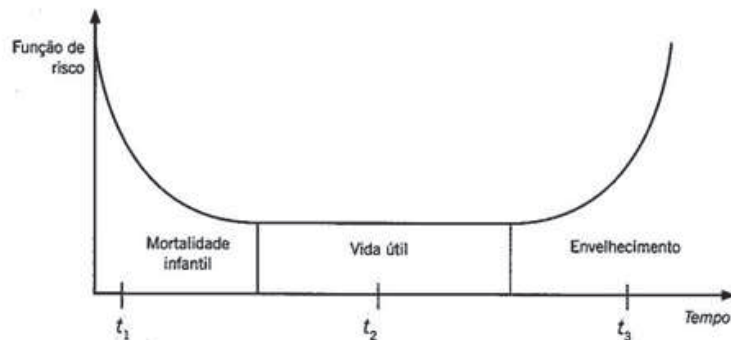
Onde: β é parâmetro de forma

γ é parâmetro vida mínima

η é parâmetro vida característica

Como produto do processo de modelagem as principais variáveis de interesse são a função confiabilidade $R(t)$, a função probabilidade de falha $F(t)$, o tempo médio até a falha e a função taxa de falhas $h(t)$. A figura 1 apresenta a função taxa de falhas *versus* tempo para um produto genérico. Esta curva é conhecida na literatura como curva de banheira sendo subdividida nas regiões mortalidade infantil (ou infância), vida útil e velhice (desgaste).

Figura 1 – Representação da “Curva da Banheira”



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009)

Observa-se que a função probabilidade de falha $F(t)$ é o complemento da função confiabilidade $R(t)$, conforme a equação (2).

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2)$$

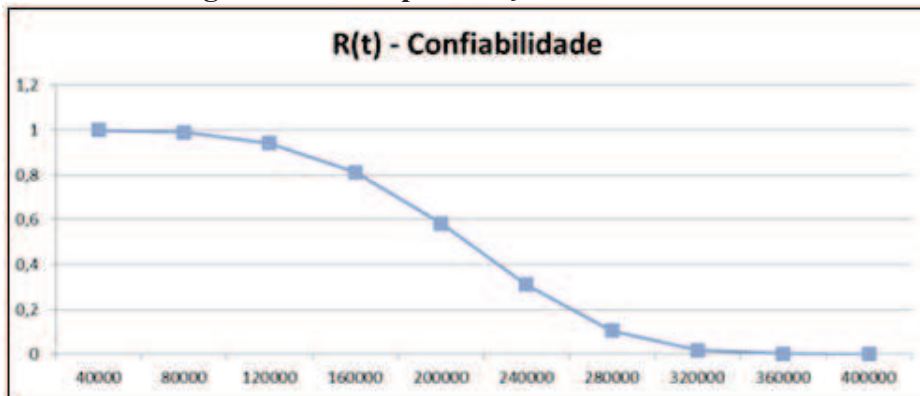
Esta relação é apresentada graficamente nas figuras 2 e 3 nas quais podem ser visualizada uma função $F(t)$ qualquer e seu complemento $R(t)$, respectivamente.

Figura 2 – Exemplo Funções Probabilidade de Falha



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 3 – Exemplo Função Confiabilidade



Fonte: Elaborada pelas autoras.

3 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado foi o estudo bibliométrico descritivo e retrospectivo, com análise de conteúdo da produção científica nacional no período de 2006 à 2016. O processo descritivo visa à identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou processo. (PEROVANO, 2014).

Segundo Vanti (2002) a bibliometria é definida como um conjunto de métodos de

pesquisa utilizados para mapear a estrutura do conhecimento em um campo científico através de uma abordagem quantitativa e estatística de diversos dados bibliográficos.

Uma contribuição importante da bibliometria, realizada neste trabalho é a análise de citações. Esta pode ser definida como a observação das relações entre os documentos citantes e citados considerando como unidades de estudo diversas partes como: autor, título, origem geográfica, ano, idioma de publicação, dentre outros.

4 RESULTADOS

A amostra inicial de trabalhos foi obtida por meio da utilização das palavras chaves “confiabilidade”, “falhas” e “disponibilidade”, na base de dados do “Portal Periódico Capes”. Inicialmente foram selecionados os periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Engenharia III, considerando-se apenas os periódicos nacionais. Iniciou-se a pesquisa das palavras chaves em cada um dos periódicos anteriormente selecionados. A pesquisa resultou em 33 artigos. O período analisado foi de 2006 a 2016.

Foram encontrados 64 artigos conforme tabela 1. Posteriormente foram retirados os artigos repetidos que apareceram em buscas referentes a mais de uma palavra-chave, e artigos que não correspondiam ao tema da pesquisa.

Tabela 1 - Amostragem dos artigos

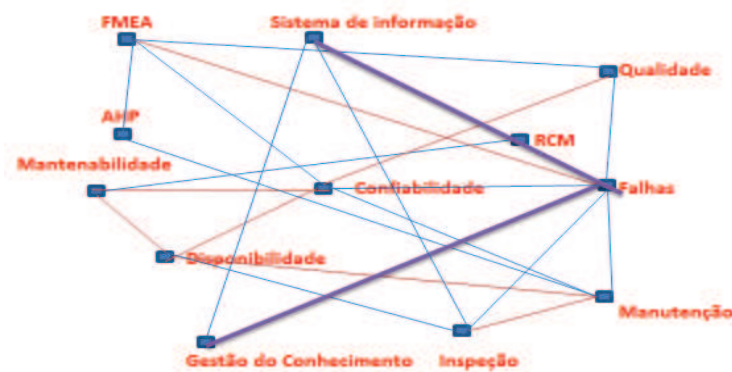
Temas	Encontrados	Selecionados
Confiabilidade	29	21
Falhas	20	12
Disponibilidade	15	4
Total	64	37

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Após o levantamento e pré tratamento os dados da pesquisa foram analisados utilizando-se o *software Microsoft Office Excel®*. Inicialmente elaborou-se uma rede de palavras (figura 4) considerando-se palavras chaves que apareceram no mínimo três vezes, na amostra de 33 artigos.

Esta rede pode ilustrar as áreas temáticas que mais se relacionam com os temas “confiabilidade”, “disponibilidade” e “falha”. A intensidade da relação entre nós são representados através das cores e espessuras. Algumas áreas temáticas que se destacaram na pesquisa foram Análise de Modos de falhas e Efeitos (FMEA), Manutenibilidade e Mapeamento de falha.

Figura 4 – Rede de palavras-chave



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Apresenta-se na tabela 2 a quantidade de artigos produzidos no período de 2006 a 2016, sendo que os anos com maior número de publicações foram 2010 e 2015 com 5 artigos publicados, cada um, em sua totalidade. Os anos de 2007 e 2011 reuniram 4 artigos cada. Em 2009, 2013 e 2016 foram 3 os artigos publicados no ano. Os anos de 2006, 2008 e 2012 foram os que reuniram menor índice de artigos publicados, totalizando apenas 2 publicações por ano. Não ocorreram publicações no ano de 2014.

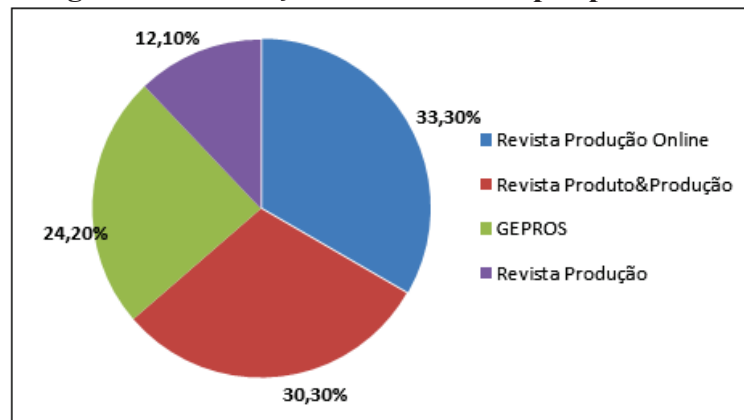
Tabela 2 – Periódicos x publicações

Periódicos/Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Revista Produção Online			1	1		2		3		3	1	11
Revista Produção	1	2			1							4
Revista Produto&Produção			1	1	3	1	2				2	10
GEPROS	1	2		1	1	1				2		8
TOTAL	2	4	2	3	5	4	2	3	0	5	3	33

Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados da pesquisa, 2016

A média de publicações para o período (2006 a 2016) foi de 3,3 artigos por ano, considerando-se uma amostra de 33 artigos. O periódico que recebeu mais publicações neste período foi o da Revista Produção Online, com 11 artigos. Em sequência tem-se a Revista Produto&Produção com 10 publicações e o GEPROS e a Revista Produção, com 8 e 4 artigos cada, respectivamente. O autor brasileiro com mais citações foi Fogliatto, sendo citado em 3 diferentes artigos.

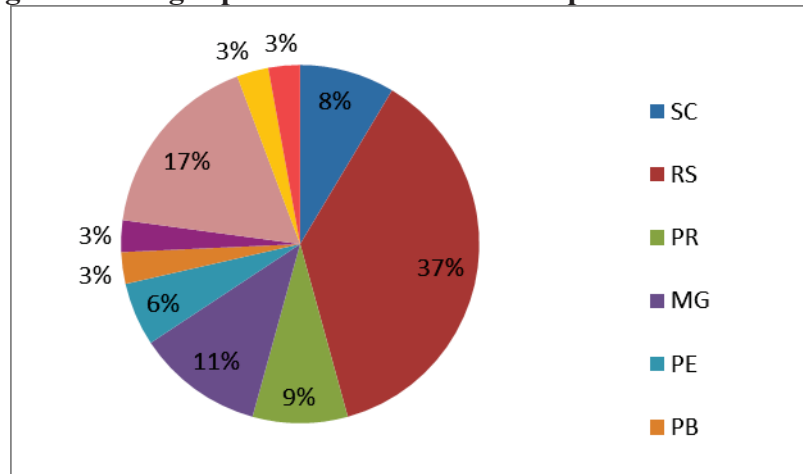
Figura 5- Publicações estratificadas por periódicos



Fonte: Elaborado pelas autoras.

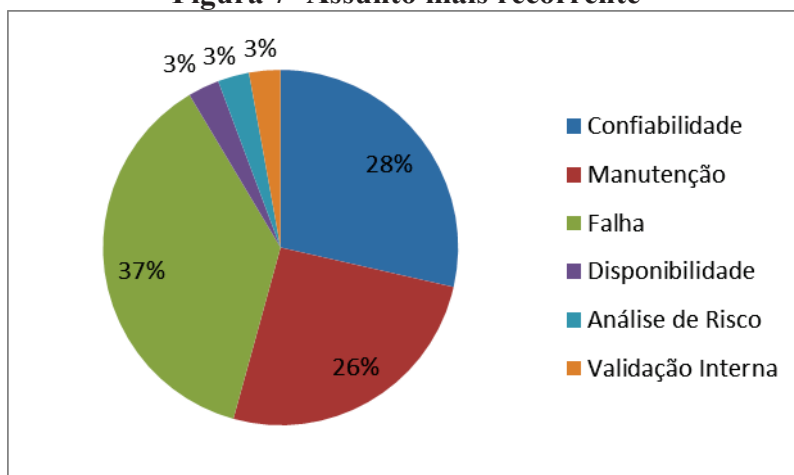
Apresenta-se na figura 6 a relação de artigos publicados em cada estado. O estado com maior número de publicações foi o Rio Grande do Sul, com 37% do total de artigos publicados no período estabelecido, seguido por São Paulo com 17%, Minas Gerais com 11%, Paraná e Santa Catarina com 9% e Pernambuco com 6%. Os estados da Paraíba, Rio de Janeiro, Amazonas obtiveram o mesmo número de publicações, 3%, referentes ao tema da pesquisa no período estudado. Em apenas um artigo não foi encontrado o estado onde o mesmo foi publicado.

Figura 6- Artigos publicados estratificados por estado brasileiro



Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados da pesquisa, 2016.

A figura 7 apresenta a relação entre os assuntos mais estudados pelos artigos dos periódicos nacionais analisados referentes ao período estudado. O assunto “falhas” foi o tema o mais estudado pelos artigos, aparecendo em 37% das publicações, seguido pelos assuntos “confiabilidade” e “manutenção” com 29% e 27%, respectivamente. Portanto, confiabilidade, manutenção e falhas foram os assuntos mais recorrentes nas publicações selecionadas.

Figura 7- Assunto mais recorrente

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Apresenta-se na tabela 3 as instituições e seus respectivos números de publicações para os três termos de pesquisa utilizados (confiabilidade, disponibilidade e falhas). Percebe-se que a instituição com maior número de publicações foi a Universidade Federal do Rio Grande do Sul com 7 artigos publicados, seguido pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos com 5 publicações. Sobre as demais universidades encontrou-se apenas um ou dois artigos publicados.

Tabela 3 - Número de artigos

Instituição	Sigla	Número de Publicações
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS	7
Universidade do Vale do Rio dos Sinos	Unisinos	5
Universidade Federal de Itajubá	UNIFEI	2
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	2
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	2
Universidade Federal do Pernambuco	UFPE	2
Centro Universitário Curitiba	UNICURITIBA	1
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	Poli-USP	1
Faculdade de Tecnologia de Botucatu	FATEC-BT	1
Pontifícia Universidade Católica do Paraná	PUC PR	1
Universidade Estadual Paulista	UNESP	1
Universidade Federal da Bahia	UFBA	1
Universidade Federal de Lavras	UFLA	1
Universidade Federal de Paraíba	UFPB	1
Universidade Federal do Amazonas	UFAM	1
Universidade Federal Fluminense	UFFE	1
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	UFRRJ	1
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR	1
Universidade Federal de São Paulo	UNIFESP	1

Fonte: Elaborado pelas autoras.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa permitiu analisar quantitativamente a evolução da confiabilidade em produtos e processos a nível nacional, no período de 2006 a 2016, fazendo-se um estudo bibliométrico do tema. Foi possível analisar os resultados considerando-se a porcentagem de publicações por estados; o número de publicações por periódicos; os autores mais co-citados e

as suas relações.

Embora não seja um tema novo, é possível perceber a escassez de referências bibliográficas sobre o assunto no Brasil. Dos 14 periódicos encontrados no banco de dados Capes, apenas 4 foram utilizados para a análise, resultando em apenas 33 artigos. Além disso, observou-se uma concentração de publicações no estado do Rio Grande do Sul.

Observa-se que não houve um aumento crescente de publicações no período determinado pelo estudo sendo a média de artigos de 3,3 por ano. Os artigos, em sua maioria, não utilizam a confiabilidade como tema principal de estudo mas, a utilizam como meio para se alcançar outro objetivo. Os assuntos mais recorrentes nos artigos são, respectivamente: falhas, confiabilidade e manutenção.

Logo, pode-se considerar que o estudo da confiabilidade ainda não está muito difundido pelo país. Espera-se que haja um crescimento tendo em vista a extrema importância do tema para os processos industriais como um todo.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Marly Monteiro; LOPES, Paula Vilas Boas Viveiro; MARZAGÃO, Daniela Santana Lambert. Gestão de portfólio de projetos: contribuições e tendências da literatura. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 433-454, 2013.

VITORINO FILHO, Valdir Antonio et al. A produção acadêmica internacional em gestão de operação: um estudo bibliométrico. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.15, n.1, jan./mar. 2015.

FOGLIATTO, Flávio Sansom; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 265p.

FONSECA, Emmily Caroline Cabral da et al. Evolução dos estudos de logística de reversa realizados no contexto nacional: Uma análise bibliométrica. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.15, n.4, out./dez. 2015.

LOPES, Ana Paula; CARVALHO, Marly Monteiro de; FLEURY, Afonso Carlos Corrêa. Redes sociais e cooperação: um estudo bibliométrico. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.13, n. 2, p. 634-654, abr./jun. 2013.

MURTHY, D.N.P. Product reliability and warranty: an overview and future research. **Revista Produção**, v. 17, n. 3, p. 426-434, Set./Dez. 2007.

O'CONNOR, Patrick D. T., KLEYNER, Andre. **Practical reliability engineering**. 5. ed. Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 2012. 513 p.

RODRIGUES, Maria Cecília Nascimento; PROVIDELLO, Matheus Nunes de Lima;

BAGNO, Raoni Bagno. A influência da Engenharia de Produção nos serviços de atendimento a saúde. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.16, n.1, jan./mar. 2016.

PEROVANO, Dalton Gean. **Manual de metodologia científica para a segurança pública e defesa social**. Curitiba: Juruá, 2014.

VANTI, Nadia Aurora Peres. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, v. 31, n. 2, p. 152-162, maio/ ago. 2002.

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO CONCRETO PÓS-REATIVO SUBMETIDO À CURA TÉRMICA

Mayara Roberta de Castro*

Talita Arantes Melo**

Camila de Moraes Duarte Miranda***

Lucas Batista Coelho****

Ayrton Hugo de Andrade e Santos*****

André Newinski*****

RESUMO

Concreto de Pós Reativos (CPR) ou na língua inglesa , *Reactive Powder Concrete - RPC*, são concretos que apresentam partículas com diâmetro máximo inferior a 2mm, e que foram desenvolvidos nos anos de 1990, na França, como substituto do Concreto de Alto Desempenho (CAD). Este concreto oferece grandes resistências à compressão e, eventualmente também, à tração e à flexão, na medida que se adiciona fibras metálicas na sua composição, conforme sugerido por Vanderlei e Giongo (2006). Neste sentido, este trabalho busca estudar o comportamento do concreto pós-reativo, atingindo concretos com resistência à compressão de 200 megapascal (MPa), utilizando a cura térmica como recurso para atingir os valores.

Palavras-chaves: Concreto de pós reativos. CPR. Concreto de alta resistência.

ABSTRACT

The Reactive Powder Concrete – RPC is a concrete compounded of particles within 2 mm diameter. Brought as a substitute for the High-Strength Concrete its development started in the 1990s in France. This concrete offers high resistance to compression and, if added metallic fibers it might increase its resistance to tensile and flexure strength, as suggested by Vanderlei

* Graduada em Engenharia Civil, PUC Minas; mayarardecastro@gmail.com

** Graduada em Engenharia Civil, PUC Minas; talitaarantes@yahoo.com.br

*** Graduada em Engenharia Civil, PUC Minas; cmd.miranda@hotmail.com

**** Graduando em Engenharia Civil, PUC Minas; lucas.lbcoelho@gmail.com

***** Graduado em Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil; andre0001@hotmail.com

***** Graduado em Engenharia Civil, Universidade Luterana do Brasil; andre0001@hotmail.com

and Giongo (2006). Thus, this work aims to study the RPC behavior, reaching resistance as high as 200 MPa, using thermal curing as a resource to reach it.

Keywords: Reactive Powder Concrete. RPC. High-Strength Concrete.

1 CONCRETO PÓS-REATIVO

O CPR é um concreto que é basicamente composto por pós, que apresentam partículas com diâmetro máximo inferior a 2 mm, e componentes químicos que garantem trabalhabilidade a mistura. Desenvolvido nos anos de 1990, na França, e utilizado estruturalmente em 1997 no Canadá, foi apresentado como um substituto do Concreto de Alto Desempenho (CAD). Este concreto oferece grandes resistências à compressão e, eventualmente também, à tração e à flexão, na medida que se adiciona fibras metálicas na sua composição, conforme sugerido por Vanderlei e Giongo (2006).

As avaliações sobre esse tipo de concreto são recentes e suas propriedades mecânicas e seu comportamento estrutural ainda estão sendo estudados. Enquanto o concreto convencional atinge em média valores na faixa de 60 MPa e o CAD atinge resistências entre 60 e 120 MPa, o CPR está numa faixa de resistência à compressão entre 180 e 800 MPa. Devido à alta resistência atingida, a parte mais frágil se faz nos agregados, daí a necessidade de se eliminar os agregados graúdos e tornar a estrutura mais densa, fazendo com que o responsável por absorver a carga seja a microestrutura do concreto, atingindo assim seu máximo desempenho. Para a produção deste concreto, a maior dificuldade se deve a necessita de grande precisão na dosagem e da análise da composição granulométrica.

Para se obter o CPR os seguintes princípios devem ser observados:

- a) aumento da homogeneidade pela eliminação dos agregados graúdos;
- b) aumento da densidade pela otimização da distribuição granulométrica dos grãos e/ou aplicação de pressão no preparo;
- c) fortalecimento da microestrutura utilizando tratamento térmico;
- d) utilização das propriedades pozolânicas da sílica ativa;
- e) aumento da ductilidade pela incorporação de fibras de aço.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O trabalho tem como meta reproduzir, guardadas as adaptações necessárias, o traço (Tabela 01) utilizado para construir a primeira estrutura em CPR do mundo. Dimensionada pelo Le Groupe Teknika, em Quebec no Canadá é uma ponte para pedestres/ciclistas com vão de 60 m (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - The Sherbrooke Footbridge



Fonte: Blais e Couture (1999).

Figura 2 - The Sherbrooke Footbridge



Fonte: Blais e Couture (1999).

2.1 Materiais

Neste trabalho, para a produção do concreto pós-reactivo, foram utilizados os seguintes materiais:

- a) o cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI) da empresa Cimento TUPI, fornecido a granel em sacos de 7 quilos pela

concreteira Concreto Minas, situada na cidade de Itabirito, e em conformidade com a ABNT NBR 5733:1991. A empresa forneceu os seguintes valores: massa específica 3,12 kg/dm³; superfície específica Blaine de 5690 cm²/g e resistência à compressão aos 28 dias de 48,6 MP.

Desse modo, o mesmo possui alta resistência inicial, ideal para suprir a necessidade de manuseio que a produção do CPR exige.

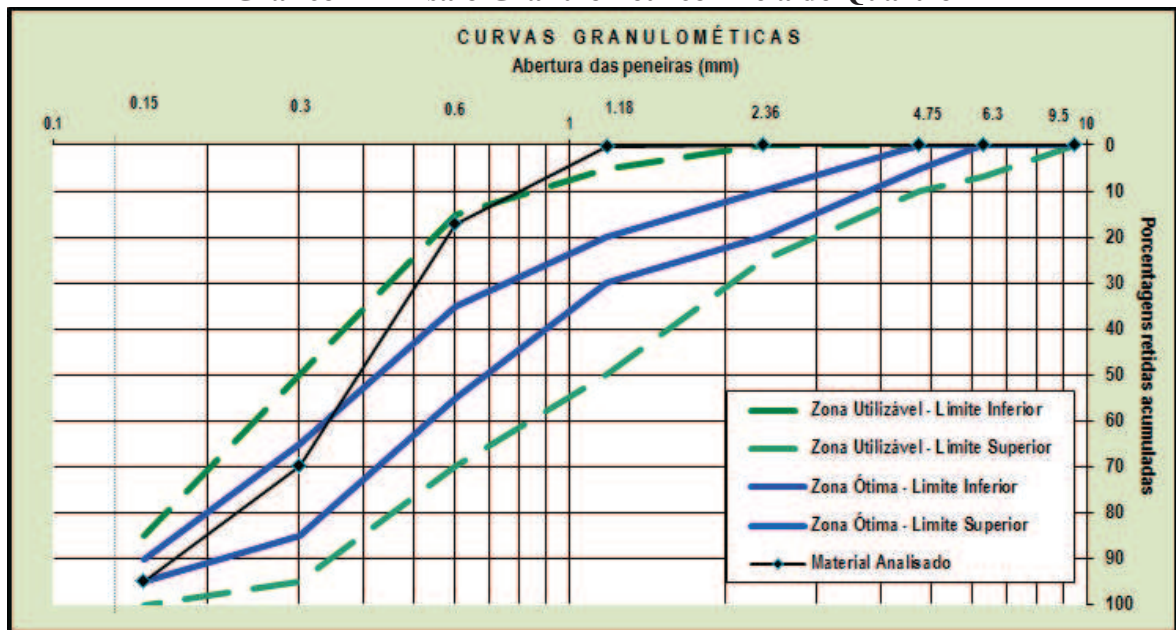
- b) a sílica ativa utilizada na pesquisa foi doada pela empresa Tecnosil – Sílica Ativa, a qual forneceu os valores de: massa específica de 2200 kg/m³, superfície de específica (BET) aproximada de 19000 m²/kg e diâmetro médio de 0,20 µm.

A sílica ativa é um resíduo metalúrgico decorrente do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício. Devido ao alto teor de SiO₂ no formato amorfo, aliado a uma elevada finura, proporciona altíssima reatividade com os produtos decorrentes da hidratação do cimento.

- c) a areia e pó de quartzo utilizados na pesquisa foram doados pela a empresa INTERBRASIL – Materiais de Construção. Foi realizado o teste de granulometria durante a pesquisa, onde obteve os valores: Areia de Quartzo (Gráfico 1): diâmetro máximo de 1,2 mm e módulo de finura 1,82. De acordo com o fabricante, a composição química da areia de quartzo é apresenta valores de 99,62% de quartzo (SiO₂), classificada como uma areia quartzoza. Pó de Quartzo (Gráfico 2): diâmetro máximo de 0,6 mm e módulo de finura 1,15. A empresa forneceu os valores de composição química de 99,82% de quartzo.

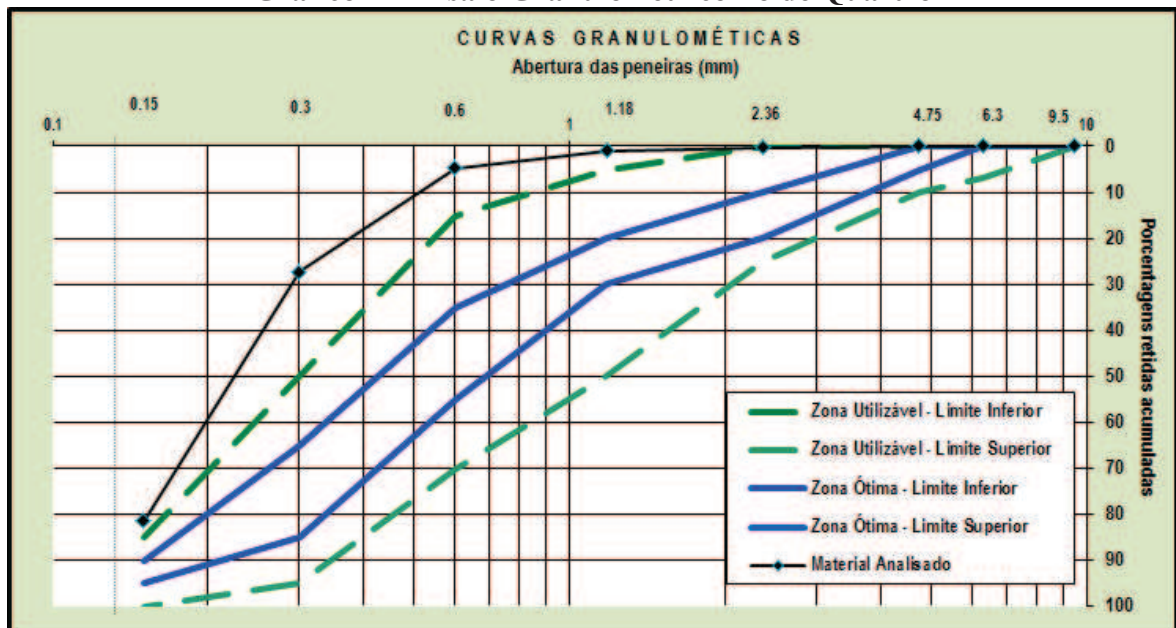
A Areia e Pó de quartzo são diferenciados pela granulometria, sendo o quartzo um mineral com estrutura cristalina, composto por SiO₂, com dureza elevada;

Gráfico 1 - Ensaio Granulométrico Areia de Quartzo



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Gráfico 2 - Ensaio Granulométrico Pó de Quartzo



Fonte: Elaborado pelos Autores.

- d) o aditivo superplastificante 01 usado na pesquisa foi doado pela empresa GRACE, comercializado com o nome de ADVA™ CAST 525, sendo classificado como um aditivo superplastificante de última geração baseado em policarboxilato, com massa específica de $\sim 1,070 \text{ g/cm}^3$ e pH $\sim 5,00$ (ABNT NBR 10908:2008).
- e) o aditivo superplastificante 02 utilizado na pesquisa foi doado pela empresa BASF, comercializado com o nome de GLENIUM® 51, sendo classificado como um aditivo

superplastificante de terceira geração baseado em éter policarboxílico, com massa específica de $\sim 1,087 \text{ g/cm}^3$ e $\text{pH} \sim 6,00$ (ABNT NBR 11768:2011).

Os aditivos químicos melhoraram a trabalhabilidade do concreto já que se faz necessária uma baixa relação de água/cimento, para se atingir maiores resistências.

- f) as fibras metálicas utilizadas na pesquisa foram doadas pela empresa TEC Machine – Fibras Metálicas, com as seguintes características e propriedades mecânicas, diâmetro de 0,50 mm comprimento de 25 mm e resistência à tração de 1100 MPa.

A fibra metálica apresenta comprimento reto, relação de aspecto (L/d) de 50, sendo sua utilização opcional. Nesse trabalho foi utilizada para evitar a separação de partes do corpo de prova e permitir que o concreto CPR tivesse um comportamento mais dúctil.

- g) a água utilizada na pesquisa para o amassamento dos concretos é potável gelada. Atua na diminuição do calor de hidratação nas primeiras horas, mantendo por mais tempo a trabalhabilidade e gerando uma melhor evolução da resistência à compressão.

Essa composição permitiu que a densidade da mistura, que é um fator que influencia bastante a resistência à compressão do CPR, fosse da ordem de 2460 kg/m^3 .

2.2 Dosagem e traço

O traço é um item fundamental para o desenvolvimento do CPR, já que sua alta resistência à compressão se dá pela formação de seus componentes aliados a um processo de cura que forma uma microestrutura densa e altamente resistente.

Para auxiliar nessa estrutura compacta utiliza-se uma técnica chamada de empacotamento de partículas, que consiste em utilizar diâmetros variados para que haja um preenchimento dos vazios pelos agregados componentes do concreto.

Essa composição permitiu que a densidade da mistura fosse da ordem de 2460 Kg/m^3 .

Nesse estudo o traço utilizado foi desenvolvido pelo Le Groupe Teknika e segue os princípios mencionados anteriormente.

Tabela 1 - Traço Referência

Fator a/c= 0,21		
Materiais	Kg/m³	%
Cimento	710	-
Sílica Ativa	230	32,4
Pó de Quartzo	210	29,6
Areia de Quartzo	1010	142,3
Fibra Metálica	190	26,8
Superplastificante (L)	19	2,7
Água (L)	200	28,2

Fonte: Blais e Couture (1999).

Duas diferentes misturas foram produzidas, sem se alterar proporções, para que os dois superplastificantes disponíveis pudessem ser testados.

2.3 Processo de produção dos CP's

O processo de amassamento dos concretos foi produzido em uma argamassadeira (Figura 03) modelo I-3010 da Contendo Indústria e Comércio LTDA com cuba de 5 litros e duas rotações, uma baixa e outra alta, no laboratório de materiais de construção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). A sequência detalhada a seguir, foi realizada para cada uma das duas misturas:

- a) pesagem dos materiais secos do concreto;
- b) colocação dos materiais na cuba da argamassadeira, pré-mistura dos materiais secos com o auxílio de espátula metálica e mistura em baixa rotação por cinco minutos;
- c) lançamento da água de amassamento e mistura por dois minutos;
- d) lançamento do aditivo superplastificante;
- e) rotação baixa até o material apresentar se úmido;
- f) rotação alta por cinco minutos ou até o material apresentar a fluidez desejada;
- g) colocação das fibras metálicas, mistura por um minuto;
- h) moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura em três camadas, sendo cada uma compactada com 30 golpes de um soquete.
- i) após a moldagem dos corpos de provas, foi executado o nivelamento das suas superfícies dos topos dos corpos de prova com o auxílio de uma espátula metálica e proteção de seus topos com vidros;
- j) após moldados os corpos de prova ficaram armazenados em câmara úmida por 24 horas;
- k) após 24 horas foi realizado o desmolde dos corpos de prova;

- l) aplicação dos processos de cura aos concretos.

Figura 3 - Concreto sendo produzido na Argamassadeira



Fonte: Fotografia dos Autores.

A Figura 04 apresenta o concreto pós-reativo durante a sua fabricação (Fig. 4-a) e os corpos de prova produzidos (Fig. 4-b).

Foram produzidos 9 corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, para cada mistura, totalizando 18 corpos de prova. O fator água/cimento foi de 0,21 e foi utilizada água gelada para efetuar a confecção do concreto.

Figura 04 - Concreto Pós-reativo - (a) Fabricação do concreto, (b) Corpos de Prova



Fonte: Fotografia dos Autores.

2.4 Cura

A cura consiste em um processo de manter a água necessária para que a hidratação do cimento ocorra satisfatoriamente, onde ocorrem reações químicas que são primordiais para que se atinja a resistência prevista em projeto.

A relação água /cimento utilizada no CPR é muito abaixo dos valores convencionais,

sendo assim, a água adicionada não é suficiente para realizar a hidratação do cimento, destacando ainda mais a importância da cura para esse concreto.

2.4.1 Cura térmica

Nesse trabalho a cura térmica foi utilizada como recurso, já que estudos indicam sua eficiência na hidratação do CPR, trabalhando em sua microestrutura gerando reações químicas com formação de hidratos cristalinos e aumento da resistência à compressão, quando comparado a processos convencionais (VANDERLEI; GIONGO, 2006).

O processo constituiu-se por duas etapas, divididas entre antes e depois do fim do tempo de pega do CPR. A primeira etapa se constituiu após a confecção dos corpos de prova, que foram armazenados em uma câmara úmida por 24 horas. Após essas 24 horas deu-se início à segunda etapa, onde, os corpos de prova foram emergidos em um recipiente metálico completo de água. Esse recipiente foi colocado dentro de uma estufa à cerca de 100 °C, sendo restituído a água que evaporava de 12 em 12 horas. Esse processo ocorreu por cerca de 72 horas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios de compressão axial foram realizados com 28 dias e os resultados obtidos encontram-se nas Tabela 2 e Tabela 3. A Figura 3 apresenta o corpo de prova após o ensaio de resistência à compressão.

A maior resistência obtida foi da ordem de 116 MPa para a mistura 1, com adição do superplastificante CAST 525, ficando 58% abaixo da resistência esperada que era de 200Mpa.

Devido a utilização das fibras metálicas o rompimento dos corpos de prova se deu de maneira lenta e controlada, tendo gerado poucos fragmentos, já que essas funcionaram como ligações entre os fragmentos do concreto fazendo-o mais dúctil.

Tabela 2- Resultados à compressão axial**Mistura 1 - ADVA™ CAST 525**

Corpo de Prova	Tensão 28 dias (MPa)
1	73,84
2	105,34
3	95,1
4	82,57
5	136,58
6	114,13
7	136,76
8	163,82
9	136,73
Tensão Média =	116,10 MPa

Fonte: Elaborada pelos Autores, 2016.

Tabela 3 - Resultados à compressão axial**Mistura 2 - GLENIUM® 51**

Corpo de Prova	Tensão 28 dias (MPa)
1	108,42
2	87,42
3	84,44
4	108,31
5	114,4
6	133,49
7	85,11
8	117,79
9	95,77
Tensão Média =	103,91 MPa

Fonte: Elaborada pelos Autores, 2016.

Figura 5 - Corpos de Prova rompidos por Ensaio de Compressão Axial



Fonte: Fotografia dos Autores, 2016

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos colocam o concreto produzido na faixa de resistência do CAD, entre 60 e 120 MPa, possivelmente causada por cura inadequada e/ou má distribuição granulométrica, tendo em vista que esses foram os pontos de maior necessidade de adaptação devido aos recursos disponíveis. Provando que o CPR é um concreto que necessita de um controle tecnológico estrito, onde todas as variáveis devem ser bem controladas e os procedimentos bem executados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Pró-Reitoria de Extensão da PUC Minas, Programa de Financiamento às Exportações (PROEX) para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10908**: Aditivos para argamassa e concreto: ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

BLAIS, Pierre Y.; COUTURE, Marco. Precast, prestressed pedestrian bridge world's first reactive powder concrete structure. **New Technology**, v. 44, n. 5, p. 60-71, 1999.

Disponível em: <http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/1999/DOI_Articles/jl-99-september-october-5.pdf>. Acesso em: 30

maio 2016.

VANDERLEI, Romel Dias; GIONGO, José Samuel. Análise experimental do concreto de pós-reativos: dosagem e propriedades mecânicas. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 8, n. 33, p. 115-148, 2006.

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À FADIGA DO AÇO AISI 420

Murilo Pereira Lopes*

Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior **

Yuri Adan Cordovil***

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação, por meio de revisão bibliográfica e simulação computacional, dos efeitos da rugosidade superficial na resistência à fadiga de peças e componentes mecânicos com ênfase no aço AISI 420. Por meio da análise teórica foi possível verificar que a rugosidade superficial é fator importante a ser considerado na avaliação da resistência à fadiga de peças e componentes mecânicos. A simulação computacional comprovou esta premissa indicando o aumento de dano estrutural ao longo de ciclos de solicitações mecânicas em um componente de aço AISI 420 com elevado índice de rugosidade superficial.

Palavras-chave: Fadiga. Rugosidade. Dano estrutural. Simulação Computacional.

ABSTRACT

This paper presents an evaluation, by means of a bibliography revision and computational simulation, of effects of superficial roughness in fatigue resistance of parts and mechanical components with emphasis on AISI 420 steel . By theoretic analysis, was possible verify that superficial roughness is important factor to be considered in the evaluation of resistance on parts fatigue and mechanical components. The computational simulation proved this premise indicating the structural damage increase over cycle of mechanical requests in an AISI420 steel

* Mestre em Engenharia Mecânica. Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros, murilo@femc.edu.br.

** Doutor em Engenharia Mecânica. Professor da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pamerico@pucminas.br.

*** Engenheiro de Controle e Automação. Coordenador de Projetos da Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros, yuriadan@femc.edu.br.

body with high superficial roughness indexes.

Keywords: Fatigue. Roughness. Structural damage. Computational simulation.

1 INTRODUÇÃO

O aço AISI 420 é caracterizado pela elevada dureza e resistência à corrosão, podendo ser influenciado por tratamento térmico. São aplicados em peças que necessitam de resistência mecânica associada à ductilidade e resistência à corrosão. Ele pertence à família dos aços inoxidáveis martensíticos, possui relativamente baixo teor de carbono, e cerca de 12% de cromo.

Devido ao seu equilíbrio entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão, é amplamente utilizado na indústria de geração de energia, pás de turbinas, compressores, extração de petróleo, indústria química, petroquímica e equipamentos cirúrgicos. (PRIETO; PEREZ-IPÍÑA; TUCKART, 2014).

Prevenir falhas mecânicas é fundamental em qualquer processo industrial. Peças, componentes e elementos de máquinas são projetados e fabricados no intuito de atenderem a uma determinada vida útil. Porém, sabe-se que vários são os fatores que influenciam em uma falha, e tratando-se de solicitações mecânicas, a fadiga do material é destaque.

O objetivo dessa pesquisa é fornecer subsídios técnicos para a definição de padrões de acabamento em peças usinadas sujeitas a esforços mecânicos e consequente falha por fadiga.

2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FADIGA

O ensaio de resistência à fadiga é utilizado para especificar limites de tensão em função do tempo de utilização de uma peça ou conjunto de uma máquina. Também serve para determinar aplicações de materiais.

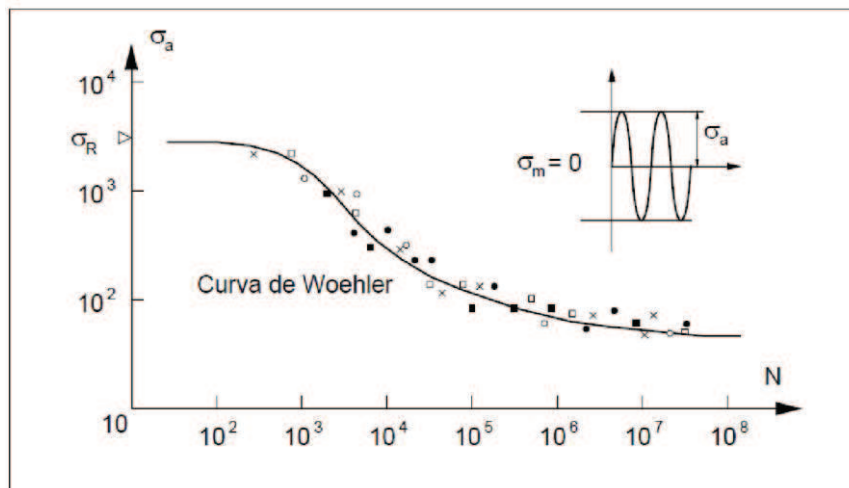
Inicialmente, para pesquisar a resistência à fadiga por carregamentos cíclicos, foram criados ensaios de flexão rotativa. Corpos de prova de seção circular são solicitados por esforços de flexão e submetidos a uma determinada rotação. “[...] Contando-se o número de rotações até a ruptura do corpo de prova, temos o número de ciclos que o material suportou, até a falha, correspondente ao nível de tensão cíclica atuante.” (ROSA, 2002, p. 250).

Na flexão rotativa o corpo de prova é solicitado por uma tensão cíclica alternante e tensão média nula.

Neste ensaio um corpo de prova é posto a girar, submetido a um momento fletor constante, o que faz com que cada ponto do material, devido à rotação, tenha o seu nível de tensão variando senoidalmente. O corpo de prova assim permanece até que venha a romper. Novos corpos de prova são ensaiados, com diferentes intensidades de carregamento, permitindo desta forma uma avaliação do efeito do nível do carregamento cíclico sobre a vida à fadiga do material em questão. Os resultados destes ensaios são usualmente apresentados na forma gráfica, de valores da tensão alternante aplicada contra o número de ciclos da vida. (ROSA, 2002, p. 250).

A gráfico 1 mostra no eixo horizontal o número de ciclos solicitados e no eixo vertical a tensão aplicada de forma alternada.

Gráfico 1 - Aspecto geral de uma curva tensão alternante-número de ciclos



Fonte: (ROSA, 2002).

Outros tipos de ensaios realizados são os de tração-compressão, torção cíclica ou de flexão plana, sendo que atualmente a tendência é de usar predominantemente testes axiais, de tração-compressão. Alguns ensaios são realizados com o uso de carregamentos combinados, ou seja, tração-flexão, tração-torção, flexão-torção, entre outras combinações. Atualmente o estudo da fadiga é feito tomando por base os dados obtidos com ensaios de tração-compressão, com controle de carga na região a alto ciclos e com controle de deformação na região abaixo ciclos. (ROSA, 2002, p. 252).

2 FADIGA E RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A fadiga possui relação com as condições de trabalho e temperatura, tipo de carga e carregamento submetido, especificação química do material, integridade da superfície do componente, dentre outros. “[...] danos por fadiga na superfície de um componente tipicamente se desenvolvem devido à integridade da superfície resultante do processo de fabricação”. (AROLA; WILLIAMS, 2002, p. 923).

A falha inicia-se sempre nos pontos mais solicitados, começa na forma de pequenas

trincas de fadiga, que vão crescendo e reduzindo a seção resistente, até que a sobrecarga faz com que ocorra uma ruptura final, por uma propagação brusca da trinca. (COLLINS, 1993).

A condição da superfície geralmente é determinada por normas e provém do resultado de processos de fabricação variados, destaca-se a usinagem. Neste, o acabamento superficial é definido pelo tipo de operação, ferramental utilizado e principalmente pelas combinações dos chamados parâmetros de corte. O acabamento superficial desempenha um papel fundamental tanto na aparência quanto no desempenho da peça produzida. (KALPAJAN; DAVID apud GISARIO; BOSCHETTO; VENIALI, 2011).

Os parâmetros de usinagem influenciam diretamente características como tensão residual, dureza e rugosidade superficial. Tais características, evidentemente, podem ser controladas por uma cuidadosa e adequada definição das condições de usinagem. (SASAHARA, 2005).

Outros fatores que podem influenciar na integridade da superfície são a dureza e a tensão residual provocada pelo processo de fabricação.

2.1 Estudo apresentado por Lopes (2006)

Um estudo realizado por Lopes (2006) apresentou a influência dos parâmetros de usinagem na resistência à fadiga de aços AISI 4140. Neste estudo experimental, uma série de corpos de prova foram preparados por meio da usinagem com utilização de parâmetros de corte distintos. Dessa forma os ensaios de fadiga foram realizados conforme as características da rugosidade da superfície usinada.

Para determinação do limite de resistência à fadiga foi utilizado o método Staircase, onde os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios cíclicos flexo-rotativo, em temperatura ambiente e tensão média nula ($R=-1$). A influência da tensão residual foi determinada por meio de comparação do limite de resistência à fadiga entre corpos-de-prova em estado virgem e recozidos. Constatou-se que o fator mais degradante da resistência à fadiga é o avanço, seguido pela profundidade de corte e velocidade de corte. Pode-se constatar também, uma significativa relação entre tensão residual e limite de resistência à fadiga, principalmente para valores altos de rugosidade superficial. (LOPES, 2006, p.6).

A tabela 1 mostra de forma sintetizada os resultados dos ensaios de resistência à fadiga deste experimento. Foram ensaiados um total de 162 corpos de prova divididos em 08 grupos, cada grupo foi usinado com parâmetros de corte distintos.

Tabela 1 - Relação entre Rugosidade média e Limite de Resistência à Fadiga

Rugosidade Média dos corpos de prova - Ra (μm)	Limite de resistência à fadiga - S_e (MPa)
2,73 \pm 0,22	306,11 \pm 11,76
1,68 \pm 0,36	368,17 \pm 19,84
1,62 \pm 0,30	366,84 \pm 16,32
2,97 \pm 0,13	362,05 \pm 8,50
4,79 \pm 0,13	228,22 \pm 41,98
2,59 \pm 0,37	341,10 \pm 13,72
1,53 \pm 0,09	378,53 \pm 11,76
0,15 \pm 0,01	395,98 \pm 7,68

Fonte: (LOPES, 2006, p. 89).

A pesquisa realizada por Lopes indicou que o limite de resistência à fadiga diminui com o aumento da rugosidade superficial. “[...] O limite de resistência à fadiga depende diretamente da integridade superficial do componente, que reúne além da rugosidade superficial, fatores como dureza e tensão residual” (LOPES, 2006, p. 106).

3 SIMULAÇÃO COMPLEMENTAR

No intuito verificar os efeitos da rugosidade superficial na resistência à fadiga do aço AISI 420, foi realizada uma simulação de ensaio de resistência à fadiga através do software SolidWorks.

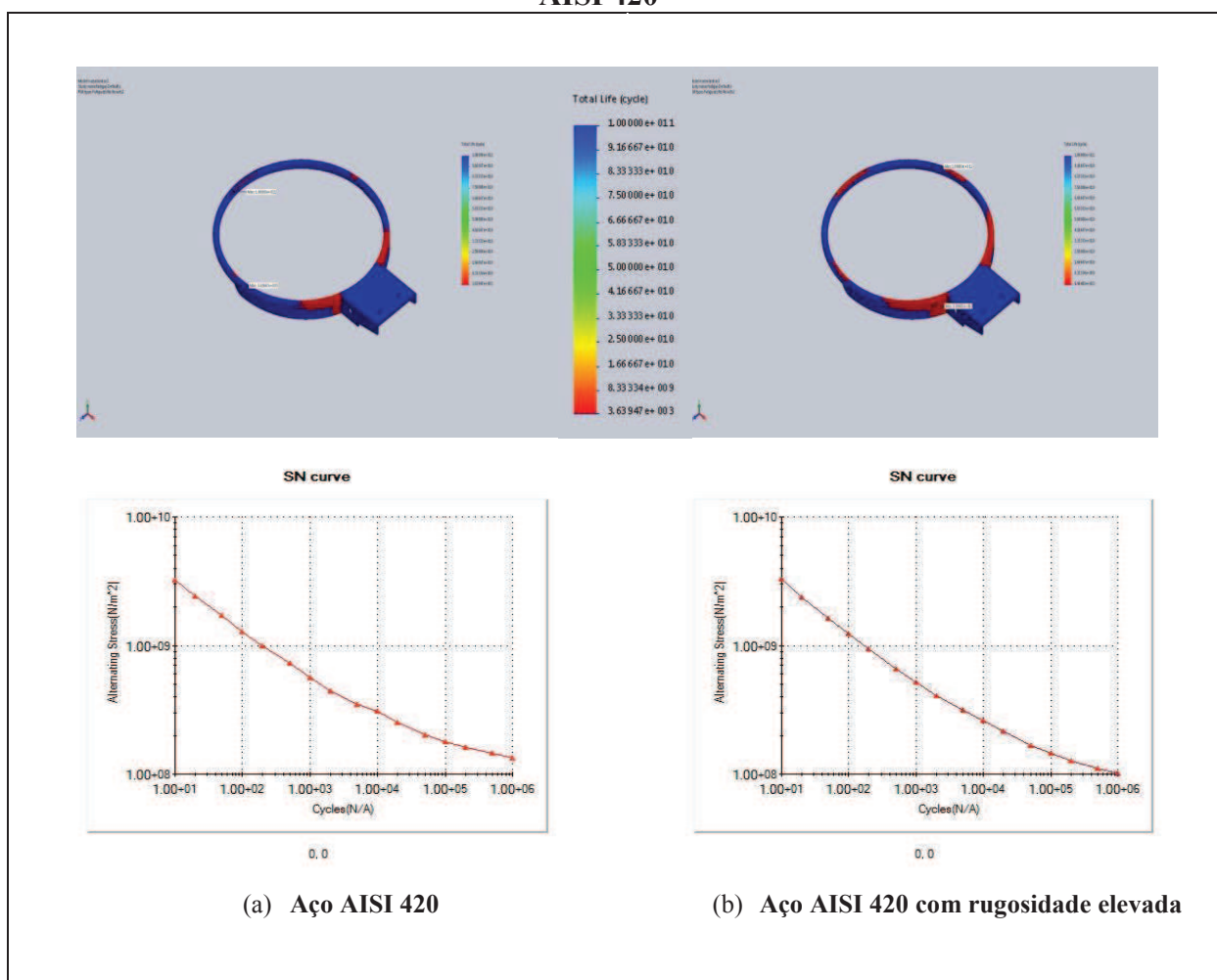
Para o ensaio computacional, um aro de cesta de basquete com dimensões pré-definidas foi criado no software. Numa primeira simulação foi atribuído à peça o material aço AISI 420, com todas as suas características padronizadas em normas. O ensaio foi feito considerando um ciclo de vida infinita, utilizando o método de Gerber, esse critério adota uma correção que tem como referência uma curva quadrática, passando por σ_N e σ_R , simétrica em relação ao eixo vertical.

Na segunda simulação foi atribuído à cesta de basquete um aço AISI 420, mantendo-se suas características mecânicas principais, porém alterando-se o padrão de acabamento superficial para uma rugosidade muito elevada, com desvio médio aritmético (Ra) superior a 3,2 μm .

Os resultados obtidos são mostrados na figura 2 ilustrada abaixo. Pode-se notar os

diferentes comportamentos da peça, a figura 2(a) indica os pontos mais críticos sofridos pela ação das tensões impostas no ensaio de fadiga no aço AISI 420 com baixa rugosidade Ra, nota-se que a extremidade posterior do aro é a região mais solicitada, e conseqüentemente suportará menor número de ciclos. Na figura 2(b) têm-se os resultados do mesmo ensaio, porém utilizando-se o aço AISI 420 com a rugosidade elevada, percebe-se que a extremidade posterior, próxima ao ponto de apoio fixo, apresenta maior desgaste ao longo dos ensaios, suportando assim menor número de ciclos de solicitação.

Figura 2 – Simulação computacional de ensaio de fadiga em peças fabricadas em aço AISI 420



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando-se as duas situações através das curvas S-N, fica claro que a peça fabricada em aço AISI 420 com o parâmetro de rugosidade elevada apresenta pior desempenho no ensaio de resistência à fadiga.

4 CONCLUSÃO

A análise teórica apontou que a rugosidade superficial, apesar de não ser o único fator influente na resistência à fadiga, deve ser criteriosamente considerada no dimensionamento de uma peça ou componente.

Na simulação computacional o limite de resistência à fadiga diminuiu com o aumento da rugosidade superficial.

A simulação computacional indicou através dos resultados da curva S-N um aumento de dano estrutural ao longo do número de ciclos impressos ao aço com maior rugosidade superficial.

O software SolidWorks mostrou-se eficiente para análise preliminar de dimensionamento por resistência à fadiga.

REFERÊNCIAS

AROLA, Dwayne; WILLIAMS, C L. Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces. **International Journal of Fatigue**, v. 24, n. 9, p. 923-930, 2002.

COLLINS, Jack A. **Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1993.

GISARIO, Annamaria; BOSCHETTO, Alberto; VENIALI, F. Surface transformation of AISI 304 stainless steel by high power diode laser. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 49, n. 1, p. 41-51, 2011.

LOPES, Karina Stefania Souza. **Influência dos parâmetros de usinagem na resistência à fadiga de aços AISI 4140**. 2006. 162f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PRIETO, Germán; PEREZ-IPÍÑA Juan E.; TUCKART Walter R. Cryogenic treatments on AISI420 stainless steel: Microstructure and mechanical properties. **Materials Science & Engineering**, v. 605, p. 236-243, 2014.

ROSA, Edison da. **Análise de resistência mecânica: mecânica da fratura e fadiga**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SASAHARA, Hiroyuki. The effect on fatigue life residual and tool rake angle and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0,45%*c* steel. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v. 45, n. 2, p. 131-136, 2005.

SEGURANÇA DO TRABALHO E SEUS IMPACTOS FINANCEIROS NAS INSTITUIÇÕES

Emílio Duarte*

José Luiz Silva Ribeiro**

Isadora Micheline Marques***

Hugo de Oliveira Gomes****

RESUMO

A aplicação da segurança do trabalho nas empresas é imprescindível para atuar na prevenção e minimização de acidentes decorrentes dos fatores de riscos ocupacionais, bem como proteger a integridade e a capacidade dos colaboradores. É de suma importância salientar que o trabalhador cumpra e respeite todas as instruções que lhe são repassadas. Por este motivo o presente trabalho pretende mostrar como as Normas Regulamentadoras, da Portaria Nº 3.214/1978, do Ministério do Trabalho, podem ser aplicadas para diminuir os impactos financeiros decorrentes de inspeção oficial da Superintendência Regional do Trabalho e Emprego, e evitar possíveis fatores acidentais. O trabalho foi desenvolvido em uma indústria de metais não ferrosos, onde foram coletados dados de irregularidades presentes, tendo sido calculados os valores das penalidades impostas com base na Norma Regulamentadora NR – 28. Para efeito comparativo foi feito um levantamento de custos para regularizar a situação da empresa e demonstrar que a prevenção e a regularização das condições de segurança nos ambientes laborais é a maneira mais adequada de se evitar multas e, principalmente, medidas judiciais nos casos de acidentes de maior gravidade.

Palavras-chave: Segurança do Trabalho. Gestão da Segurança. Custos da Prevenção.

ABSTRACT

The application of work safety in companies is essential to act in the prevention and minimization of accidents resulting from occupational risk factors, as well as to protect the

* PUC Minas – Graduando em Engenharia de Produção

** PUC Minas – Professor Adjunto

*** PUC Minas – Engenheira de Produção

**** PUC Minas – Engenheiro de Produção

integrity and capacity of employees. It is extremely important to stress that the worker complies with and complies with all the instructions that are passed on to him. For this reason, the present work intends to show how the Regulatory Norms of Ordinance No. 3.214 / 1978, of the Ministry of Labor, can be applied to reduce the financial impacts resulting from official inspection of the Regional Superintendence of Labor and Employment, and to avoid possible accidental factors . The work was developed in a nonferrous metal industry, where data were collected of irregularities present, and the values of penalties imposed were calculated based on the Regulatory Norm NR - 28. For comparative effect a cost survey was made to regularize the situation of the company and demonstrate that prevention and regularization of safety conditions in work environments is the most appropriate way to avoid fines and, especially, judicial measures in cases of major accidents.

Keywords: Workplace safety. Security Management. Costs of Prevention.

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho visa demonstrar o impacto financeiro do não cumprimento das normas de segurança do trabalho nas instituições, uma vez que a consequência do não cumprimento da legislação vigente acarreta como resultado final possíveis acidentes de trabalho, que vem a trazer custos não apenas às empresas, mas também aos órgãos públicos e seus graves impactos sociais.

Normalmente o custo de ações preventivas para evitar acidentes é uma mera fração do custo corretivo. Vale ainda salientar que o benefício de implementar o sistema de gestão de segurança traz às instituições diversos benefícios tanto mensuráveis como incomensuráveis. No primeiro caso, pode-se citar o de evitar custos não gerados com o acidente. Há, ainda, o exemplo dos passivos trabalhistas que a empresa pode vir a ter quando se tem um funcionário acidentado ou casos em que se necessita contratar e treinar outros funcionários para exercer a função dos afastados.

Como resultado incomensurável podemos citar o aumento moral e da autoestima dos funcionários ao perceber o interesse da empresa em seu bem-estar.

Ainda como objetivo principal, está o interesse em demonstrar, através de consulta a legislação vigente especialmente a Normas Regulamentadoras (NR – 28) – Fiscalização e Penalidades, a inviabilidade financeira do não cumprimento das normas de saúde e segurança do trabalho contidas na Portaria 3214/78 – Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

É fundamental, para atingir a redução de custos com acidentes e não cumprimento de normas a constante conscientização de funcionários e diretores quanto à importância de se seguir em NR para adequar as empresas a regras estipuladas pelo Ministério do Trabalho e Emprego.

O presente artigo foi elaborado com base em pesquisas bibliográficas em livros, periódicos científicos e artigos, levando em conta os custos relacionados ao não cumprimento das normas de segurança do trabalho, em uma indústria de reciclagem de metais não ferrosos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição de Saúde e segurança do trabalho

O portal da Educação (2013) cita que a Segurança do Trabalho corresponde ao conjunto de ciências e tecnologias que tem por objetivo proteger o trabalhador em seu ambiente de trabalho, buscando minimizar e/ou evitar acidentes de trabalho e doenças ocupacionais.

De modo geral, denomina-se Segurança do Trabalho a área que corresponde ao conjunto de ciências e tecnologias que tem por objetivo proteger o trabalhador em seu ambiente de trabalho, buscando minimizar e/ou evitar acidentes de trabalho e doenças ocupacionais.

A Segurança e Higiene no trabalho é voltada para a identificação dos fatores de risco que levam a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais, avaliando seus efeitos na saúde do trabalhador, propondo medidas de intervenção técnica a serem implementadas no ambiente de trabalho. A segurança do trabalho é o conjunto de medidas técnicas, administrativas, educacionais, médicas e psicológicas, empregadas para prevenir acidentes, seja pela eliminação de condições inseguras do ambiente, seja pela instrução ou pelo convencimento das pessoas para a implementação de práticas preventivas.

2.2 Acidente de Trabalho

Conforme dispõe o Art. 19 da Lei nº 8.213/91, "acidente de trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho".

Deve haver, ainda, o reconhecimento de possíveis danos morais, porque a proteção da

saúde do trabalhador engloba todas as esferas do corpo humano, resguardando também a integridade psicofísica do trabalhador.

Segundo Saliba (2002) a segurança do trabalho, é uma ciência que visa prevenir acidentes do trabalho decorrentes de fatores de riscos. Ainda segundo Saliba os acidentes de trabalho que não provocam lesões, mas causam perda de tempo ou danos materiais, também são considerados acidentes que podem ser prevenidos e de acordo com o autor os Equipamento de Proteção Individual (EPIs) são ferramentas de medidas de controle de riscos e imprescindíveis nas situações de emergência.

2.3 Fator Acidentário de Prevenção (FAP)

O fator acidentário é um multiplicador, que varia de 0,5 a 2 pontos, a ser aplicado às alíquotas de 1%, 2% ou 3% da tarificação coletiva por subclasse econômica, incidentes sobre a folha de salários das empresas para custear aposentadorias especiais e benefícios decorrentes de acidentes de trabalho. O FAP varia anualmente. É calculado sempre sobre os dois últimos anos de todo o histórico de acidentalidade e de registros acidentários da Previdência Social, por empresa.

2.4 Normas regulamentadoras

As Normas Regulamentadoras foram criadas pelo Ministério do Trabalho para promover a saúde e segurança do trabalhador dentro das instituições, e para fazer cumprir a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Conforme a NR 1, Item 1.1:

As Normas Regulamentadoras - NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho – CLT. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 Alteração dada pela Portaria n.º 06, de 09/03/83.

2.5 Treinamentos

O treinamento de segurança do trabalho pode ser entendido como um processo educacional que visa proporcionar a conscientização e orientação dos trabalhadores sobre determinados riscos presentes em suas funções e atividades profissionais, tal como ao ambiente de trabalho.

A aplicação de treinamentos de segurança do trabalho aos colaboradores é um investimento de fundamental importância para as empresas, por isso o empregador deve criar meios para a elaboração e execução de treinamentos.

No caso dos empregados, os treinamentos na área da segurança e saúde do trabalho se estabelecem como uma ótima ferramenta de aquisição de conhecimentos sobre as medidas e procedimentos corretos a serem realizados durante a execução de suas atividades, por isso cabe aos trabalhadores participarem atentamente dos mesmos.

2.6 EPIs e EPCs

Conforme NR 6 - EPI, Item 6.1.

Para os fins de aplicação desta Norma Regulamentadora - NR, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Ministério do trabalho Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978.

Item 6.1.1 “Entende-se como Equipamento Conjugado de Proteção Individual, todo aquele composto por vários dispositivos, que o fabricante tenha associado contra um ou mais riscos que possam ocorrer simultaneamente e que sejam suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho”.

Segundo o Portal Educação 2013, Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) são equipamentos utilizados para proteção de segurança enquanto um grupo de pessoas realiza determinada tarefa ou atividade.

Poderá ser um dispositivo, um sistema, ou um meio, fixo ou móvel, diferente do EPI, que serve para proteger somente quem está usando, como por exemplo, luvas, capacete, óculos etc. O equipamento de proteção coletiva protege todos ao mesmo tempo, pois todos observam, usam ou são beneficiados. São exemplos de equipamentos de proteção coletiva: enclausuramento acústico de fontes de ruído, ventilação dos locais de trabalho, proteção de partes móveis de máquinas, exaustores para gases e vapores, tela / grade para proteção de polias, peças ou engrenagens móveis, corrimão, barreiras de proteção contra luminosidade e radiação, purificadores de ar/água, placas sinalizadoras, guarda-corpos, sirene de alarme incêndio, chuveiro e lava olhos de emergência.

Os EPIs, segundo (2004, p. 325), constituem importante medida de prevenção de acidentes e doenças do trabalho, contudo, sua adoção deve ser feita depois de esgotadas todas

as alternativas de controle coletivo. Ainda segundo este autor, a indicação correta do EPI adequado é fundamental na eficiência desse meio de controle.

2.7 Higiene ocupacional

Segundo Saliba (2013) a higiene ocupacional é a ciência que atua no campo da saúde ocupacional, por meio da antecipação, do reconhecimento, da avaliação e do controle dos riscos físicos, químicos e biológicos originados nos locais de trabalho e passíveis de produzir danos à saúde dos trabalhadores, observando-se também seu impacto no meio ambiente. Os riscos físicos são: ruído, calor, vibração, radiação ionizante, radiação não ionizante, frio etc. Os agentes químicos são: gases, vapores, poeira, fumo, névoas e neblinas. “Os agentes biológicos são: bactérias, fungos etc.”.

Com base nisso pode se concluir que higiene ocupacional trata do estudo de agentes nocivos à saúde e a integridade física do trabalhador tendo como base legal as NRs especialmente NR 15 e NR 16.

2.8 Riscos ocupacionais

Podem-se conceituar Riscos Ocupacionais, como sendo quaisquer agentes, presentes no local de trabalho e capazes de afetar a saúde dos trabalhadores, a segurança, a produtividade, a eficiência e a qualidade de vida e do trabalho. Estes riscos decorrem das condições adversas inerentes ao ambiente ou ao próprio processo operacional das mais variadas atividades profissionais.

Os riscos ocupacionais seguem a seguinte classificação:

- a) AMBIENTAL - exposição a agentes nocivos químicos, físicos ou biológicos ou a associação destes - NR 09 MTE;
- b) ERGONÔMICOS E PSICOSSOCIAIS - NR 17 - MTE;
- c) MECÂNICOS E DE ACIDENTES - NRs 16, 18 e 29 TEM.

Considera-se risco aquilo que em função da sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

Há, ainda, os fatores de risco material. Esses fatores são criações ou manutenções de condições inseguras de trabalho, que em geral, são de cunho técnico, conceitual ou

administrativo. Zocchio enumera alguns procedimentos incorretos que levam a esses fatores de risco material: decisões, erros, equívocos conceituais, desinteresse, despreparo. Onde tudo isso acaba resultando em condições perigosas.

2.9 Avaliação quantitativa de riscos ocupacionais

Análise das condições de trabalho por seção ou setor, visando identificar os riscos sem utilização de instrumentais. Dimensionar a exposição dos trabalhadores a riscos mensuráveis. É feita pelos equipamentos: Medidor de nível de pressão sonora, Audiômetro, Luxímetro, Termômetro de Globo, Termômetro de Bulbo Seco e Termômetro de Bulbo Natural.

2.10 Norma Regulamentadora NR 28

A NR 28 define os procedimentos e critérios a serem adotados pela fiscalização da Medicina e Segurança do trabalho, tanto a concessão de prazos as empresas para a correção das irregularidades, nos critérios que devem ser adotados durante a visita do fiscal de trabalho as instituições e a interdição de locais de trabalho quando necessário.

Também estão presentes nesta norma os valores mínimos e máximos nas aplicações de penalidades pelo não cumprimento das normas de Medicina e segurança do trabalho. Conforme dispõe a NR 28, Item 28.1.1 a 28.1.5 rege os procedimentos de fiscalização.

2.11 Embargo ou interdição

Ainda citando a NR 28, no que diz respeito à necessidade de embargo ou interdição de instituições, o item 28.2.1 descreve: Quando o agente da inspeção do trabalho constatar situação de grave e iminente risco à saúde e/ou integridade física do trabalhador, com base em critérios técnicos, deverá propor de imediato à autoridade regional competente a interdição do estabelecimento, setor de serviço, máquina ou equipamento, ou o embargo parcial ou total da obra, determinando as medidas que deverão ser adotadas para a correção das situações de risco. (Alterado pela Portaria n.º 7, de 05 de outubro de 1992).

2.12 Penalidades

O cálculo de penalidades da NR-28 é feito através do cruzamento entre o número de funcionários e código de infração. Antes de começar o cálculo é necessário saber a quantidade de funcionários da empresa e o número da infração. Exemplificando, vamos avaliar uma empresa com 1000 funcionários, que não tenha Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) e nem mesmo um designado para ela.

1º Passo: Consulta-se a NR-5 e assim busca-se no texto da norma qual item gerará multa por falta de CIPA. Identifica-se essa irregularidade no item 5.2.

2º Passo: Busca-se na NR -28 anexo II o quadro referente às penalidades da NR5 e identifica-se que o código da infração é 4 e o tipo é de segurança.

3º Passo: Levantadas as informações busca-se na Tab. 2 e faz-se o cruzamento entre o número de funcionários, código e tipo da infração para levantamento do valor mínimo e máximo que essa infração gerará. Feito o cruzamento de dados fez saber que o valor mínimo da infração é de 5491 e o máximo de 6033 UFIR.

4º Passo: Multiplica-se o valor mínimo e máximo da infração pelo valor do UFIR contido na Tab. 1. Com relação a Tab. 1 o valor do UFIR congelou depois de 2000 por força do 3º parágrafo do Artigo 29 da Medida Provisória 2095-76. Seu valor foi fixado em R\$ 1,0641 e vigora desde então. Valor mínimo: R\$ 5491 x R\$ 1.0641 = R\$ 5.842,97 e valor máximo: R\$ 6033 x R\$ 1.0641 = R\$ 6419,71.

Concluiu-se que a falta da CIPA para a referida empresa com 1000 funcionários gerará multa mínima de R\$ 5.842,97 e máxima de R\$ 6.419,71.

Tabela 1 - Gradação de multas em UFIR

Gradação das Multas (em UFIR)								
Número de empregados	Segurança do Trabalho				Medicina do Trabalho			
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄
1-10	630-729	1129-1393	1691-2091	2252-2792	378-428	676-839	1015-1524	1350-1680
11-25	730-830	1394-1664	2092-2495	2793-3334	429-498	840-1002	1255-1500	1681-1998
26-50	831-963	1665-1935	2496-2898	3335-3876	499-580	1003-1166	1501-1746	1999-2320
51-100	964-1104	1936-2200	2899-3302	3877-4418	581-662	1167-1324	1747-1986	2321-2648
101-250	1105-1241	2201-2471	3303-3718	4419-4948	663-744	1325-1482	1987-2225	2649-2976
251-500	1242-1374	2472-2748	3719-4121	4949-5490	745-826	1483-1646	2226-2471	2977-3297
501-1000	1375-1507	2749-3020	4122-4525	5491-6033	827-906	1647-1810	2472-2717	3298-3618
mais de 1000	1508-1646	3021-3284	4526-4929	6034-6304	907-990	1811-1973	2718-2957	3619-3782

Fonte: Norma Regulamentadora NR – 28 (1978)

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa segundo seus objetivos mais gerais

Optou-se pelo método de estudo de campo no qual foi analisado uma indústria de reciclagem de metais não ferrosos, onde foram levantadas as irregularidades em relação à saúde e segurança do trabalho com base nas normas regulamentadoras, e o impacto econômico dessas irregularidades conforme estabelece a NR -28.

3.2 Tipo de pesquisa segundo os métodos empregados

O tipo de pesquisa utilizado foi a pesquisa de campo, no qual foi feita uma pesquisa bibliográfica do tema em questão e em seguida foi escolhido os métodos que seriam empregados na coleta de dados e amostras. Utilizamos técnicas como entrevistas, coleta de dados e observação de fatos no qual foi classificada como abordagem predominantemente qualitativa.

3.3 Levantamento de dados

Foram utilizados como fonte de informação os seguintes aspectos: Inclusão de reportagens, artigos, pesquisas de campo na empresa estudada, entrevistas com funcionários e diretor da empresa, acesso ao Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) da empresa e legislações vigentes. Com base em inspeções realizadas no local de trabalho e acesso ao PPRA foram levantadas as irregularidades conforme quadro 1.

3.5 Cálculos de Penalidades

Conforme irregularidades levantadas no quadro 1, foram calculados as penalidades.

Quadro 1 - Irregularidades encontradas durante levantamento de dados

Irregularidade	Fonte
Não realização de treinamento de NR 5 – designado de CIPA	Item 5.6.4 “ Quando o estabelecimento não se enquadrar no Quadro 1, a empresa designará um responsável pelo cumprimento dos objetivos desta NR, podendo ser adotados mecanismos de participação dos empregados, através de negociação coletiva”
Não fornecimento de creme de proteção para mãos - EPI	NR 6 item 6.6.1 Cabe ao empregador quanto ao EPI : a) adquirir o adequado ao risco de cada atividade;
Não realização de avaliações de poeira metálica e ruído	NR 9 item 9.3.4 A avaliação quantitativa deverá ser realizada sempre que necessária para: a) comprovar o controle da exposição ou a inexistência riscos identificados na etapa de reconhecimento; b) dimensionar a exposição dos trabalhadores; c) subsidiar o equacionamento das medidas de controle.
Não realização de treinamento de NR 10 – segurança do trabalho em eletricidade	Item 10.8.8.2 “ Deve ser realizado um treinamento de reciclagem bial e sempre que ocorrer alguma das situações a seguir: a) troca de função ou mudança de empresa; b) retorno de afastamento ao trabalho ou inatividade, por período superior a três meses; c) modificações significativas nas instalações elétricas ou troca de métodos, processos e organização do trabalho.”
Não realização de treinamento de NR 12 – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS para operador de empilhadeira.	NR 12 item 12.136 “Os trabalhadores envolvidos na operação, manutenção, inspeção e demais intervenções em máquinas e equipamentos devem receber capacitação providenciada pelo empregador e compatível com suas funções, que aborde os riscos a que estão expostos e as medidas de proteção existentes e necessárias, nos termos desta Norma, para a prevenção de acidentes e doenças.”
Não assegurar a realização de AR – análise de risco	NR 35 itens 35.2.1 alíneas “ a “ e “ j “ a) garantir a implementação das medidas de proteção estabelecidas nesta Norma” j) estabelecer uma sistemática de autorização dos trabalhadores para trabalho em altura”
Não realização de treinamento de NR 35 – trabalho em altura	NR 35 item 35.3.1 “O empregador deve promover programa para capacitação dos trabalhadores à realização de trabalho em altura.”
Funcionários não possuem exames específicos para trabalho em altura	NR 35 item 35.4.1.2 Cabe ao empregador avaliar o estado de saúde dos trabalhadores que exercem atividades em altura, garantindo que: a) os exames e a sistemática de avaliação sejam partes integrantes do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO, devendo estar nele consignados;

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 - Cálculo de penalidades

Número de Trabalhadores	Item das NR's	Código da Infração	Tipo	Gradação de Multas (em UFIR)		Valor do UFIR (R\$)	Valor das Multas (R\$)	
				Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
42	6.6.1	3	Segurança	2.496	2.898	1,0641	2.655,99	3.083,76
	9.3.4	4	Segurança	3.335	3.876		3.548,77	4.124,45
	5.6.4	2	Segurança	1.665	1.935		1.771,73	2.059,03
	10.8.8.2	3	Segurança	2.496	2.898		2.655,99	3.083,76
	12.136	3	Segurança	2.496	2.898		2.655,99	3.083,76
	35.2.1	4	Segurança	3.335	3.876		3.548,77	4.124,45
	35.2.1	4	Segurança	3.335	3.876		3.548,77	4.124,45
	35.3.1	2	Segurança	1.665	1.935		1.771,73	2.059,03
	35.4.1.2	3	Medicina	1.501	1.746		1.597,21	1.857,92
Total							23.754,97	27.600,63

Fonte: Dados da pesquisa.

3.6 Custos para regularização da empresa

Conforme irregularidades encontradas durante levantamento de dados, foi orçado junto com empresas de treinamento, o custo dos treinamentos e avaliações de poeira e ruído, já com a empresa GULIM foi orçado o valor da linha de vida para a fábrica, todo o levantamento de custos para regularizar a empresa se encontra na tabela 3.

Tabela 3 - Orçamento de serviço para regularização da empresa.

Serviço	Valor Unitário	Quantidade	Total
Treinamento de NR 5 - Designado de Cipa	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
Treinamento de NR 10 - Segurança em Instalações e serviços em eletricidade	R\$ 400,00	4	R\$ 1.600,00
Treinamento de NR 12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos	R\$ 200,00	4	R\$ 800,00
Avaliação de poeira metálica	R\$ 350,00	1	R\$ 350,00
Avaliação de ruído	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Linha de vida para 40 metros	R\$ 8.000,00	1	R\$ 8.000,00
TOTAL			R\$ 11.150,00

Fonte: Dados da pesquisa.

4 CONCLUSÃO

A Segurança do trabalho e o cumprimento das normas regulamentadoras são indispensáveis para a garantia de um ambiente de trabalho seguro. Os cálculos feitos decorrentes de irregularidades encontradas na instituição com base na NR – 28 estão indicando como está sendo falha a segurança do trabalho dentro da organização.

Tais levantamentos possibilitam a organização e o direcionamento de futuros investimentos para a regularização, já que o valor para regularização é de R\$ 11.500,00 e o valor de multa decorrente de uma inspeção da Superintendência Regional do Trabalho e Emprego está entre R\$ 23.754,97 e R\$ 27.600,63 mais o valor para a regularização, totalizando um valor de **R\$ 35.254,97**.

O cumprimento das NRs e da legislação vigente, referente a segurança do trabalho, é economicamente vantajosa para a empresa, para os trabalhadores e para a sociedade.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, Cláudio. **Acidente do trabalho, responsabilidade**. 2 ed. São Paulo: LTr, 2006.

BRASIL. Lei n. 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 25 jul. 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/L8213cons.htm>. Acesso em: mar 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3214, 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. Brasília: MTE, 1978. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/839945.pdf>>. Acesso em: set 2015.

INBEP , Instituto Brasileiro de Educação Profissional disponível em <<http://blog.inbep.com.br>>acesso em set 2015 .

PORTAL DA EDUCACAO , Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/>>. Acesso em: set 2015

MATTOS, Ubirajara Alúzio de Oliveira. **Higiene e segurança do trabalho**. 9. ed. São Paulo: Elsevier, 1998.

SALIBA, Tuffi Messias. **Higiene do trabalho e programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA)**. 3. ed. São Paulo: LTr, 2002.

SALIBA, Tuffi Messias. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. 5. ed. São Paulo: LTr, 2004.

ALGORITMO PARA VERIFICAÇÃO DE VIGAS DE SEÇÃO RETANGULAR, SUBMETIDAS À FLEXÃO COMPOSTA, ATRAVÉS DE ENVOLTÓRIAS DE RESISTÊNCIA

Jonas Paulo Costa Silveira*

Tamires Eduarda da Silva**

Juliana Torres de Oliveira Bonaldo***

Everaldo Bonaldo****

RESUMO

No contexto atual do uso de softwares para auxiliar a concepção de estruturas, o engenheiro programador passa ter um papel cada vez mais importante. Apesar de grandes empresas estarem na vanguarda do desenvolvimento e comercialização de tecnologias e softwares, as rotinas computacionais criadas por engenheiros, para suprir necessidades específicas ou por vezes para a verificação de resultados de softwares comerciais, sempre estiveram presentes. Baseando-se neste fato, o presente artigo busca apresentar um processo de verificação de vigas em concreto armado, sujeitas à flexão composta normal, lançando mão de uma rotina computacional para otimizar e mecanizar as ações de cálculo.

Palavras-chave: Algoritmo computacional. Vigas retangulares. Concreto armado. Flexão composta.

ABSTRACT

Due to the current scenario of use of software to assist the design of structures, the importance of the programmer engineer's role has increased significantly. Although large companies are at the forefront of the development and commercialization of technology and software, computational routines created by engineers to meet specific situations or sometimes to check results of commercial software, always has been present. Based on this fact, this article seeks

* Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas, jonaspauloc@hotmail.com

** Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas, tamires.silvae@gmail.com

*** Professora Adjunta e Coordenadora do curso de Engenharia Civil na PUC Minas, unidade Praça da Liberdade, jultoroli@gmail.com

**** Coordenador e professor Adjunto do Curso de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas, unidade Barreiro, bonaldo@pucminas.br

to provide an algorithm to verify reinforced concrete beams subjected to bending moments and axial forces, through the use of a computational routine.

Keywords: computer algorithm; rectangular beams; reinforced concrete analysis; bending moment.

1 INTRODUÇÃO

O processo de concepção de estruturas teve sua evolução, em complexidade e velocidade produtiva, paralelamente à evolução e disseminação dos micros computadores. Com a inserção de algoritmos computacionais visando a automatização de processos de cálculo, modelos estruturais cada vez mais elaborados puderam ser empregados no cotidiano do calculista estrutural. O engenheiro moldava o problema estrutural em linguagem matemática, e deixava a cargo do computador o processamento e a solução das equações algébricas, de forma simultânea e eficaz. Segundo Kimura (2007), os cálculos considerados praticamente inviáveis, em decorrência de sua complexidade, passaram a ser resolvidos com grande rapidez e eficiência.

Com o desenvolvimento de softwares cada vez mais avançados, não houve apenas o aperfeiçoamento da análise estrutural, mas também do dimensionamento normativo e da documentação, por meio de memórias de cálculo e desenhos detalhados. Estas evoluções práticas foram também induzidas pelo alto padrão competitivo do mercado, o qual se fundamenta em uma relação inversa entre prazo-custo, e qualidade-produtividade.

Entretanto, apesar dos expressivos benefícios proporcionados pelo uso de softwares na resolução de problemas de engenharia, muitos usuários negligenciam a teoria e os processos de cálculo envolvidos, sem se preocuparem em analisar e compreender os resultados obtidos, e conseqüentemente, sem discernimento para realizar análise crítica do processo, implicando em aumento da possibilidade de erros.

Neste contexto, este artigo apresenta um algoritmo computacional para a verificação de vigas de seção retangular em concreto armado, sujeitas à flexão composta, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 6118:2014, bem como a descrição do processo de dimensionamento e a comparação dos resultados obtidos pela utilização do algoritmo (processo mecânico) com os resultados obtidos pelo cálculo manual.

2 METODOLOGIA

Primeiramente, para melhor entendimento da metodologia de cálculo e funcionamento do algoritmo computacional em questão, são apresentadas as premissas de cálculo estipuladas pela NBR 6118:2014.

A NBR 6118:2014 estabelece as hipóteses básicas de cálculo para o dimensionamento estrutural em concreto armado, as quais caracterizam os parâmetros delimitadores para análise dos esforços resistentes da seção transversal de elementos estruturais lineares (vigas e pilares) submetidos à ação de forças normais e momentos fletores. O equilíbrio de forças na configuração deformada da seção transversal é feito através dessas hipóteses, possibilitando assim, a obtenção dos esforços resistentes da seção.

As possíveis configurações de deformação da seção transversal, quando solicitada por esforços normais, que caracterizam o estado-limite último (ELU) da seção, atingido pela ruína, por alongamento excessivo do aço e/ou por ruptura por esmagamento do concreto, são definidas no Diagrama de Domínios utilizado pela NBR 6118:2014. Têm-se, neste diagrama, que a delimitação da distribuição das deformações é estabelecida por regiões chamadas de Domínios, e as retas que são as interfaces entre eles. A variação da linha neutra, que tem seu espectro de posições de $-\infty-\infty$ à $+\infty+\infty$, é responsável por proporcionar a transição entre os Domínios, e por conseguinte, possibilita verificar a quais tipos de esforços (tração, compressão) e intensidade de deformações, o concreto e o aço estão sujeitos.

De acordo com Fontes (2005), o valor da relação da profundidade da linha neutra e a altura útil da seção transversal, calculado no ELU, estabelece a correlação entre a área de concreto comprimido e a efetividade do aço no equilíbrio de forças. O que determina uma configuração mais inclinada a um estado limite de alongamento excessivo do aço ou ruptura frágil do concreto.

O cálculo do equilíbrio de forças e momentos, segundo Pinheiro (2007), necessita de equações que correlacionem a posição da linha neutra e as deformações no aço e no concreto, conforme as várias configurações de deformação da seção transversal, apresentadas no Diagrama de Domínios da NBR 6118:2014. Ainda segundo Pinheiro (2007), deve-se levar em consideração que as barras que constituem a armadura estão agrupadas, concentradas no centro de gravidade das mesmas, para o dimensionamento de peças na flexão composta.

Através da resolução das equações de equilíbrio, para as várias configurações de deformação da seção transversal, são obtidos os esforços resistentes que constituirão os pares

ordenados (força normal e momento fletor) para a construção das envoltórias de resistência que são geradas pelo algoritmo desenvolvido. Para isso, é necessário que o usuário forneça, ao programa, dados como: geometria da seção transversal a ser verificada, propriedades físicas dos materiais, esforços solicitantes e características da armadura longitudinal (posição, adotando-se como referência o vértice inferior esquerdo da seção; e diâmetro das barras).

Após a inserção desses dados, o usuário deverá clicar no botão “Calcular”, localizado na tela do software (Figura 01), para o processamento das informações fornecidas e a plotagem das envoltórias de resistência. São geradas duas envoltórias de resistência para cada seção transversal analisada, referentes à atuação do momento fletor em relação aos eixos principais da mesma.

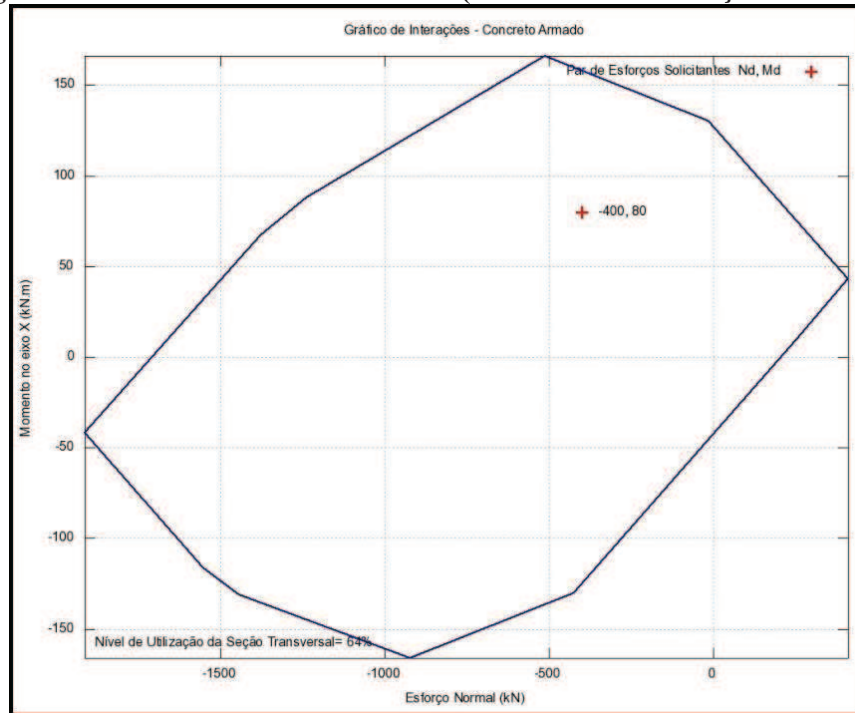
Figura 1 - Tela do software

Diâmetro (mm)	Coord. X (cm)	Coord. Y (cm)
20.0	4	4
20.0	16	4
10.0	4	25
10.0	16	25
10.0	4	46
10.0	16	46
Selecione		
Selecione		
Selecione		
Selecione		
Selecione		
Selecione		
Selecione		

Fonte: Elaborado pelos autores.

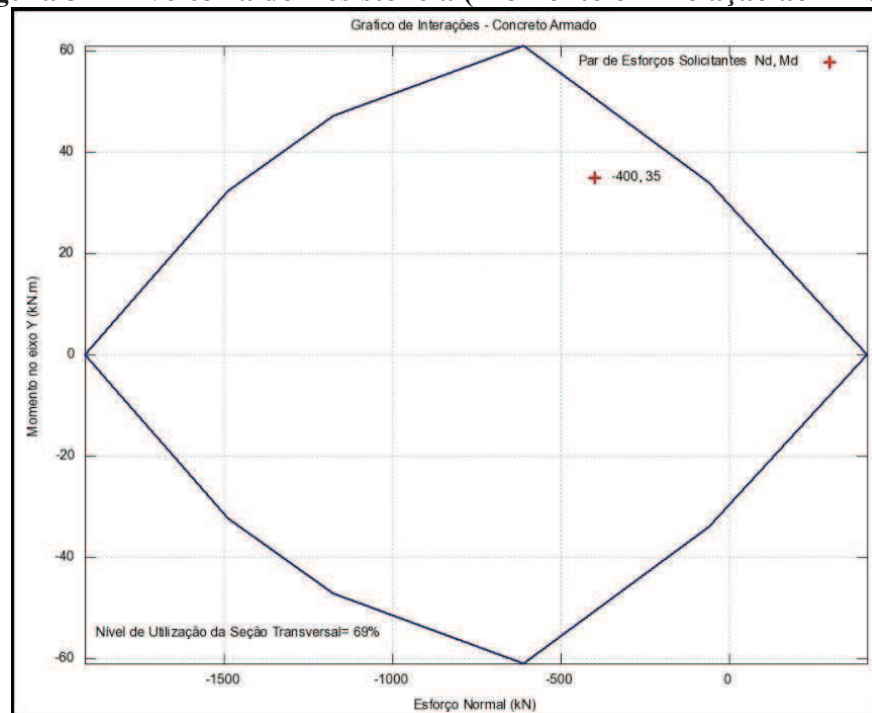
As Figuras 2 e 3 apresentam exemplos de envoltórias de resistência calculadas e geradas pelo software, onde o eixo das abscissas corresponde ao esforço normal e o das ordenadas, ao momento fletor em torno do eixo de referência.

Figura 2 - Envoltória de Resistência (Momento em Relação ao Eixo x)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 - Envoltória de Resistência (Momento em Relação ao Eixo y)



Fonte: Elaborado pelos autores.

As envoltórias de resistência definem o lugar geométrico dos estados de tensão no ELU, da seção transversal, mediante os esforços solicitantes. A observação da envoltória permite verificar as situações onde os esforços resistentes superam os solicitantes, indicadas pelo par

ordenado de força axial e momento fletor interno à envoltória. Por sua vez, a condição de falha é expressa pela localização do par de esforços em regiões adjacentes à envoltória, indicando que o arranjo da seção transversal é insuficiente para resistir de forma segura às ações solicitantes.

O algoritmo realiza também o cálculo do nível de utilização da seção, isto é, o quanto da capacidade portante da mesma está sendo utilizada para resistir aos esforços atuantes, possibilitando ao usuário, o refinamento estrutural. O nível de utilização é expresso em percentual, onde o limiar de falha refere-se ao valor 100%.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nas Tabelas 01 e 02 são apresentados os resultados obtidos em um exemplo de aplicação, realizado através do cálculo manual e pela utilização do algoritmo (processo mecânico). Observa-se que os resultados obtidos por meio da utilização do algoritmo apresentaram pequena variação se comparados àqueles obtidos pelo cálculo manual, devida principalmente à quantidade superior de casas decimais utilizadas no software.

Em relação ao tempo necessário para se realizar as duas análises, é notório a velocidade de processamento dos cálculos e geração das envoltórias de resistência pelo algoritmo.

Tabela 1 - Comparativo entre os resultados obtidos manualmente e pelo algoritmo

MOMENTO EM RELAÇÃO AO EIXO X			
MÉTODO DE CÁLCULO			
Manual		Algoritmo	
N (KN)	M (KN.m)	N (KN)	M (KN.m)
409,78	43,02	409,77	43,03
370,14	51,35	370,16	51,35
-16,45	130,30	-16,45	130,30
-512,70	166,04	-512,69	166,04
-1238,12	88,07	-1238,10	88,07
-1377,21	67,30	-1377,30	67,30
-1913,50	-41,54	-1913,70	-41,56
409,78	43,02	409,77	43,03
251,28	9,74	251,33	9,75
-426,21	-130,30	-426,22	-130,30
-922,46	-166,04	-922,46	-166,04
-1443,00	-131,10	-1443,00	-131,10
-1554,41	-116,14	-1554,40	-116,14
-1913,50	-41,54	-1913,70	-41,56
Média	-705,47	-705,50	-1,99
Desvio-padrão	882,09	882,14	104,47

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Comparativo entre os resultados obtidos manualmente e pelo algoritmo

MOMENTO EM RELAÇÃO AO EIXO Y			
MÉTODO DE CÁLCULO			
Manual		Algoritmo	
N (KN)	M (KN.m)	N (KN)	M (KN.m)
409,78	0,00	409,77	0,00
409,78	0,00	409,77	0,00
-59,30	34,04	-59,34	34,04
-610,42	61,08	-610,41	61,08
-1176,32	47,26	-1176,30	47,27
-1488,42	32,42	-1488,40	32,42
-1913,50	0,00	-1913,70	0,00
409,78	0,00	409,77	0,00
409,78	0,00	409,77	0,00
-59,30	-34,04	-59,34	-34,04
-610,42	-61,08	-610,41	-61,08
-1176,32	-47,26	-1176,30	-47,27
-1488,42	-32,42	-1488,40	-32,42
-1913,50	0,00	-1913,70	0,00
Média	-632,63	0,00	-632,66
Desvio-padrão	891,93	35,46	891,97

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

A realização de cálculos para verificação de elementos estruturais possibilita um melhor conhecimento da condição do elemento, permitindo saber com qual grau de eficiência o mesmo atende aos critérios normativos, bem como o seu refinamento e, portanto, a minimização do custo total de um sistema estrutural, sem, no entanto, abrir mão da segurança.

Os resultados obtidos por meio da utilização do algoritmo foram muito próximos àqueles obtidos no cálculo manual, apresentando coerência de resultados. Aliado a uma incomparável diferença de tempo utilizado nos dois processos, garantindo assim, praticidade e agilidade nos cálculos, atendendo às exigências atuais de tempo e produtividade. Sendo assim o algoritmo atendeu de forma satisfatória aos objetivos pelo qual foi criado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CALIXTO, José Marcio et al. **Concreto armado II**: notas de aula. Belo Horizonte: Escola de

Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Disponível em:<
<https://www.coursehero.com/file/22393910/Cap%C3%ADtulo1Deforma%C3%A7%C3%B5es/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118**: 2003. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14072006-110932/pt-br.php>>. Acesso em: 08 maio 2016.

KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: PINI, 2007.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do concreto e projetos de edifício**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em:
<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>. Acesso em: 08 maio 2016.

FADIGA E MECÂNICA DA FRATURA EM RODAS FERROVIÁRIAS

Francisco José Freitas Lopes*

Edmilson Ferreira Soares **

RESUMO

Na ferrovia o contato mecânico entre a roda e o trilho chama especial atenção pelo fato de que grandes esforços são exigidos e concentrados em pequenas áreas e podem provocar a fadiga tanto das rodas, quanto dos trilhos. Este fato requer altos investimentos em capacitação de mão-de-obra e em equipamentos para a realização de inspeções periódicas visando detectar sinais de fadiga dos materiais, diagnosticar suas causas para eliminá-las ou reparar seus efeitos, com o objetivo final de garantir a segurança de tráfego. Neste artigo o principal interesse está no entendimento dos defeitos e falhas provocados por fadiga nas rodas ferroviárias forjadas.

Palavras-chave: Contato Roda/Trilho. Fadiga e Fratura de rodas ferroviárias.

ABSTRACT

The railroad mechanical contact between the wheel and the rail draws particular attention by the fact that great efforts are required and concentrated in small areas and can cause fatigue of both wheels, as the rails. This fact requires high investments in training of skilled manpower and equipment to carry out periodic inspections to detect signs of material fatigue, diagnose its causes to eliminate them or repair its effects, with the ultimate goal of ensuring safety traffic. In this article the main interest is in the understanding of defects and failures caused by fatigue in forged railway wheels.

Keywords: Contact wheel/rail. Fatigue and Fracture of railway wheels.

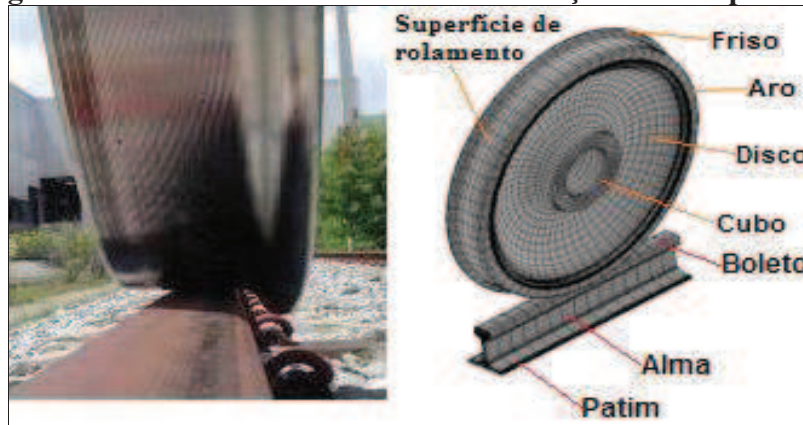
* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, flopes@cbtu.gov.br, Engenheiro Eletricista, Mestrando em Engenharia Mecânica

** Universidade Federal de Minas Gerais, soaresef@outlook.com, Engenheiro Mecânico

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O entendimento dos defeitos e falhas provocados por fadiga nas rodas ferroviárias forjadas, cuja característica principal é o aparecimento de micro trincas, se relaciona diretamente com o contato roda/trilho, Figura 1.

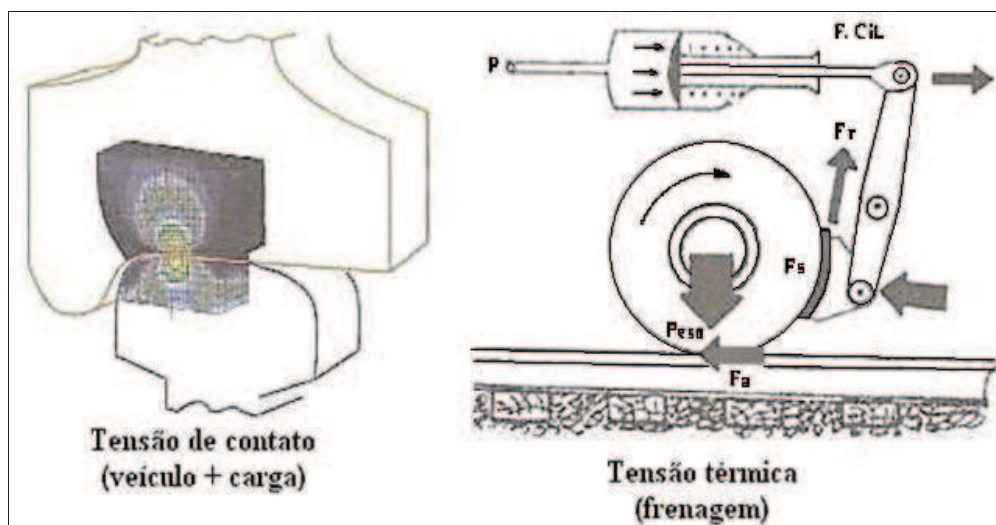
Figura 1 - Contato Roda/Trilho e identificação de suas partes



Fonte: Elaborada pelos autores.

Essas micro trincas ocorrem pela tensão de contato causada pelo carregamento cíclico em uma área elíptica muito reduzida da superfície de rolamento, contato entre a superfície cilíndrica do aro da roda e da superfície plana do trilho, e/ou pela variação cíclica da temperatura na roda, quando o sistema de freio de atrito é aplicado diretamente entre a sapata de freio contra a superfície de rolamento do aro da roda, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Tensões atuantes na roda ferroviária



Fonte: (MINICUCCI, 2011).

Outra consequência do elevado aquecimento superficial da roda seguido por um resfriamento rápido é que pode ocorrer a transformação local da estrutura perlítica para martensítica, que sob repetidos ciclos de contato roda/trilho pode gerar o aparecimento de trincas superficiais devido a sua fragilidade. Este processo de transformação martensítica é acompanhado de uma expansão volumétrica o que conseqüentemente produz uma interface com elevada tensão residual (OLIVEIRA, 2013).

O estudo do comportamento de propagação de trinca por fadiga em corpos de prova retirados de rodas ferroviárias forjadas e fundidas concluiu que o material forjado apresenta uma melhor resistência ao crescimento de trinca por fadiga quando comparado ao fundido (OLIVEIRA, 2013).

A fadiga é um processo de alteração estrutural permanente, localizada e progressiva que ocorre em um material solicitado com tensões e deformações cíclicas em um ou mais pontos do material e que pode culminar em trincas ou fratura completa após um número de ciclos suficientemente grande (MINICUCCI, 2011).

No caso de rodas ferroviárias, a fadiga ocorre em alto ciclo, ou seja, o número de ciclos até a fratura é maior que 100.000 e neste caso a tensão nominal aplicada à peça é menor que o limite de escoamento do material, sendo assim, o fenômeno da fadiga reduz o limite de resistência do material, motivo pelo qual componente submetido a este tipo de carregamento se rompe com cargas menores que as admissíveis para o material em condições normais. A fadiga pode reduzir o limite de resistência à tração em aços carbono martensíticos em 75% e nos perlíticos em 60% em média. Esta redução pode ser maior ou menor dependendo de alguns fatores, tais como:

- a) Acabamento superficial;
- b) Temperatura;
- c) Forma geométrica;
- d) Estado de tensões superficiais;
- e) Dureza;
- f) Tratamento térmico.

(MINICUCCI, 2011).

As falhas por fadiga sempre têm início com uma pequena trinca, pré-existente pela manufatura do material ou que se desenvolveu ao longo do tempo, pelas deformações cíclicas, ao redor dos pontos de concentração de tensões. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2004).

As tensões de contato decorrentes dos esforços mecânicos da roda contra o trilho provocam o encruamento do metal na superfície da roda, o que pode ser definido como sendo o seu endurecimento por deformação plástica. Que ocorre basicamente porque os metais se deformam plasticamente por movimentação de discordâncias (irregularidades que se estendem através de uma única fileira de átomos dos cristais), as quais interagem diretamente (entre si ou com outras imperfeições) ou indiretamente, com o campo de tensões internas de várias imperfeições e obstáculos. Essas interações levam a uma redução na mobilidade das discordâncias, e à necessidade de uma tensão maior para provocar maior deformação plástica (CALLISTER, 1991).

A roda ferroviária é sensivelmente afetada pelas elevadas tensões de contato que podem modificar as tensões residuais internas, e se associar a elas e às demais tensões intervenientes, contribuindo para início e propagação de trincas de fadiga. Entretanto, no caso das rodas, a fadiga térmica tem escala muito mais representativa, na maioria das situações. As severas frenagens impõem ciclos de aquecimento e resfriamento, conhecidos como excursões térmicas, que favorecem as deformações, o início das trincas e podem causar fratura por fadiga térmica da roda (SKARSKI, 1985).

No processo de fabricação das rodas ferroviárias forjadas o aro é submetido a um tratamento de têmpera e revenido, enquanto o disco e o cubo são normalizados.

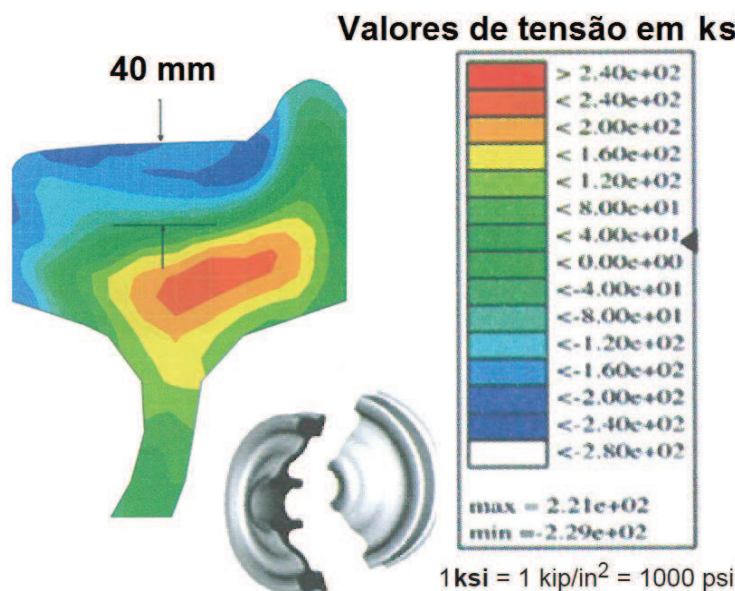
O tratamento de têmpera do aro consiste em aquecer a roda em um forno até 827 °C para eliminar as tensões geradas no forjamento. Posteriormente o aro é resfriado com água pulverizada. Como a temperatura está acima da temperatura de transformação de fase, se processa a transformação de austenita em perlita durante o esfriamento. A microestrutura perlítica é que dá ao aro sua alta dureza.

Neste ponto o aro se esfria e contrai, enquanto que o disco e o cubo continuam quentes e relativamente mais macios. Deixa-se a roda esfriar ao ar durante aproximadamente 4 minutos e posteriormente é colocada em um forno a uma temperatura de 480 °C durante duas horas, para aliviar algumas das tensões geradas durante o esfriamento do aro. Durante este período o disco e o cubo se esfriam abaixo do ponto de transformação e se contraem puxando o aro no sentido radial, que está mais rígido. Este fenômeno induz tensões residuais de compressão no aro. Finalmente a roda é esfriada a temperatura ambiente durante aproximadamente 6 horas.

O resultado é que a parte inferior do aro e o disco ficam submetidos à tensão de tração enquanto que no resto do aro fica à compressão. Neste estado de tensões residuais a compressão impede a formação e crescimento de trincas, reduzindo o risco de falha em serviço. O campo de tensões residuais de compressão é formado até a uma profundidade em torno de 40 mm

desde a superfície de rolamento, Figura 3. À medida que a roda se desgasta e é reperfilada, a capa de tensões a compressão desaparece e a superfície de rodagem se aproxima da capa de tensões a tração (SANCHEZ, 2006).

Figura 3 - Distribuição das tensões em rodas novas após o tratamento térmico



Fonte: (MINICUCCI, 2011).

Foi observado que a sensibilidade ao aparecimento de trincas térmicas aumenta com o aumento da quantidade de carbono na estrutura cristalina do aço. No entanto, para compensar a diminuição na dureza e da resistência ao desgaste, com a diminuição do teor de carbono, deve-se compensar com a adição de outros elementos de liga. Por isso quando se quer melhorar as características de resistência das rodas é preferível modificar o tratamento térmico para conseguir um tamanho de grão mais fino na estrutura cristalina, do que aumentar o teor de carbono do aço (SANCHEZ, 2006).

O tamanho de grão é outro fator que influencia a resistência à fadiga dos materiais. Pequenas trincas de fadiga tendem a crescer mais rapidamente em materiais com granulação grosseira quando comparado com uma estrutura de granulação mais refinada. Os contornos de grãos funcionam como uma barreira para o crescimento da trinca, o que explica a melhora no comportamento em fadiga nos materiais com grãos mais refinados (OLIVEIRA, 2013).

A uma profundidade entre 0 e 0,03 mm da superfície, a estrutura cristalina é uma mescla de ferrita e carbonetos que contém muitas micro trincas orientadas a ângulos entre 0 e 30°, o comprimento dessas micro trincas está entre 0,015 e 0,250 mm e sua profundidade entre 0,007 e 0,035 mm. A largura das trincas varia entre 0,0002 e 0,0030 mm e a distância entre elas está

entre 0,01 e 0,5 mm. A zona seguinte é a de transição ao material de base, o tamanho dessa zona é de aproximadamente 3 mm. As trincas de fadiga se propagam principalmente através da ferrita. (SANCHEZ, 2006).

2 TIPOS DE DEFEITOS E SUAS CAUSAS

2.1 *Spalling* - Trincas e escamação localizada devidas à fadiga termomecânica

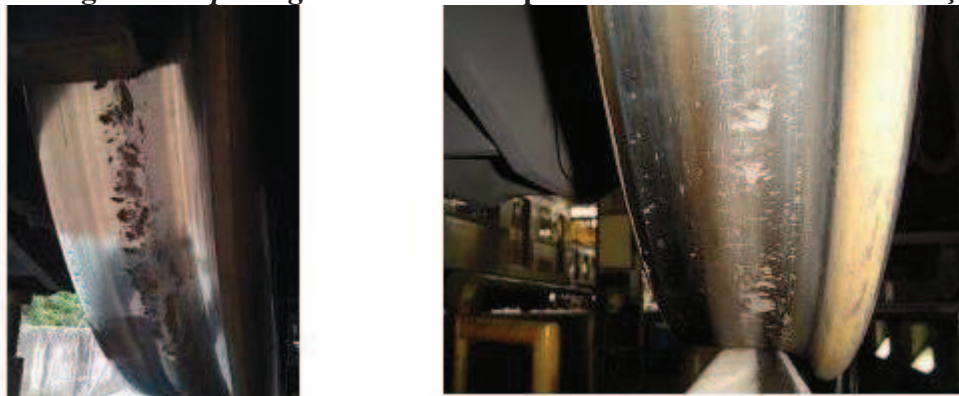
O *Spalling* pode ser caracterizado por uma fadiga superficial devida à variações bruscas de temperatura, provocando escamação, ocorre devido a mudanças estruturais no material da superfície de rolamento da roda, Figura 4. Essas mudanças são consequências de frenagens com travamento e deslizamento da roda, que têm como consequência a geração de grandes quantidades de calor na interface roda-trilho. Quando o travamento cessa, a região do contato, que está a uma temperatura elevada ($>400\text{ }^{\circ}\text{C}$), tende a trocar calor com o trilho e o resto da roda que está a uma temperatura mais baixa. Isso acarreta um resfriamento brusco localizado e podem surgir estruturas de materiais diferentes da original da roda na região afetada. Uma fina camada de Martensita não revenida, que é extremamente mais dura e frágil que a Perlita, pode ser encontrada nessa região, com camada que varia de 0,1 a 0,5 mm, porém em alguns casos pode chegar a 1,2 mm. Na interface de ligação entre estas novas estruturas e a estrutura original mais interna, podem surgir trincas que se propagam até unirem-se umas às outras, de forma que esta nova estrutura seja expulsa da roda pelo giro normal, causando uma cavidade (*Spalling*) (SANTOS, 2000; MINICUCCI, 2011).

O *Spalling* também pode ocorrer quando há frenagens excessivas, com o freio de atrito direto da sapata contra a superfície de rolamento do aro da roda, com taxa de frenagem máxima, que provocam o aumento da temperatura na superfície de rolamento que logo em seguida se resfria com o contato do trilho. Esse fato provoca a escamação, ou arrancamento, de material em toda a superfície do aro e não mais somente em pontos localizados como nos travamentos da roda (MINICUCCI, 2011).

Temperaturas normais de aquecimento na frenagem estão na faixa de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ podendo chegar ao máximo de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nesta faixa de temperatura, a roda resiste à fadiga durante todo ciclo de vida. Algumas vezes por motivo de falha operacional, problemas no sistema de freio ou qualidade das sapatas de freio (coeficiente de atrito alto), as rodas podem ter superaquecimento durante a frenagem com temperaturas superiores a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neste caso a dilatação do material é excessiva, ultrapassando o limite de escoamento, invertendo as tensões

e acarretando em uma trinca profunda como rompimento da roda e consequente descarrilamento (MINICUCCI, 2011).

Figura 4 - *Spalling* – Trincas na superfície de rolamento e escamação



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2 *Shelling* - Trincas na superfície de rolamento e escamação

O *Shelling*, pode ser caracterizado por uma fadiga superficial devido ao alto carregamento mecânico suportado pelas rodas, também conhecido como escamação da superfície de rolamento, Figura 5. Quando uma roda está sob carregamento muito elevado, pode ocorrer escoamento à compressão do material da região de contato. Caso o limite de escoamento seja excedido, haverá tração nessa região quando a roda deixar o contato. Esta é uma das condições para a propagação de pequenas trincas na superfície de rolamento. As trincas inicialmente se propagam por fadiga na direção máxima da tensão de cisalhamento (aproximadamente 45° com o plano de contato). Quando essas trincas se encontram ou encontram trincas superficiais, que surgem devido ao fato da tensão de cisalhamento máxima estar abaixo da superfície de contato, podem causar desprendimento de pequenos pedaços do material. A frenagem agrava esse fenômeno, visto que o superaquecimento da roda causa uma sensível redução nas propriedades de resistência mecânica, podendo o limite de resistência ser reduzido em até 50%. Isso facilita ainda mais a propagação de trincas. Algumas vezes esse fenômeno é chamado de *Thermal Shelling* devido à influência deste aquecimento (SANTOS, 2000).

Estas trincas ocorrem com profundidade de 1 a 3 mm da superfície de rolamento da roda à baixa temperatura, que podem provocar o desprendimento de pequenas superfícies laminares (MINICUCCI, 2011).

Figura 5 - Shelling - Escamação da superfície de rolamento



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3 Trincas no interior do aro (*Shattered Rim*)

O *Shattered Rim* ou despedaçamento do aro, tem origem na nucleação no interior do material do aro da roda devido a porosidades, vazios, inclusões de óxido de alumínio ou material não metálico, quando a roda é submetida à carga alta e impacto, Figura 6. A profundidade típica de início deste defeito é de 4 a 8 mm da superfície de rolamento, propagando-se rapidamente para a superfície em direção paralela à pista de rolamento. Este defeito é geralmente detectado quando existe uma trinca na face do aro, a qual pode levar o material à ruptura completa (MINICUCCI, 2011).

Figura 6 - Shattered rim- aro da roda despedaçado



Fonte: (MINICUCCI, 2011).

A composição das inclusões se torna importante em dois diferentes fatores, na diferença do coeficiente de expansão térmica e nas propriedades mecânicas entre a inclusão e a matriz do material, o que gera concentração de tensões nestas interfaces e consequentemente iniciação de trincas de fadiga (OLIVEIRA, 2013).

A melhora da resistência à fadiga dos materiais utilizados na indústria ferroviária é uma tendência dos fabricantes, entretanto, como é impossível produzir um material sem defeitos e

inclusões, o controle do tamanho e quantidade destes fatores torna-se cada vez mais importante na busca pelas melhores propriedades em fadiga dos mesmos (OLIVEIRA, 2013).

2.4 Concentração de tensões

As rodas podem quebrar por concentração de tensões devido a pancadas durante o manuseio e montagem, ou mesmo em serviço. Normalmente, estes acidentes ocasionam entalhes em forma de V no aro ou no friso da roda, gerando um ponto de concentração de tensões que pode levar à quebra da roda.

Outro caso comum de concentração de tensões, que pode levar à quebra, são rodas antigas com marcação do número de série e lote à quente no aro, onde existe o desenvolvimento de fadiga na região dos dígitos, Figura 7. Segundo a norma AAR, rodas com este tipo de marcação foram proibidas desde de 1979, porém ainda existem algumas em uso no Brasil com risco potencial de quebra.

A concentração de tensões em um ponto da roda provoca a redução do limite de fadiga. Tanto maior será a redução da resistência à fadiga, quanto mais sensível à concentração de tensão (frágil) for o material, isto é, quanto menor for sua capacidade de uniformizar as distribuições de tensões. É importante salientar que os entalhes não provocam diminuição de resistência à fadiga quando as tensões são de compressão, logo o efeito do entalhe em rodas ferroviárias desenvolve trincas apenas se houver a inversão das tensões de compressão para tração (MINICUCCI, 2011).

Figura 7 - Roda fraturada com a origem da trinca na marcação a quente na lateral do aro



Fonte: (MINICUCCI, 2011).

2.5 Fratura da roda

Como explicado anteriormente o tratamento térmico da roda faz com que a parte interna do aro e o disco fiquem submetidos à tensão de tração enquanto que no resto do aro fica à compressão. Neste estado de tensões residuais a compressão impede a formação e crescimento de trincas. Porém, quando ocorre o superaquecimento do aro devido a frenagem, pode ocorrer a inversão do estado de tensão de compressão para tração, possibilitando a nucleação de trincas e a evolução para a fratura completa da roda. As rodas fraturadas devido à carga térmica excessiva apresentam uma característica em comum, a área de transição entre a estrutura afetada termicamente e a estrutura normal da roda apresenta marcas de “praia” azuladas que evidenciam o processo de fadiga térmica (MINICUCCI, 2011).

Conforme a Figura 8, a evolução de alguns defeitos da superfície de rolamento das rodas, tais como: Calos provocados pelo travamento das rodas durante a frenagem, *Spalling e Shelling*, quando não detectados e corrigidos pela área de manutenção do Material Rodante, somados a problemas de frenagem, podem evoluir e também provocar a pior falha de uma roda ferroviária a fratura, que na maioria das vezes pode acarretar em acidentes catastróficos, com perdas de vidas, materiais e contaminação do meio ambiente (MINICUCCI, 2011).

Figura 8 - Fratura radial da roda



Fonte: Elaborada pelos autores.

3 CONCLUSÃO

A análise das características dos defeitos das superfícies de rolamento das rodas ferroviárias possibilita o diagnóstico sobre suas causas e a determinação de medidas a serem tomadas para a correção ou minimização dos seus efeitos.

As principais causas de defeitos nas superfícies das rodas ferroviárias são por fadiga devido a grandes variações de temperatura ou por concentração de tensões. Portanto, para se garantir a segurança operacional e reduzir custos de manutenção é fundamental a execução de inspeções constantes nas rodas, para se determinar o momento correto para execução do reperfilamento, eliminando-se as trincas superficiais. Deve-se, também, buscar o uso de sapatas de freio com baixo coeficiente de atrito, para se evitar altas temperaturas nas superfícies de rolamento, com conseqüentes trincas térmicas.

REFERÊNCIAS

- CALLISTER, William D. **Materials Science and engineering an introduction**. New York: John Wiley e Sons, 1991.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5.ed. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2004.
- Logística e manutenção. In: CASTELLO BRANCO, José Eduardo Sabóia. **Tratado de estradas de ferro: material rodante**. Rio de Janeiro: Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, 2000. Cap. 5.
- MINICUCCI, Domingos J. **Rodas e eixos ferroviários: conceitos básicos**. Caçapava/SP: MWL Brasil Rodas e Eixos, 2011.
- OLIVEIRA, Luiz Gustavo. **Influência do processo de fabricação no comportamento mecânico de rodas ferroviárias**. 2013. 143f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- SANCHEZ, Belen Molina. **Estudio de la creación, desarrollo y método de detección de grietas em ruedas ferroviarias**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado) – Escuela técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2006.
- SANTOS, Francisco de Carvalho. **Análise do contato roda-trilho e sua influência na vida em serviço de rodas ferroviárias**. 2000. 151 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: ARTMED – Bookman, 2004.
- SKARSKI, B., Fraturas em Rodas Ferroviárias de Vagões para Transporte de Minério. UNICAM PCT. **Revista Ferrovia**, P. 22-25, mar./abr. 1985.

USO DO MATLAB PARA RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS

Anderson de Oliveira*

Dantas de Oliveira**

Everaldo Bonaldo***

Fernando Júnior Resende Mascarenhas****

Juliana Torres de Oliveira Bonaldo*****

RESUMO

O MATLAB é uma poderosa ferramenta computacional utilizada nas disciplinas de Programação, lecionadas nos cursos de Engenharia Civil, das universidades brasileiras e estrangeiras. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivos principais: 1) discorrer a respeito de três experiências muito interessantes e bem-sucedidas, vivenciadas por dois dos autores, em que se utilizou esse programa para desenvolver algoritmos capazes de solucionar diversos problemas e exercícios direcionados aos alunos do curso de Engenharia Civil, quando os mesmos participaram do Programa Ciências sem Fronteiras; 2) demonstrar as vantagens do uso do MATLAB, e o desenvolvimento de algoritmos que podem ser úteis na resolução de exercícios de Análise de Estruturas, por meio da exemplificação de um algoritmo concebido para a determinação dos deslocamentos de um pórtico plano. Em ambas as situações, serão apresentados argumentos que deixarão claro os benefícios educacionais oriundos da utilização do MATLAB.

Palavras-chave: MATLAB. Análise de Estruturas. Experiências Acadêmicas. Melhoria na Compreensão. Raciocínio Lógico.

* Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, anderson160293@gmail.com

** Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, dantas.oliveira@sga.pucminas.br

*** Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, dantas.oliveira@sga.pucminas.br

**** Coordenador e professor Adjunto do Curso de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, bonaldo@pucminas.br

***** Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, fer.jr.resende@hotmail.com

ABSTRACT

MATLAB is a powerful computational tool used in programming courses, taught in Civil Engineering majors of Brazilian and foreign universities. In this context, the present article has as main objectives: 1) to discuss about three very interesting and successful experiences, experienced by two of the authors, in which used this program to develop algorithms that can solve many problems and exercises focused Civil Engineering students, when those two authors participated in the program Science without Borders; 2) to demonstrate the advantages of using MATLAB, and the development of algorithms that may be useful in the resolution of structural analysis exercises through the exemplification of an algorithm designed to determine the displacements of a plane frame. In both situations, it will be presented arguments that make clear the educational benefits derived from the use of MATLAB.

Keywords: MATLAB. Structural Analysis. Academic Experiences. Improved Understanding. Logical Reasoning.

1 INTRODUÇÃO

O uso de recursos computacionais é cada vez mais frequente nas Engenharias, seja pela complexidade dos exercícios aplicados, seja pela possibilidade de aprofundar nos conteúdos lecionados, ou mesmo pelo aumento da motivação e compreensão dos discentes, por meio do uso da ferramenta. Neste contexto, inserem-se os softwares utilizados para programação, como, por exemplo, o MATrix LABoratory (MATLAB).

Os diversos cursos de Engenharia Civil das Instituições de Ensino Superior brasileiras e estrangeiras possuem em suas grades curriculares, seja na graduação ou pós-graduação, o ensino do MATLAB. Segundo Mascarenhas, Bonaldo e Dias (2016, p. 8),

o MATLAB, que é lecionado em muitas universidades no Brasil e no exterior, nos cursos de Graduação em Engenharia Civil, é uma poderosa ferramenta computacional e educacional. O mesmo permite aos usuários (estudantes e/ou professores) criarem rotinas de cálculo, programas, plotar gráficos e resolver problemas (MASCARENHAS, BONALDO, DIAS, 2016, p. 8).

Os autores Vicéns, Zamora e Ojados (2016) destacam que, o uso do MATLAB, em diversos cursos de Engenharia ao redor do mundo, tem crescido devido às suas vastas possibilidades de aplicação em cálculos matemáticos e dos seus diversos *toolboxes*

(customizações). Para Mariani, Preto e Guedes (2005, p. 2), o MATLAB pode ser utilizado “para resolver diversos problemas de Engenharia, Matemática, possibilitando a solução numérica dos problemas como a maioria dos programas convencionais”, bem como ele representa uma boa opção de ferramenta “para o ensino de matemática, possuindo a capacidade de permitir a formulação dos mesmos a partir dos princípios fundamentais e a solução algébrica desses mesmos problemas em um ambiente computacional integrado e interativo”.

Dentre as vastas aplicabilidades do MATLAB na Engenharia Civil, podemos destacar seu bom desempenho quando utilizado na análise estrutural. Nesse contexto, este artigo foi elaborado a partir de um Manual, em desenvolvimento pelos os autores, sobre o uso do MATLAB na análise estrutural de vigas, treliças e pórticos planos, utilizando o Método da Matriz de Rigidez.

Logo, o presente trabalho tem dois objetivos principais. Primeiro, apresentar três experiências dos autores na utilização do MATLAB para solução de problemas de Engenharia Civil, nos âmbitos do ensino e da pesquisa. Segundo, demonstrar a aplicabilidade do MATLAB para análise estrutural de vigas, treliças e pórticos planos, com especial destaque para a resolução e determinação dos deslocamentos de um pórtico plano.

1.1 Metodologia

Esse artigo foi realizado com a exposição das funcionalidades do MATLAB para o uso na análise das estruturas planas, tendo como base de construção os relatos dos alunos que participaram do Programa Ciências sem Fronteiras que utilizaram esse *software* em atividades acadêmicas de ensino e pesquisa.

Além das experiências relatadas, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, utilizando como referências artigos científicos em línguas portuguesa e inglesa, de forma a subsidiar e conferir maior veracidade à temática aqui tratada. Foram utilizados livros textos base, tais como “MATLAB Code for Finite Element Analysis”, de Ferreira (2009) e “Structural Analyses”, de Hibbeler (2012).

2 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Os três relatos das experiências acadêmicas utilizando o MATLAB, aqui apresentados, foram feitos por dois dos autores, quando participaram de intercâmbios universitários, através do Programa Ciências sem Fronteira, em universidades do Canadá e Estados Unidos da

América (EUA), respectivamente.

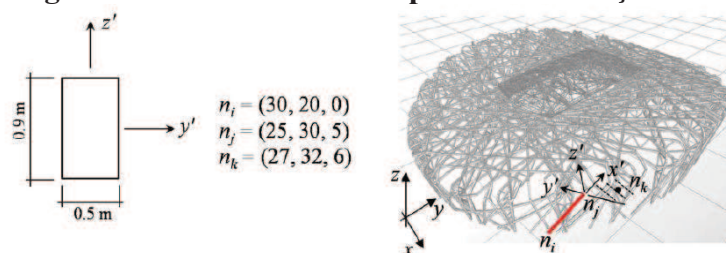
2.1 Universidade de Toronto

O primeiro relato de experiência com o uso do MATLAB vem da Universidade de Toronto, no Canadá, na disciplina de Análise Estrutural Avançada, no primeiro semestre de 2014, nas aulas ministradas pelo professor Oh-Sung Kwon. Na referida disciplina, o professor lecionou o Método da Matriz de Rigidez e introdução a elementos finitos por meio de aulas expositivas sobre ambos os conceitos.

As aulas eram contextualizadas e contavam com exercícios desenvolvidos pelo professor, e com outros retirados de livros didáticos conceituados, e com exemplos de situações e estruturas reais. Foi ensinado o emprego do Método da Matriz de Rigidez em suas mais variadas aplicações da análise estrutural tal como em vigas (isostáticas e hiperestáticas), pórticos planos (com e sem a aplicação de recalque inicial nos apoios), e treliças planas.

Afim de se produzir aulas mais dinâmicas, desenvolver o raciocínio lógico e a compreensão holística dos exemplos propostos e permitir um estudo mais denso e profundo dos conteúdos lecionados, o professor introduziu o MATLAB, que foi amplamente empregado para análise estrutural dos exercícios propostos, de exemplos reais e de alguns pórticos espaciais. A Figura 1 apresenta um exercício que representa uma situação real proposta pelo professor, em que utilizando o MATLAB, os discentes deveriam determinar a matriz 3D em coordenadas cartesianas locais e globais de um elemento da estrutura do estádio Ninho do Pássaro, na China.

Figura 1 - Uso do MATLAB para uma situação real



Fonte: (KWON, 2013)

Para que o exercício mostrado na Figura 1 e para que os demais exercícios propostos fossem resolvidos utilizando o MATLAB, os estudantes deveriam desenvolver seus próprios algoritmos, onde o usuário faria a entrada das propriedades dos materiais, bem como das cargas externas e demais informações que fossem relevantes. Feito isso, tinha-se como resultado os deslocamentos, as reações de apoio e os diagramas de esforços internos (normal, cisalhamento

e momento fletor). Foi possível observar, a partir dessa experiência, o quão eficaz, completo e de amplo emprego é o MATLAB. Conseguiu-se assim, despertar o interesse, aumentar a motivação dos discentes em participar das aulas, resolver os exercícios e, melhorar a compreensão dos conteúdos lecionados.

2.2 Universidade de Connecticut

Na Universidade de Connecticut, no segundo semestre de 2015, nas aulas ministradas pelo professor Doutor Jeongho Kim, na disciplina Análise Estrutural Avançada, utilizou-se o MATLAB para a solução de problemas práticos, relacionados ao Método da Rigidez. A metodologia adotada pelo professor Kim incluía exposição teórica de alguns métodos, para a determinação de deslocamentos, reações de apoio e esforços internos em estruturas planas, isostáticas ou hiperestáticas, como vigas, treliças e pórticos submetidos a cargas externas, variação de temperatura e erros de dimensionamento.

O MATLAB foi introduzido nas aulas com o intuito de possibilitar um aprendizado mais profundo dos conteúdos teóricos, vistos em sala, uma vez que é um software mundialmente reconhecido. O aplicativo foi escolhido devido à facilidade de programação e implementação de algoritmos relacionados ao conteúdo teórico do Método da Rigidez. Este método quando resolvido de forma manual requer tempo e está sujeito a erros de cálculo, devido à dimensão das matrizes envolvidas. Entretanto, apresenta solução simples, direta e eficiente quando utilizado o MATLAB.

Com o algoritmo implementado no MATLAB, reduzimos o tempo de solução de problemas, pois, uma vez estruturado, o usuário só precisa entrar com dados característicos da estrutura, como: comprimento, cargas externas, variação de temperatura, inclinações em relação a coordenadas cartesianas globais, dentre outras. Assim, esta experiência foi enriquecedora, pois com a associação teórica e prática o conteúdo foi absorvido de forma eficaz e possibilitou o entendimento de conteúdos da teoria das estruturas.

2.3 Universidade de Nova Iorque

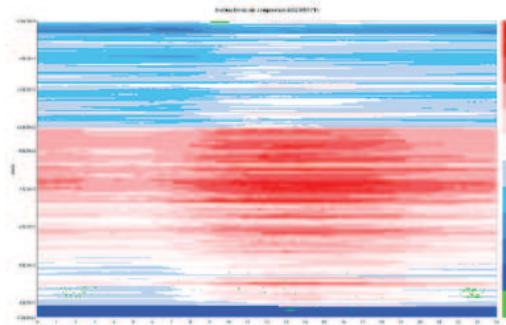
Esta experiência não está relacionada à teoria das estruturas, entretanto, devido a seu campo de aplicação, acredita-se que é importante relatá-la. Na Universidade de Nova Iorque entre maio e agosto de 2016, foi iniciada uma pesquisa, sob orientação da professora doutora Semiha Ergan, de análise de dados de consumo de energia, em um prédio na Filadélfia, EUA.

Trata-se de um dos projetos realizados no laboratório do Building Information Laboratory (Billab), na universidade, campus Brooklyn. O foco dessa pesquisa é analisar centenas de dados brutos, armazenados por sensores, instalados no prédio, com intuito de verificar os padrões de consumo de energia, fazer previsões de consumo e conferir o desempenho e o funcionamento adequado dos equipamentos das unidades de tratamento de ar.

A dificuldade de se trabalhar com outros softwares devido, principalmente, à lentidão no processamento de dados, já que devem ser analisados milhares deles, conduziu à escolha do MATLAB como programa utilizado nessa pesquisa. Primeiramente, foram selecionados os dados de interesse, como temperatura e velocidade do ar, informações de consumo em kWh e pressão de referência. Posteriormente, estes foram organizados em um formato “amigável” de leitura pelo MATLAB e normalizados, pois parâmetros de diferente natureza seriam comparados. Estes dados são originados de um conjunto de sensores posicionados estrategicamente, no edifício, para análise futura.

Com os dados organizados, mapas de calor foram gerados para a verificação de padrões dos parâmetros em análise, hora a hora ao longo do dia, e por estação do ano. Mapas de calor, como visto na Figura 2, são ótimas ferramentas de visualização de consumo de energia, por isso foi o método selecionado para a escolha dos parâmetros a serem trabalhados em etapas futuras.

Figura 2 - Mapa de calor para temperatura

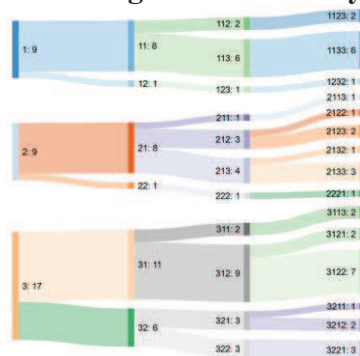


Fonte: Elaborada pelos autores

Após esta etapa inicial, que tratou da seleção dos parâmetros de interesse, como kWh e pressão do ar, foram realizadas as análises mais complexas. O uso de métodos matemáticos como o Symbolic Aggregation approXimation (SAX) foi fundamental para a identificação dos padrões de comportamento, dos diferentes parâmetros. Implementando o algoritmo do SAX no MATLAB, é possível dividir o dia em intervalos e calcular a média dos dados para cada um destes. Estas médias são apresentadas em códigos, por exemplo 1122, significando que um dado dia foi dividido as 24h em 4 janelas, obtendo média 1 no intervalo de tempo de 00:00 h às

6:00 h, 1 no intervalo 06:00 h às 12:00 h, e assim por diante. Assim, com estas médias, plotou-se diagramas de Sankey, outra ferramenta de visualização, para verificar o fluxo destas médias para os mesmos parâmetros, para os anos de 2013 a 2015. Um exemplo do diagrama de Sankey gerado para dados de kWh é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama de Sankey kWh



Fonte: Elaborada pelos autores

Portanto, com esses dados do padrão de consumo gerados com o auxílio do MATLAB fica possível visualizar se os equipamentos de resfriamento de ar no prédio funcionam corretamente. Se encontramos alto consumo nos períodos de 18:00 h às 06:00 h do dia seguinte, podemos concluir que o equipamento não funciona corretamente, pois o consumo deveria ser baixo neste intervalo devido aos horários de atividade no edifício.

3 ANÁLISE ESTRUTURAL USANDO MATLAB

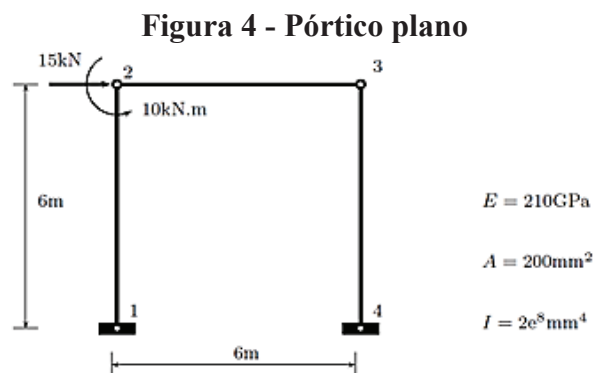
Segundo Mariani citada por Mariani e Martim (2003),

o MATLAB tem encontrado vasta aplicabilidade na Engenharia, tanto do ponto de vista técnico como educacional. Os diversos recursos disponíveis no MATLAB podem ser utilizados na resolução de problemas em diferentes áreas, além de possibilitar a transmissão, pelo professor aos alunos, de tópicos, das disciplinas, considerados complexos e difíceis de serem ministrados em sala de aula com quadro e giz (MARIANI apud MARIANI; MARTIM, 2003, p. 4).

Pelo fato de ser uma poderosa ferramenta computacional, o MATLAB tem vasto campo de utilização na Análise Estrutural, por estudantes de graduação em Engenharia Civil, no qual os usuários têm a oportunidade de desenvolver seus próprios algoritmos para verificação de exercícios de Análise de Estruturas. Segundo Navaee e Das (2002), “os estudantes obtêm um conhecimento mais profundo sobre os conceitos de análise estrutural, uma vez que esse conhecimento é requerido para se escrever os roteiros de resolução dos exercícios” (NAVAEE; DAS, 2002, p. 1).

Vicens, Zamora e Ojados (2016, p. 755) discorrem que o uso do MATLAB pelos estudantes tem três impactos principais: “primeiro, a procura pela solução de um caso particular em substituição a problemas gerais”; segundo, estudantes passam a refletir e aprofundar em seus conhecimentos teóricos; terceiro, “os estudantes passaram a incorporar o MATLAB em suas atividades usuais”, em atividades de laboratório ou na confecção de relatórios, bem como em seus projetos ao longo do curso (VICENS, ZAMORA, OJADOS, 2016, p. 762).

A seguir será demonstrada a resolução de um pórtico plano retirado do livro didático “MATLAB Codes for Finite Element Analysis”, de Ferreira (2009, p. 96), conforme Figura 4.



Fonte: (FERREIRA, 2009, p. 96)

A resolução do pórtico da Figura 4 é apresentada na Tabela 1, com a determinação dos deslocamentos nos nós 2 e 3.

Tabela 1 - Determinação dos deslocamentos no MATLAB

```

% Definição da Estrutura
E = 2,1*10^8; % Módulo de Elasticidade, kN/m²
I = 2*10^(-4); % Momento de Inércia da Seção Transversal, m⁴
h = 6; % Altura da Coluna, m
b = 6; % Comprimento da Viga, m
p = 15; % Força Lateral, kN
m = 10; % Momento, kN.m
l=h;
% Matriz de Rigidez Global
% Há um total de 3 Graus de Liberdade (DOF) para um simples pórtico
% DOF #1: Rotação no canto esquerdo
% DOF #2: Rotação no canto direito
% DOF #3: Translação horizontal da viga
K = zeros(3,3);
% Elementos de Rigidez das Matrizes
% Coluna Esquerda
D = [3 1 0 0];
% Matriz de Rigidez do Elemento
k = E*I*[ 12/l^3 6/l^2 -12/l^3 6/l^2; 6/l^2 4/l -6/l^2 2/l; -12/l^3 -6/l^2 12/l^3 -6/l^2; 6/l^2 2/l -6/l^2 4/l ];
% Encontrar os DOFs dos elementos que contribuem com os DOFs Globais
ind = find(D~=0);
% Preenchimento da Matriz de Rigidez Global
K(D(ind),D(ind)) = K(D(ind),D(ind)) + k(ind, ind);
% Coluna Direita
D = [3 2 0 0];
% Matriz de Rigidez do Elemento
k = E*I*[ 12/l^3 6/l^2 -12/l^3 6/l^2; 6/l^2 4/l -6/l^2 2/l; -12/l^3 -6/l^2 12/l^3 -6/l^2; 6/l^2 2/l -6/l^2 4/l ];
% Encontrar os DOFs dos elementos que contribuem com os DOFs Globais
ind = find(D~=0);
% Preenchimento da Matriz de Rigidez Global
K(D(ind),D(ind)) = K(D(ind),D(ind)) + k(ind, ind);
% Coluna Direita
D = [0 1 0 2];
l = b;
% Matriz de Rigidez do Elemento
k = E*I*[ 12/l^3 6/l^2 -12/l^3 6/l^2; 6/l^2 4/l -6/l^2 2/l; -12/l^3 -6/l^2 12/l^3 -6/l^2; 6/l^2 2/l -6/l^2 4/l ];
% Encontrar os DOFs dos elementos que contribuem com os DOFs Globais
ind = find(D~=0);
% Preenchimento da Matriz de Rigidez Global
K(D(ind),D(ind)) = K(D(ind),D(ind)) + k(ind, ind);
% Vetor Força
P = [m; 0; p];
% Encontrar os deslocamentos desconhecidos
u = inv(K)*P

```

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2016.

Como resultados, tem-se os deslocamentos nos nós 2 e 3, sendo a rotação no nó 2 é igual a -0,0007 rad, a rotação e a translação horizontal no nó 3 são, respectivamente, -0,0004 rad e 0,0049 m, os quais correspondem às respostas contidas no livro.

4 CONCLUSÃO

O MATLAB sendo uma ferramenta de cálculo possibilita a resolução de diversas questões no campo da Engenharia. Sendo assim, esta ferramenta se mostra bastante interessante e recomendável nos cursos de Engenharia. No que se refere ao uso do MATLAB para Análise de Estruturas, é perceptível, no aluno, a modificação positiva na sua relação ensino-aprendizagem, uma vez que os estudantes aperfeiçoam e desenvolvem raciocínios lógicos, de

análise crítica, no que antes era visto apenas como teoria. É essencial que o aluno se sinta motivado a desenvolver e utilizar algoritmos que satisfaçam as condições dos exercícios e/ou situações analisadas.

Por fim, espera-se que o relato destas experiências, aqui descritas e, sobretudo, ao resolver os exercícios mencionados anteriormente, este trabalho possa, entre outros, motivar e contribuir para que os professores apliquem essa poderosa ferramenta educacional, de fácil acesso, no processo ensino-aprendizagem; e também para que os estudantes possam aprimorar seus conhecimentos, despertando, assim, maior interesse e motivação em assistir e participar, ativamente, das aulas de análise estrutural dos cursos de Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

HIBBELER, Russell C. **Structural analysis**. 8. ed. New Jersey: Pearson Education, 2012.

FERREIRA, A. J. M. **MATLAB code for finite element analysis**. Portugal: Springer, 2009.

KWON, Oh-Sung. **Assignment #5**. Toronto: University of Toronto. CIV 519 – Fall 2013. 2013.

MARIANI, Viviana Cocco; MARTIM, Emerson. Aplicação do Matlab no Ensino de Disciplinas Básicas nos Cursos de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 31., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2003, p. 1-9. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2003/artigos/CBE103.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

MARIANI, Viviana Cocco; PRETO, Tânia Martins; GUEDES, André Luiz Pires. Utilização do Maple, Matlab e Scilab nos Cursos de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 33., 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2005, p. 1-12. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/PR-15-62459910053-1118098860375.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

MASCARENHAS, Fernando Júnior Resende Mascarenhas; BONALDO, Everaldo; DIAS, Viviane Cristina. O uso do MATLAB no processo de ensino-aprendizagem nos cursos de Engenharia Civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44., 20016, Natal. **Anais...** Natal: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2016, p. 1-10.

NAVAEE, Shahnam; DAS, Nirmal K. Utilization of Matlab in structural analysis. In: AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION. 2002. Washington DC . **Proceeding...**, Washington DC: ASEE, 2002.

VICÉNS, José L.; ZAMORA, Blas; OJADOS, Dolores. Improvement of the reflective learning in engineering educational using MATLAB for problems solving. **Computer applications in engineering education**, Honolulu, v. 24, n. 3, p. 1-10, maio 2016.

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DA TERMOGRAFIA APLICADA A MEDIÇÃO DE DESGASTE EM TUBULAÇÃO

Hudson Henrique Oliveira*

Isaac Ribeiro da Cruz**

Renato Arruda de Oliveira***

Thiago Ali Resende Lauer****

RESUMO

O trabalho visa em aperfeiçoar a técnica de termografia aplicada em inspeção de tubulação, buscando associar a prática de inspeção termográfica com os princípios de transferência de calor para determinar a espessura do revestimento da tubulação, permitindo assim uma análise quantitativa, com benefício de um monitoramento contínuo, confiável, seguro e sem perda de produção, reduzindo os custos da manutenção e promovendo o aumento da disponibilidade dos equipamentos para operação.

Palavras-chave: Inspeção de tubulação. Termografia. Tubulação.

ABSTRACT

The work aims to improve the thermography technique applied in pipe inspection, seeking to associate the practice of thermographic inspection with heat transfer principles to determine the thickness of the pipe coating, thus allowing quantitative analysis, with the benefit of a continuous monitoring, reliable, safe and without loss of production, reducing the costs of maintaining and promoting the increased availability of equipment for operation.

Keywords: Pipe Inspection. Thermography. Pipe

* Graduado Curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

** Graduado Curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

*** Graduado Curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**** Professor do Curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

A mecanização dos processos produtivos trouxe consigo a necessidade da criação de sistemas de gerenciamento de manutenção que monitorassem os equipamentos industriais evitando desgaste excessivo, quebras e mal funcionamento das máquinas de modo a tornar equipamentos e instalações disponíveis o maior tempo possível para operação. Esta disponibilidade tornou-se possível graças a programas de gestão de manutenção.

Das técnicas que visam prolongar a vida útil de um equipamento, a manutenção preditiva é a mais eficaz. Esta técnica se baseia em fazer regularmente o monitoramento do estado mecânico, elétrico, eletrônico, pneumático e hidráulico dos equipamentos e instalações. Elas incluem a análise de vibração, ultrassom, ferrografia, tribologia, monitoria de processo, inspeção visual, termografia, dentre outras. (ALMEIDA, 2015; LIMA e SALLES, 2011). Esse monitoramento diminui as ações de manutenção corretiva, pois reduz os intervalos entre reparos por quebras; reduz, ainda, os procedimentos de manutenção preventiva e seus reparos programados. O resultado é a maximização do rendimento do processo produtivo.

1.1 Justificativa

Diante do cenário atual onde as trocas de tubulações são realizadas através de estimativas baseada em histórico de vida útil ou danos visíveis como vazamentos por furos na estrutura, sejam estes métodos aplicados por carência de técnicas eficazes em revelar a real condição de um componente ou pela inviabilidade da utilização devido ao prejuízo causado pela necessidade de interrupção da produção, fica evidente a necessidade do aperfeiçoamento ou do desenvolvimento de uma metodologia que consiga conciliar a confiabilidade da detecção com a viabilidade de monitorar em grande escala.

1.2 Objetivo

Como objetivos têm-se: a caracterização do perfil de desgaste do revestimento interno da tubulação; O desenvolvimento da técnica de termografia digital para detecção de desgaste de forma quantitativa; A avaliação da técnica de termografia digital aplicada no monitoramento de desgaste.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Transferência de calor

De acordo com Frank Kreith (2013) transferência de calor poder ser definida como a transferência de energia entre dois ou mais corpos em contatos, sendo que entre os mesmos há uma diferença de temperatura. Sempre que existir um gradiente de temperatura dentro de um sistema ou que dois sistemas a diferentes temperaturas forem colocados em contato, haverá transferência de energia sob a forma de calor. O processo pelo qual a energia é transportada é conhecido por transferência de calor. Os três modos de transmissão de calor reconhecido pelas literaturas são condução, radiação e convecção.

Para o estudo de desgaste do revestimento da tubulação serão utilizados os mecanismos de radiação e condução, empregando a termografia digital para determinar a temperatura externa da tubulação e termopares para determinação da temperatura interna do tubo. A determinação da espessura do revestimento será obtida por meio dos conceitos de transferência de calor unidimensional.

2.2 Medição de temperatura

A medição de temperatura possui grande destaque na indústria, tendo influência marcante em grande quantidade de processos industriais. (BARP 2000). O acompanhamento da variação da temperatura permite constatar alteração na condição dos equipamentos, componentes e do próprio processo produtivo. (ALMEIDA; CORREA; OSDARLAN, 2010).

2.2.1 Termopares

Os termopares são dispositivos elétricos utilizados na medição de temperatura. Foram descobertos em 1822, quando o físico Thomas Seebeck juntou dois metais que geraram uma tensão elétrica em função da temperatura. (BALBINOT, 2010).

2.2.2 Termovisores

O termovisor é o principal instrumento de uma inspeção termográfica. Através dele a radiação infravermelha emitida pelo objeto é detectada e convertida em imagem visível e em

leituras de temperatura (MARINS, 2012). São sistemas imageadores dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas. Atualmente todo o registro das imagens térmicas geradas é digital, através de mídias removíveis ou interfaces que permitem o acoplamento dos sistemas com microcomputadores para posterior processamento da informação. (VERATTI, 2010).

Além de mostrar graficamente as diferenças de temperatura, essas unidades medem e armazenam as temperaturas de cada ponto da imagem. Subsequentemente, todos esses pontos de dados podem ser nomeados e usados em análises detalhadas de problemas potenciais ou simplesmente na monitoração de tendências num mesmo local ao longo do tempo.

2.3 Tubulações

Tubulação é um conjunto de tubos e de seus diversos acessórios. Usam-se tubulações para o transporte de todos os materiais capazes de escoar, isto é, todos os fluídos conhecidos, líquidos ou gasosos, assim como materiais pastosos e fluidos com sólidos em suspensão.

2.4 Desgastes em tubulações

O desgaste é um dos maiores causadores de custos na indústria moderna, havendo carência de técnicas preditivas eficazes em sua detecção. Um material, ao riscar o outro, retira uma camada de material e faz um tubo perder a espessura, seja de sua estrutura, seja de seu revestimento. Portanto, quanto mais duro material passante, mais desgaste é gerado. Outras características do fluido influenciam, entre elas pressão e velocidade.

O controle do processo corrosivo em ambos os meios é importante no sentido de evitar problemas e prejuízos financeiros devido a eventuais vazamentos e paradas não programadas para a manutenção. (SANTOS, 2011).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Termografia

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que se baseia na detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura. Através deste tipo de técnica é possível identificar regiões, ou

pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido. Todos os objetos acima do zero absoluto (0 K ou $-273,16^{\circ}\text{C}$) emitem radiação térmica devido à agitação térmica de átomos e moléculas dos quais são constituídos. (MALDAGUE; MOORE, 2001).

O uso da termografia é uma excelente ferramenta para manutenção preditiva, detectando defeitos em seus estágios iniciais, analisando a alteração da temperatura no corpo evitando com isto atrasos e paradas não planejadas na produção. (BALARAS, 2002).

4 METODOLOGIA

Nesta seção descreve a realização dos testes, instrumentação, coleta de dados e sistema desenvolvido para definição da espessura do revestimento.

4.1 Montagem da bancada

Para validação dos dados foi montada uma bancada de teste composta de um tubo metálico revestido internamente. A figura 1 mostra a bancada fabricada em tubo ASTM A36 com espessura de 9,36 milímetros de parede, com diâmetro nominal de 10 polegadas e comprimento de 1000 milímetros, revestido internamente com borracha natural, vulcanizada a quente na parede do tubo com espessuras de 4, 7 e 14 milímetros, variando a cada 330 milímetros ao longo do comprimento da tubulação de forma a simular um desgaste.

No interior do tubo foram instaladas uma resistência elétrica tipo cartucho com potência de 500W/m de forma gerar calor e uma eletrobomba para homogeneizar a temperatura da água.

Figura 1 - Bancada



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

4.2 Sistema de coleta de dados

Para medição de temperatura externa foi utilizada a câmera termográfica FLIR T400 dotada das seguintes características e para análise das imagens utilizou o software FLIRTOOLS e FLIRTOOLS+.

Para medição de temperatura interna da tubulação foram utilizados termopares do tipo K com faixa de medição de -184 a 1260 °C, composto das ligas de Cromel e Alumel e saída de fundo de escala de 56,0 mV.

4.3 Procedimento experimental

Nesta seção descreve o procedimento adotado para a realização dos testes experimentais, desde as condições ambientais, cálculos para estimativa de parâmetros até as configurações dos ensaios e considerações realizadas.

Os testes foram realizados em laboratório onde as condições relevantes à medição (temperatura e reflexibilidade) são mitigados. O tubo foi dividido em três volumes de controle para poder calcular a espessura em cada um.

A taxa de transferência de calor pode ser obtida através da equação da convecção da lei Fourier.

$$q' = (T_{s,3} - T_{\infty,ar}) * 2\pi r_3 h_{ar} \quad (1)$$

Uma vez obtida a taxa de transferência de calor, o raio (interno do revestimento) será calculado utilizando a equação abaixo.

$$q' = \frac{T_{s,1} - T_{s,3}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_a} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_b}} \quad r_1 = \frac{r_2}{e^{\frac{2\pi K_a \left(\frac{T_{s,1} - T_{s,3}}{q'r} \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_b} \right)}{e}}} \quad (2)$$

Finalmente com r_1 calculado pode-se calcular a espessura com a equação abaixo, para a validação do método.

$$E_{Revtocal} = r_2 - r_1 \quad (3)$$

As variáveis usadas estão descritas a seguir:

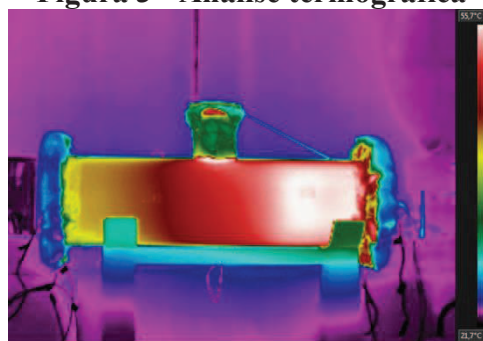
- q' – Taxa de transferência de calor por unidade de comprimento
- $T_{s,1}$ – Temperatura interna do tubo
- $T_{s,3}$ – Temperatura externa do tubo
- $T_{\infty,ar}$ – Temperatura do ar
- r_1 – Raio interno
- r_2 – Raio entre o revestimento e o tubo
- r_3 – Raio externo do tubo
- K_a – Coeficiente condutivo do tubo
- K_b – Coeficiente condutivo do revestimento
- $h_{,ar}$ – Coeficiente convectivo do ar
- $E_{Revtotal}$ – Espessura do revestimento calculado

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização do perfil de desgaste

Na análise termográfica o espectro de cores da imagem 3 evidencia de forma nítida a variação de temperatura devido às diferentes espessuras de revestimento interno da tubulação. Para este caso, o desgaste foi simulado com a variação da espessura do revestimento.

Figura 3 - Análise termográfica



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

5.2 Aquisição de dados:

A tabela 1 contém os valores tabelados necessários para o cálculo. A temperatura do ar na sala que foi medida através do termômetro de bulbo e a do revestimento através do termopar instalado dentro do tubo.

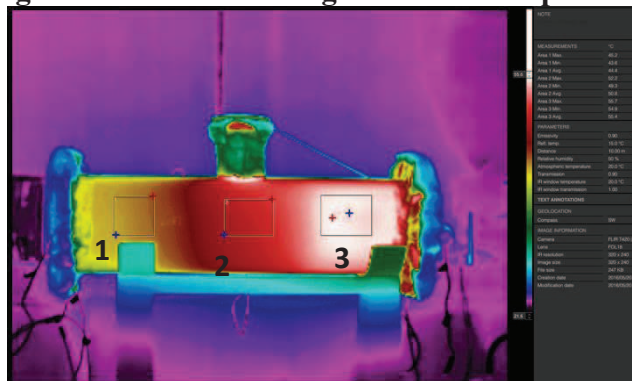
Tabela 1 - Valores para coeficiente condutivo, convectivo e raio

Coeficiente de condutividade térmica da borracha	$K_a = 0,15 \frac{W}{mK}$
Coeficiente de condutividade térmica do aço	$K_b = 52 \frac{W}{mK}$
Coeficiente convectivo do ar	$h_{ar} = 10 \frac{W}{mK}$
Raio entre o revestimento e o tubo	$r_2 = 0,1273 m$
Raio externo do tubo	$r_3 = 0,1365 m$
Temperatura do ar da sala	$T_{\infty,ar} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura interna do revestimento	$T_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

A figura 4 apresenta a temperatura externa do tubo obtido através da análise termográfica.

Figura 4 - Análise termográfica com temperatura



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

Portanto na tabela 2 tem-se as seguintes temperaturas médias para cada região de controle:

Tabela 2 - Temperaturas externas do tubo

Volume de Controle	Temperatura [°C]
1	44,4
2	50,8
3	55,4

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

5.3 Dados obtidos

A tabela 3 apresenta os resultados dos raios internos, obtidos através dos valores da tabela 2 aplicado nas equações 1, 2 e 3.

Tabela 3 - Resultados

Volume de Controle	Temperatura [°C]	R [m]	Espessura [mm]
1	44,4	0,1134	13,8
2	50,8	0,1189	8,4
3	55,4	0,1216	5,6

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

A tabela 4 apresenta o comparativo dos valores da espessura e real e obtidos pelo método da termografia.

Tabela 4 - Comparação das espessuras

Volume de Controle	Espessura real [mm]	Espessura pelo método de termografia [mm]	Erro [%]
1	14	13,8	-1,5
2	7	8,4	+20
3	4	5,6	+40

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016

6 ANÁLISE DO RESULTADO

O erro comparativo de espessura chegou em até 40% para uma faixa da medição. Alguns aspectos que podem ter influenciado no resultado das medições são:

- a) o modelo utilizado para validação do método considera somente que o fluxo de calor é unidimensional na direção radial, entretanto devido a diferença de espessura do revestimento gerou uma diferença de temperatura na superfície externa do tubo, promovendo fluxo axial de calor por condução.

- b) a incerteza dos instrumentos utilizados na medição de temperatura. Devido ao desgaste no revestimento ser da ordem de milímetros qualquer variação da temperatura medida pode resultar em variações elevadas na espessura calculada.

7 CONCLUSÃO

A técnica de termografia associada à equação de termodinâmica permitiu mensurar a espessura do revestimento interno da tubulação. E apesar da utilização de um o modelo matemático simplificado, os resultados obtidos foram próximos da real espessura do revestimento, entretanto, o modelo carece de mais estudos a fim de minimizar tais erros e aumentar a confiabilidade.

Um refinamento do método se faz necessário, podendo se para isto, experimentar equações mais complexas, que considerem sistemas bidimensionais de fluxo de calor, sistemas em regime transiente e até análises computacionais como Computational Fluid Dynamics (CFD), de forma a aumentar a precisão dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Márcio Tadeu. **Manutenção preditiva: confiabilidade e qualidade**. Itajubá: MTA, 2015. Disponível em: <[http:// www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf](http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- ALMEIDA, Bruno; CORREA, Jefferson; OSDARLAN, Carlos. Análises termográficas utilizando termovisores. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 199-201, 2010.
- BALARAS, Constantinos A.; ARGIRIOU, Anthanassios A. Infrared thermography for building diagnostics. **Energy and Buildings**, v.34, n.2, p.171-183, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778801001050>>. Acesso em: 02 set. 2015.
- BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medida**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. v. 1.
- KREITH, Frank; Bohn, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. Tradução All Tasks. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- LIMA, Walter Costa; SALLES, José Antonio Arantes. **Manutenção preditiva: caminho para a excelência e vantagem competitiva**. Piracicaba: UNIMEP, 2018. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/4mostra/pdfs/616.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2011.

MALDAGUE, Xavier P.V.; MOORE, Patrick. Nondestructive testing handbook: volume 3: infrared and thermal testing. 3. rd. [S.l.]: Amer Society for Nondestructive, 2001.

MARINS, Antônio Paulo de Oliveira; MELO, Rômulo Assis da Silva; ANDRETTI, Gabriel Félix. Termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 95-99, 2012.

SILVA, Renato Pacheco. **Avaliação do desgaste erosivo água-areia e água-ar-areia em tubulações de 4” através de técnicas de CFD e de experimentos laboratoriais**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SANTOS, M. C. **Estudo do processo corrosivo na interface aço carbono / popa de buxita**, Dissertação (Mestre).UFPA. Belém, PA, 2011.

VERATTI, Atílio Bruno. **Sistema básico de inspeção termográfica: um novo patamar na relação custo/benefício em termografia**. [S.l.]: TECEM, 2010. Disponível em <<http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/SBIT3a.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015

ZUM GAHR, Karl Heinz. Microstructure and wear of materials. Amsterdam: Elsevier, 1987.

EXTRAÇÃO DA LIGNINA PRESENTE NO LICOR NEGRO PARA ADSORÇÃO DE METAIS PESADOS

Caique Prado M. Oliveira*

Marcela Rachid Silva**

Mayra do Carmo Siqueira***

Yasmim Arantes da Fonseca****

RESUMO

Duas situações atuais referentes a processos de indústrias químicas são a tônica do presente trabalho: a produtividade de papel e seu consequente subproduto licor negro e o planisfério da descarga de efluentes com metais pesados por algumas instalações. Foi desenvolvida uma rota de extração de licor negro em meio básico a partir do bagaço de cana-de-açúcar. De posse do licor, precipitou-se a lignina que nele se fazia presente com o objetivo de reuso e desenvolvimento de um produto de maior valor agregado. Tal lignina foi ativada por um processo de carbonização a 230 °C sob atmosfera inerte de nitrogênio. A lignina carbonizada em contato por 15 minutos com solução sintética contendo íons Zn^{2+} apresentou eficiência de remoção destes de 73,64%. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) comprovou a característica estrutural filamentosa do composto obtido, oriunda das células vegetais de onde este vem, afirmando a porosidade do adsorvente produzido. Conciliaram-se disciplinas de Operações Unitárias, Cinética e Cálculo de Reatores, Química Orgânica, Química Inorgânica, Química Analítica e Análise Instrumental no desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave: Lignina. Licor negro. Adsorvente. Metais pesados.

* PUC - Minas, caiqueoliveira@oi.com.br - Mestrando em Engenharia Ambiental pela UFMG e Engenheiro Químico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

** PUC - Minas, marcela.rachid@sga.pucminas.br - Mestranda em Engenharia Ambiental pela UFMG e Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

*** PUC - Minas, mayradocarmos@gmail.com - Mestranda em Química pela UFMG e Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

**** PUC - Minas, yasmim.fonseca@sga.pucminas.br - Mestranda em Engenharia Ambiental pela UFOP e Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

ABSTRACT

Two current situations referring to chemical industries process are the subject of this paper: papers production and its consequently sub product black liquor and discharge of effluents with heavy metals by some facilities. A extraction route for the black liquor was developed in a basic environment from the sugarcane bagasse. With the possession of the liquor, the lignin was precipitated to develop a valuable product. This lignin was activated from the carbonization process at 230 °C under a nitrogen inert atmosphere. The carbonized lignin in contact for 15 minutes with the synthetic solution containing zinc ions, presented removal efficient of 73,64%. A filamentous structure was observed in a scanning electron microscope (SEM), as expected, because this structure come from vegetable cells. This paper conciliates subjects as Unit Operations, Kinetics and Calculus of Reactors, Organic Chemistry, Inorganic and Environmental Chemistry, Analytical Chemistry and Instrumental Analysis.

Keywords: Lignin. Black liquor. Adsorbent. Heavy metals.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), o Brasil está entre os dez maiores produtores de papel e celulose do mundo, sendo o quarto na produção de celulose e o nono na produção de papel. Arelado a esse fato, o país também se prefigura como um dos maiores expoentes na produção de cana-de açúcar. O cruzamento dessas duas informações incita em questionar quais potenciais aplicações e destinos são possíveis ao licor negro que é um subproduto oriundo de uma indústria papeleira que utiliza o bagaço de cana-de-açúcar como sua matéria-prima.

A produção de papel e de celulose contribui para o impacto ambiental, uma vez que as empresas celulósicas são classificadas como uma das motivadoras do desmatamento e da poluição de rios e lagos. Além disso, o principal rejeito dessa classe de indústrias é o licor negro, sendo o mesmo produzido por um processo denominado Kraft. Tal processo consiste em separar a fibra celulósica da madeira, e para isso é necessário solubilizar um dos compostos constituintes que é a lignina. A solubilização é feita através da adição do licor branco, substância formada basicamente por hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), em temperatura e pressão altas (FORTUNATTO, 2014).

A severidade do processo mencionado confere ao licor negro uma composição química complexa, o que o torna de particular interesse. Segundo Carreiro, 2009, o licor possui alcalinidade ativa e pode ocasionar impactos ambientais no controle biológico nas estações de

tratamento de efluentes e impactos severos em ecossistemas aquáticos e nas emissões no processo de combustão como Teor de Enxofre Reduzido (TRS) e poluentes atmosféricos.

Importante destacar que apesar da existência de componentes orgânicos e inorgânicos no licor negro que se apresentam como cargas poluidoras ambientais, podem ser destacadas substâncias no mesmo com elevado potencial para diversas novas aplicações como é o caso da lignina.

“A palavra lignina vem do latim *lignum*, que significa madeira. Trata-se de um dos principais componentes dos tecidos de gimnospermas e angiospermas, ocorrendo em vegetais e tecidos vasculares” cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos aos tecidos vegetais. É, portanto, uma macromolécula orgânica com diversos grupos funcionais. (FENGEL; WEGENER, 1984). O licor negro pode conter cerca de 10 a 50% de lignina em massa” (ZAIED; BELLAKHAL, 2009).

Outra premissa importante de ser destacada no presente trabalho é que o elevado índice de industrialização e o crescimento populacional dos grandes centros urbanos podem ser apontados como os principais fatores responsáveis pelo aumento dos níveis de diversos poluentes, destacando-se a poluição por metais pesados contaminantes de águas e solos. Esses poluentes podem representar um grande risco para a saúde humana, e para a natureza, onde têm a possibilidade de provocar graves danos, como a morte de animais ou a improdutividade de uma determinada área, alterações das características físico-químicas da água, redução da biodiversidade e contaminação de organismos vivos. (SILVA, 2010).

A atividade industrial é a principal contribuinte do aumento significativo nas concentrações de íons metálicos nos corpos d'água. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) em 2010, dos 2,9 milhões de toneladas geradas de resíduos industriais perigosos no país, somente 850 mil toneladas recebem tratamento adequado. As 2,05 milhões de toneladas restantes são descartadas sem nenhum prévio tratamento.

As atividades agroindustriais constituem uma das mais importantes fontes consideradas não pontuais de poluição por metais pesados em corpos d'água. Os fertilizantes lançam geralmente metais como Cd, Cr, Pb, Zn, enquanto os pesticidas liberam metais tais como Cu, Pb, Mn, Zn. Já os preservativos de madeira liberam nos corpos d'água geralmente os metais Cu e Cr. Outra fonte poluidora por esses metais são os dejetos advindos da produção de bovinos e suínos que chegam a lançar os metais Cu, As e Zn, além do garimpo (LIMA, 2013).

Dessa forma, devido à rigorosas leis ambientais e a necessidade de minimizar o efeito destas substâncias sobre o meio ambiente, o tratamento de efluentes tem se tornado

excepcionalmente muito importante nos dias atuais, e pesquisas têm sido desenvolvidas em busca de novas tecnologias para remover essas substâncias tóxicas de resíduos sólidos e líquidos, sendo necessário um modo efetivo para a remoção de metais, principalmente os tóxicos. Dentre essas alternativas para o tratamento, a adsorção é uma notória (JIMENEZ, 2004).

Pensando nessas duas temáticas mencionadas: o subproduto da indústria papeleira (licor negro) e a avolumada descarga de rejeitos no meio ambiente, em especial os metais pesados, o presente trabalho se debruça na extração da lignina presente no licor negro oriundo do bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como adsorvente de metais pesados. Esta possibilidade é motivada devido a heterogeneidade e complexidade estrutural da macromolécula de lignina, que apresenta ao longo da cadeia diversos pontos reativos. O sucesso nesse intento implica numa solução potencial para dois problemas contemporâneos atrelados a efluentes e meio ambiente. A remoção da lignina do licor negro agrega ao último uma nova finalidade e não o torna apenas um subproduto a ser descartado. E a eficiência da lignina tratada tornando-a um adsorvente de metais pesados, constitui uma nova alternativa para o tratamento de resíduos nos quais eles se fazem presentes.

2 METODOLOGIA

Para a obtenção do licor negro extraído do bagaço da cana de açúcar adotou-se a metodologia tradicional do processo Kraft, muito utilizado nas indústrias papeleiras. O mesmo consiste em “cozinhar” o bagaço da cana em solução alcalina. Procedeu-se com o cozimento de 90,0g de bagaço em aproximadamente 800 mL de solução de hidróxido de sódio 10% m/v por um tempo de 30 minutos à temperatura de 95 °C. Findado o tempo, peneirou-se o conjunto e separou-se o licor negro.

Figura 1 - Extração do licor negro do bagaço de cana de açúcar



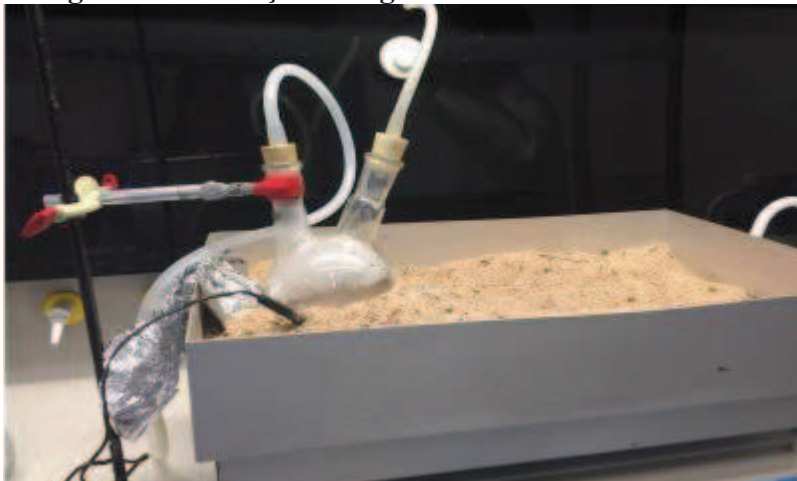
Fonte: Elaborado pelos autores.

De posse do licor negro, adotou-se a metodologia de precipitação da lignina do mesmo através do método descrito por Paula (2010). Adicionou-se ao licor negro 50g de sulfato de sódio e ácido sulfúrico 6 mol/L até pH 2 aproximadamente e deixou-se o sistema em agitação por uma hora sob aquecimento de 57 °C até haver precipitação.

Partiu-se para o processo de separação desta do sobrenadante valendo-se da centrífuga sob agitação de 3200 rpm por 2 minutos. Lavaram-se as amostras com solução de ácido pH 1 e centrifugou-se mais uma vez. Secou-se a lignina na estufa a 60 °C por uma hora.

Tendo a lignina, o passo posterior diz respeito a ativação da mesma enquanto adsorvente. Foram estudados três autores, principalmente com estudos relacionados, que usam diferentes métodos para a ativação. São eles: (RODRIGUEZ-MIRASOL; CORDERO; RODRÍGUEZ 1993; GONZALES-SERRANO, 2004; MONTANÉ; FERNANDEZ; FIERRO, 2005). Em caráter de maior facilidade operacional foi utilizado o método de Rodriguez-Mirasol, Cordero; Rodríguez, adaptado que se trata da carbonização da lignina sob atmosfera inerte. Nesse contexto, a amostra foi submetida a uma temperatura de 230 °C por 2 horas sob atmosfera inerte de N₂. Posteriormente, a lignina foi submetida à secagem na estufa a uma temperatura de 60°C por aproximadamente 120 minutos.

Figura 2 - Ativação da lignina sobre atmosfera inerte



Fonte: Elaborado pelos autores.

Obtido o possível adsorvente, foi feita uma titulação baseada no método de volumetria de complexação e caracterização no Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), sendo que o íon analisado foi o Zn^{2+} .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a realização da volumetria de complexação e com a caracterização da lignina ativada no MEV são discutidos e interpretados nas seções seguintes.

3.1 Volumetria de Complexação

A fim de comprovar a eficiência adsortiva da lignina carbonizada, foi sintetizado um resíduo com íon Zn^{2+} , a partir do sulfato de zinco e executou-se o método volumétrico de complexação por Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético (EDTA) na presença de indicador negro de eriocromo T e meio básico.

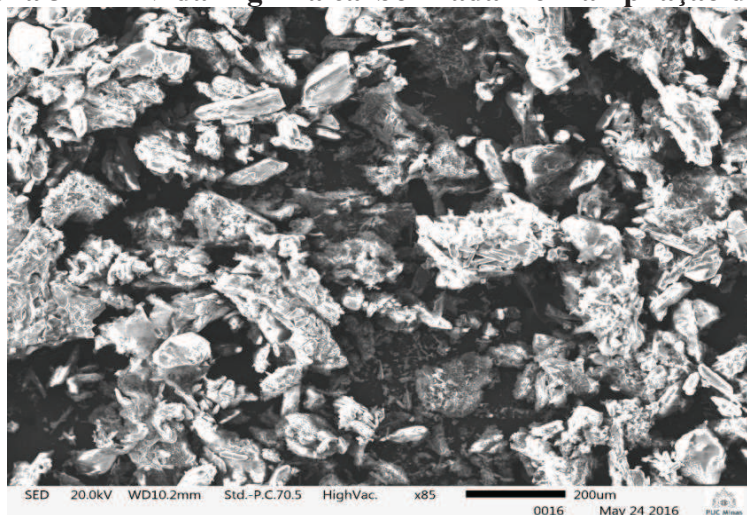
A alíquota da solução sintetizada de íons Zinco preparada continha 49,6 mg de Zn^{2+} . Colocou-se tal alíquota em contato com 0,0405 g de lignina carbonizada e deixou-se por 15 minutos. Passado esse tempo, procedeu-se com a titulação da alíquota de 10,00 mL, tendo por titulante EDTA 0,1 mol/L.

Realizou-se a titulação em triplicata e calculou-se a eficiência de adsorção da mesma que foi igual a 73,64%.

3.2 Caracterização pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

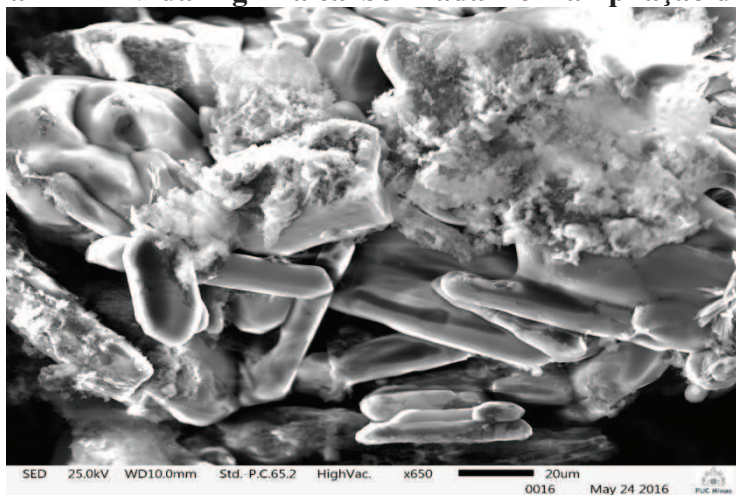
O ensaio de MEV foi realizado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica, no equipamento da marca *Oxford Instruments*. As imagens obtidas são apresentadas a seguir.

Figura 3 - MEV da Lignina carbonizada – em ampliação de 85x



Fonte: Elaborado pelos autores no Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica da PUC Minas, 2016

Figura 4 - MEV da Lignina carbonizada – em ampliação de 650x



Fonte: Elaborado pelos autores no Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica da PUC Minas, 2016

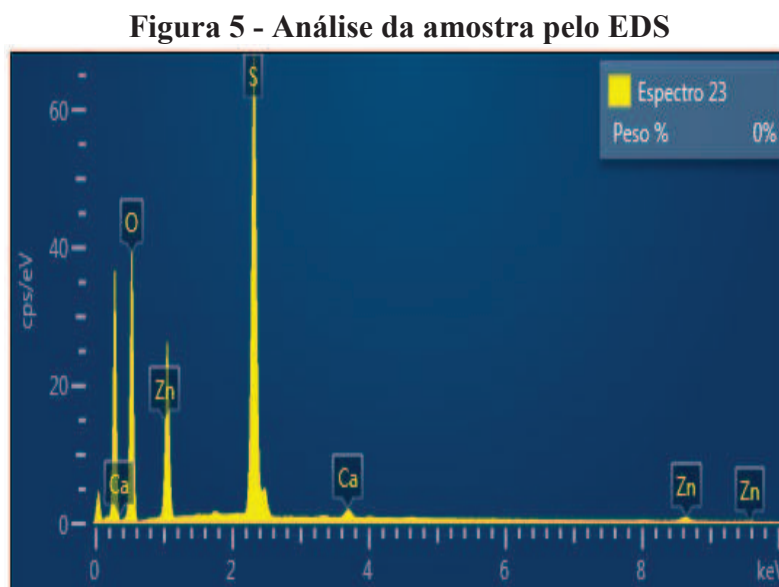
Pode-se observar pela primeira imagem, que a amostra aparenta estar pulverizada, pois apresenta muitos espaços vazios e uma estrutura disforme com bastante irregularidade. Contudo, há zonas de notórias irregularidades e interstícios vazios que conferem alta probabilidade de capacidade de adsorção. Quando a amostra é ampliada verifica-se uma estrutura filamentosa, que pode ser decorrente de resquícios da estrutura da parede celular da

cana de açúcar que não foram modificados durante o processo de carbonização e ativação da lignina. Segundo Silva (2010), estruturas em conformações alongadas são representativas de traqueídes quando advindos de origem vegetal, que diz respeito a parcelas de plantas altamente porosas responsável pelo transporte de nutrientes no seu estado natural.

Para um melhor resultado pode ser feito um tratamento superficial para diminuir as imperfeições da amostra e diminuir os espaços vazios, melhorando assim também sua capacidade de absorção.

3.3 Espectrômetro de raios-X por Dispersão de Energia – EDS

Acoplado aos dados obtidos pelo MEV foi apresentado o resultado do Espectrômetro de raios-X por Dispersão de Energia (EDS). A seguir está a imagem que ilustra esse resultado.



Fonte: Elaborado pelos autores no Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica da PUC Minas, 2016

Ao analisar essa figura, verifica-se a presença de oxigênio, elemento abundante na estrutura da lignina, a presença de enxofre, elemento derivado do processo de síntese que é feito com ácido sulfúrico e de zinco e cálcio elementos estranhos à amostra, pois no procedimento de produção da lignina não foram utilizadas substâncias que apresentassem esses elementos, podendo ser provenientes de alguma contaminação durante o processo.

A rugosidade da superfície da amostra é um fator importante que pode aumentar consideravelmente o erro da quantificação. A lignina carbonizada obtida possui uma estrutura muito irregular, dessa forma o erro referente ao resultado obtido pelo EDS tende a ser grande.

4 CONCLUSÃO

A lignina extraída do licor negro sintético apresentou uma eficiência de remoção de íons de metais pesados substancial: 73,64%. Valor mais notório ainda levando-se em conta o pequeno tempo de contato entre a solução dos íons com o adsorvente: 15 minutos. Segundo a NBR 16098 Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2012), filtros de carvão ativado são considerados de classe I quando possuem eficiência de remoção de íons ou partículas superior a 75%. Isso evidencia a relevância do valor de eficiência encontrado para a substância estudada.

Os resultados obtidos são a abertura de novas trilhas que podem ser seguidas. Dessa forma, sugere-se para trabalhos futuros a otimização das variáveis de processamento, tais como o tempo de contato do adsorvente com as soluções contaminadas e a temperatura de carbonização, propondo diferentes métodos de remoção e extração do licor negro.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16098**: aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BORTOLAZZO, Nara Gustinelli. **Isolamento e seleção de fungos celulolíticos para hidrólise enzimática do bagaço da cana-de-açúcar**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- CIOFFI, Maria O. H. et al. Preparação e caracterização de materiais híbridos celulose/ $\text{NbOPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ a partir de celulose branqueada de bagaço de cana de açúcar. **Polímeros**, São Paulo, v.22, n.1, p.88-95, 2012.
- MELO, Joelma Ribeiro de et al. **Estudo das características do licor negro**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 5., 2010, Campos Gerais. **Anais...** Campos Gerais: EETCG, 2010.
- GONZALEZ-SERRANO, E. et al. Development of porosity upon chemical activation of kraft lignin with ZnCl_2 . **Industrial e Engineering Chemistry Research**, n.36, p. 4832–4838, 1997.
- GONZALEZ-SERRANO, E. et al. Removal of water pollutants with activated carbons prepared from H_3PO_4 activation of lignin from kraft black liquors. **Water Research**, v. 38, n. 13, p. 3043–3050, Jul. 2004.
- MINURA, Aparecida Maria Simões; SALES, Janilson Ribeiro Castro; PINHEIRO, Paulo César Atividades experimentais simples envolvendo adsorção sobre carvão. **Química nova**

na *Escola*, v. 32, n. 1, fev. 2010.

MONTANÉ, Daniel; FERNANDEZ, Vanessa Torné; FIERRO, Vanessa. Activated carbons from lignin: kinetic modeling of the pyrolysis of Kraft lignin activated with phosphoric acid. *Chemical Engineering Journal*, v. 106, n.1, p.1–12, 2005.

PAULA, Sara Cristina da Silva. **Precipitation of lignin from kraft black liquor**. 2010. 34 f. Dissertation (Masters) – Departament of Chemical Engineering, Universidade do Porto-Chalmers, 2010.

RODRÍGUEZ-MIRASOL, José; CORDERO, Tomás; RODRÍGUEZ, Juan J. Activated carbons from CO₂ partial gasification of eucalyptus kraft lignin. *Energy Fuels*, v. 7, n.1, p.133–138, 1993.

DATT, Felipe. Suzano aposta em lignina, presente no Eucalipto, para gerar energia. *Valor Econômico*, São Paulo, 2012.

FORTUNATTO, Ana Clara. **Alternativas para o aproveitamento do licor negro da indústria de papel e celulose**. 2014. 68 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CARREIRO, Milton Roberto de Mattos. **Análise exergética e ambiental do processamento do licor negro gerado em fábricas de celulose e papel**. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

FENGEL, Dietrich, WEGENER, Gerd. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York : Waster & Grugter, 1984. 613p.

SILVA, Roberta Pereira da. **Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente**. 2010. 101 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

ZAIED, M.; BELLAKHAL, N. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. *Journal of Hazardous Materials*, v. 163, n. 2-3, p. 995-1000, 2009.

LIMA, Daniel Pandilha de. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Amapá, 2013.

JIMENEZ, Ricardo Sarti. BOSCO, Sandra Maria Dal., CARVALHO, Wagner Alves. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Revista Química Nova*, v.27, n. 5, p. 734-738, 17 abr. 2004.

ANÁLISE DA ELETRODIÁLISE PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MINERAÇÃO DE OURO

Amanda Vitória Santos*

Rana Gabriela Lacerda Santos**

Laura Hamdan de Andrade***

Míriam Cristina Santos Amaral****

RESUMO

Atualmente, um dos maiores desafios das indústrias mineradoras de ouro é conciliar suas vantagens econômicas com os impactos ambientais provocados por sua operação. Considerando os grandes volumes de efluente gerados na mineração e a recente crise hídrica vivenciada no Brasil, o tratamento eficiente de efluentes industriais visando seu reuso tem ganhado destaque. Nesse sentido, um método de tratamento possível é a eletrodiálise (ED), um processo de separação por membranas que se sobressai aos processos clássicos de separação por sua alta seletividade e eficiência de remoção. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho da ED no tratamento de um efluente de mineração de ouro caracterizado por elevadas concentrações de sulfato e arsênio e pH ácido. Os testes foram realizados em uma unidade de cinco compartimentos, com solução eletrolítica de Na_2SO_4 0,03 M e eletrodos de aço inoxidável e de titânio revestido com óxido de titânio e rutênio ($70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$) para o cátodo e o ânodo, respectivamente. A corrente limite do sistema foi determinada através da curva de polarização. O valor encontrado foi aproximadamente 150 mA, contudo a corrente deve ser mantida abaixo de 100 mA, a fim de se evitar a ocorrência de incrustação. A influência do pH da alimentação foi avaliada e observou-se que tal parâmetro não altera significativamente a eficiência do processo. A capacidade de remoção do sistema foi também quantificada, apresentando altas remoções de cálcio, magnésio e sulfato. Assim, a eletrodiálise se mostrou como uma alternativa viável para o tratamento de efluente de mineração de ouro.

*Graduanda em Engenharia Química na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, amandasantosenq@outlook.com

** Graduanda em Engenharia Química na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, rana.gabriela01@gmail.com

*** Professora adjunta do Departamento de Engenharia Química na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, lauraandrade@pucminas.br

**** Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, miriam@desa.ufmg.br

Palavras-chave: Eletrodialise. Efluente de mineração de ouro. Processos de separação por membrana.

ABSTRACT

One of the biggest challenges of mining gold industry is to reconcile its economic advantages with environmental impacts caused by their operation. Considering the large volumes of wastewater generated and the recent water crisis experienced in Brazil, the efficient treatment of industrial effluents aiming at water reuse has gained prominence. Thus, electrodialysis (ED) emerge as an alternative to conventional treatment processes. The aim of this study was to analyze ED performance in the treatment of gold mining effluent characterized by high concentrations of sulfate and arsenic and acid pH. The experimental set-up was consisted of a five-compartment ED unit, a cathode made of stainless steel and a anode made of titanium coated with ruthenium ($70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$). The limit current was determined by the polarization curve. The value found was approximately 150 mA, but the current should be kept below 100 mA in order to avoid the occurrence of scaling. The influence of the feed pH was assessed and it was noted that such parameter does not significantly affect process efficiency. The system presented high removal capacity for calcium, magnesium and sulfate ions. Thus, ED is a potential alternative for the treatment of gold mining effluent.

Keywords: Electrodialysis. Gold mining effluent. Membrane separation processes.

1 INTRODUÇÃO

O ouro é um metal que tem historicamente ocupado uma posição de destaque no cenário econômico brasileiro. Devido às suas diferenciadas propriedades físicas, como elevada resistência à corrosão, maleabilidade, condutividade elétrica e refletância, o ouro tem deixado de ser utilizado exclusivamente como reserva monetária e para a produção de joias e tem sido cada vez mais utilizado em aplicações tecnológicas, como produção de catalisadores, uso em eletrônica avançada, usos medicinais e tecnologias de controle de poluição (CORTI; HOLLIDAY, 2004; NERY; SILVA, 2001; RICCI, 2015).

Em contrapartida à importância econômica do ouro, apresentam-se os enormes impactos ambientais gerados pelas suas atividades, dentre os quais podem ser citados a alteração de habitats naturais, o lançamento de gases e de materiais particulados na atmosfera e o lançamento

de efluentes com alto potencial poluidor (FU; WANG, 2011; RICCI, 2015; GETANEH; ALEMAYEHU, 2006).

Além disso, a crescente escassez de água no Brasil tem provocado conflitos entre população e indústria pelo uso da água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014). Assim, diminuir a captação de água nova em corpos d'água se tornou prioridade para diversos setores industriais, colocando em posição de destaque métodos de tratamento de águas residuárias que permitam sua reutilização no processo industrial. Nesse contexto, os processos de separação por membranas, especialmente a eletrodialise, têm sido estudados e se mostrado como alternativas promissoras para o tratamento de efluentes da mineração de ouro e geração de água de reuso.

Segundo Habert Borges, Nobrega (2006), os processos de Separação por Membranas (PSM) são processos que utilizam uma barreira seletiva que é capaz de promover a remoção de determinados componentes presentes em uma solução através da ação de uma força motriz. As tecnologias de separação por membranas destacam-se em relação aos processos clássicos de separação por sua alta seletividade e eficiência de remoção e por apresentarem vantagens operacionais, como facilidade de escalonamento, baixa necessidade de área e operação na maioria dos casos em temperatura ambiente (HABERT; BORGES, NOBREGA, 2006).

A eletrodialise (ED) é um processo de separação por membranas cuja força motriz é a diferença de potencial elétrico. Nela são utilizadas membranas de troca iônica carregadas eletricamente para repelir parcial ou totalmente íons de mesma carga que se encontram na solução, sendo essa repulsão responsável pela separação da corrente de alimentação em uma corrente rica em sais e outra dessalinizada (BAKER, 2004). O processo de ED tem sido muito utilizado como forma de tratamento de efluentes industriais, apresentando altos potenciais de remoção e gerando permeados de alta qualidade (BUZZI et al. 2013; ZHENG et al. 2015; GOODMAN et al. 2013; ZHANG et al. 2011).

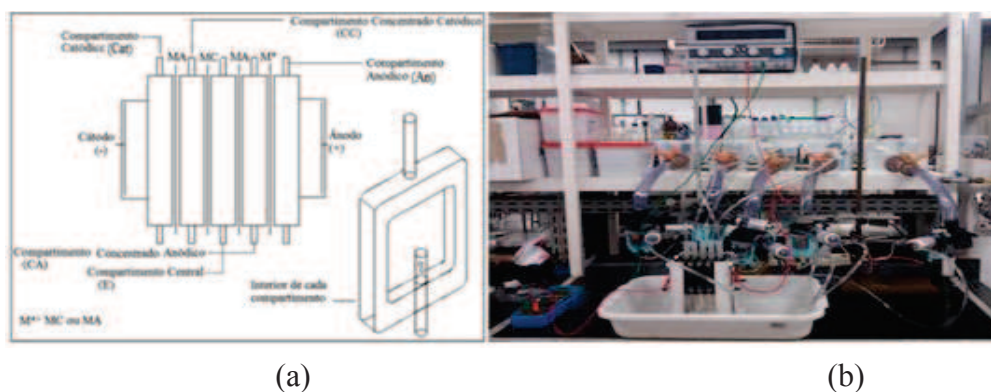
Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da ED no tratamento de efluente de mineração de ouro, assim como determinar as melhores condições operacionais para o sistema.

2 METODOLOGIA

2.1 Montagem da célula de eletrodialise

Para realização dos testes, foi utilizada uma unidade de cinco compartimentos separados por membranas catiônicas e aniônicas, posicionadas alternadamente. O efluente foi recirculado pelo compartimento central e uma solução eletrolítica de Na_2SO_4 0,03 M foi recirculada nos demais compartimentos. Foram utilizados eletrodos de titânio revestido com óxido de titânio e rutênio ($70\text{TiO}_2/30\text{RuO}_2$) e de aço inoxidável, como ânodo e cátodo, respectivamente. A unidade de ED utilizada é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática de uma célula de ED de cinco compartimentos (a) e unidade experimental utilizada (b)



Fonte: (BENVENUTI, 2012).

2.2 Caracterização do efluente

O efluente estudado neste trabalho resulta da mistura de volumes iguais dos efluentes provenientes de duas etapas do processamento do minério de ouro: lavagem dos gases ácidos do ustulador e barragem de calcinado. Tal efluente foi caracterizado em relação aos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade, sólidos totais, sulfato, cálcio, magnésio (APHA, 2005) e arsênio (DHAR et al. 2004).

O efluente foi pré-tratado com ajuste de pH com solução de NaOH 5 N e ultrafiltração (UF) para remoção de sólidos suspensos. A UF foi realizada com uma membrana submersa comercial (ZeeWeed), com diâmetro médio de poros de $0,04 \mu\text{m}$ e área de filtração $0,047\text{m}^2$, sob pressão constante de 0,3 bar.

2.3 Caracterização das membranas

As membranas catiônica e aniônica foram caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X (EDS) para análise de sua superfície e investigação de seus constituintes. As análises foram realizadas através do equipamento FEI Quanta 200 instalado no Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais.

2.4 Capacidade de remoção de íons

Amostras do efluente pré-tratado (após ajuste de pH para o valor de 5,0 e ultrafiltração), do permeado da eletrodialise e da solução concentrada catiônica obtidas ao final de um teste preliminar de 10 horas de duração foram caracterizadas em relação aos teores de arsênio, cálcio, magnésio e sulfato.

2.5 Determinação da corrente limite

A corrente limite do sistema foi determinada através da construção da curva de polarização, sendo o valor da corrente limite definido pelo seu ponto de inflexão. O experimento consistiu no aumento gradual de corrente em intervalos de 2 mA a cada 5 minutos e medida da tensão correspondente através da membrana catiônica. O teste foi realizado para o efluente com pH ajustado para 5,0.

2.6 Avaliação de diferentes valores de pH da alimentação

Para verificação da influência do pH da alimentação no processo de ED foram realizados testes com o efluente em valores de pH iguais a 2, 4, 6 e 8. Os ensaios de ED tiveram duração de 6 horas e a corrente aplicada em cada caso foi de 80% do valor limite determinado anteriormente. Ao final do experimento, os efluentes pré-tratados e as soluções diluídas obtidas foram caracterizadas quanto à concentração de cálcio e magnésio e os resultados foram analisados para definição do melhor pH de operação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do efluente bruto

A caracterização do efluente utilizado (Tabela 1), atenta, principalmente, para seu baixo valor de pH, indicando elevada acidez, e para seus elevados teores de sulfato e arsênio.

Tabela 1 – Caracterização do efluente bruto

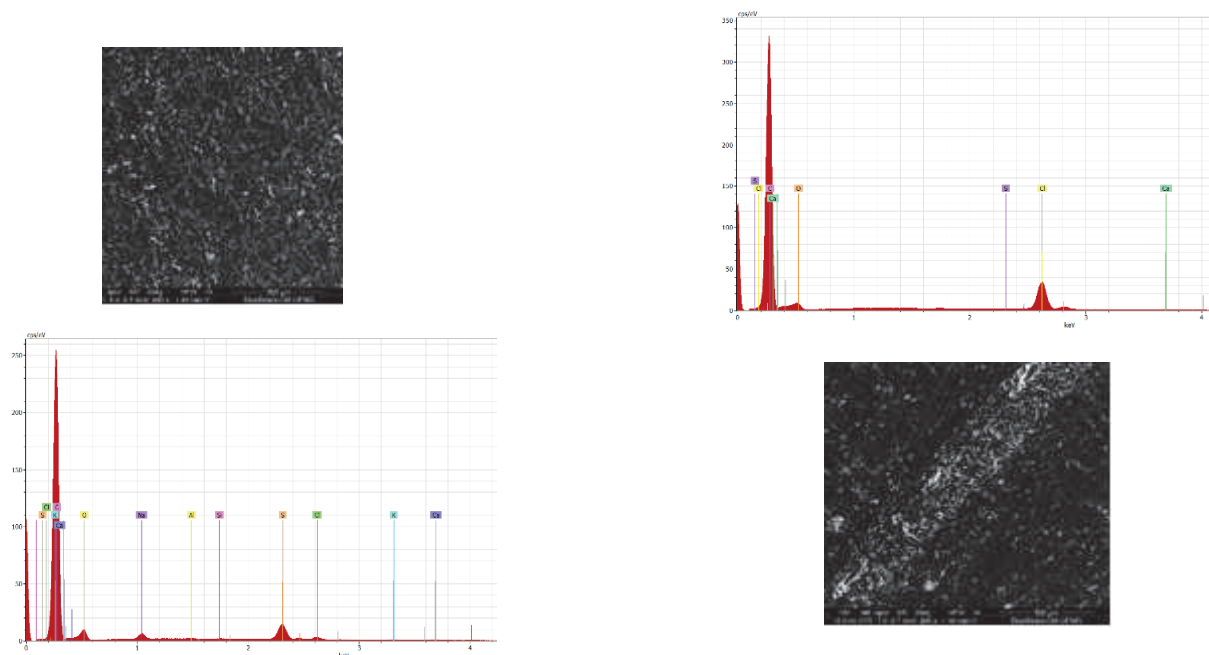
Parâmetro	Efluente da lavagem de gases ácidos	Água da barragem de calcinado	Combinação dos efluentes
pH	1,82	8,23	2,08
Condutividade [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	9.420	3.250	6.615
Sólidos totais [mg/L]	9.398	3.159	8.804
Sulfato [mg/L]	6.367	1.944	3.864
Arsênio [mg/L]	657	2	322
Cálcio [mg/L]	382	541	550
Magnésio [mg/L]	462	29	247

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Caracterização das membranas

As imagens de MEV das membranas catiônicas e aniônicas, apresentadas na Figura 2, revelam a presença de poros de tamanhos variados na sua superfície. A presença de poros não impacta negativamente o processo de ED, uma vez que, ao contrário das membranas de filtração, cujo mecanismo de separação é a retenção por tamanho, na ED o mecanismo depende exclusivamente da carga dos íons presentes no meio e da carga das membranas. Os resultados de EDS revelam a presença de grupos carregados positiva e negativamente, corroborando a teoria, já que a presença dessas cargas permite a passagem dos íons através das membranas.

Figura 2 – Resultados de MEV e EDS das membranas catiônica (à esquerda) e aniônica (à direita)



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3 Capacidade de remoção de íons

Os resultados obtidos quanto à caracterização das amostras de efluente, permeado da ED e concentrado catódico são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do efluente pré-filtrado, permeado e concentrado catódico

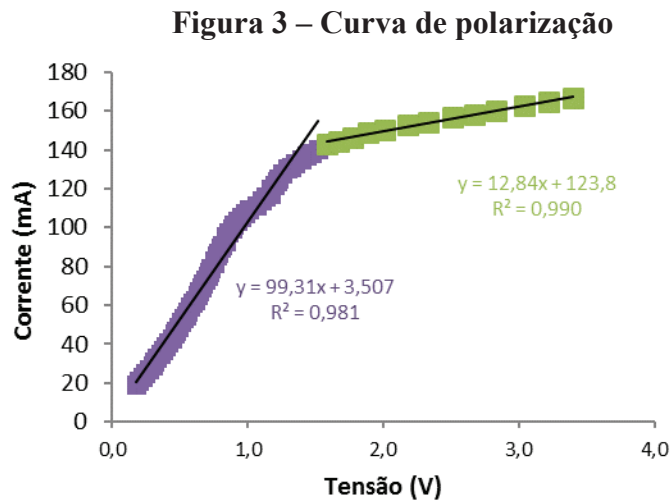
	Arsênio [mg/L]	Cálcio [mg/L]	Magnésio [mg/L]	Sulfato [mg/L]
Efluente	147	310	694	5224
Permeado da ED	146	170	592	3963
Conc. catódico	28	< 40	131	1401
Remoção [%]	0,7	45	15	24

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se que houve remoção dos íons cálcio, magnésio e sulfato em variadas proporções. A passagem de cátions metálicos para o compartimento do concentrado catódico, combinada à alta concentração de sulfato dessa solução, leva à formação de uma solução concentrada em sais. Por outro lado, o percentual de remoção de arsênio é baixo, indicando que são necessários estudos para otimização de sua remoção, por exemplo, através da conjugação da ED com outros métodos de tratamento, como precipitação química ou extração por solventes (ANDRADE, 2016; REIS, 2016).

3.4 Corrente limite

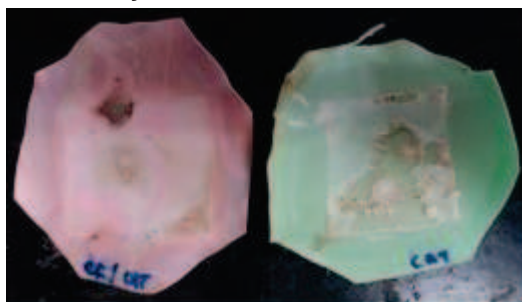
O gráfico obtido para tensão da membrana catiônica em função da corrente aplicada ao sistema (curva de polarização) é mostrado na Figura 3.



O gráfico apresenta duas regiões distintas. Na primeira há uma relação linear entre tensão da membrana e corrente do sistema, na qual a Lei de Ohm se aplica, uma vez que o aumento da tensão leva a um aumento proporcional da corrente, evidenciando a resistência do sistema constante. Segundo a literatura, a segunda região define o valor da corrente limite e sua principal característica é o aumento expressivo da polarização de concentração na interface membrana-solução, motivo pelo qual a corrente pouco varia para mudanças na tensão. De acordo com o gráfico obtido, o ponto de corrente limite situa-se próximo a 150 mA.

Por outro lado, observou-se a ocorrência de deposição de precipitado na superfície da membrana para correntes a partir de 100 mA, como ilustrado na Figura 4. A precipitação se deve à passagem de elevado teor de cátions metálicos para o concentrado catódico, conforme discutido anteriormente. Devido à alta concentração de sais de sulfato, o limite de solubilidade foi ultrapassado, causando a precipitação. A incrustação formada altera a estrutura da membrana e afeta sua capacidade de passagem de íons, levando, por conseguinte, a uma leve mudança na inclinação da reta característica da primeira região, como apontado na Figura 3. Destarte, optou-se por operar os testes subsequentes com uma corrente de 80 % daquela que potencializa a incrustação, correspondendo a 80 mA.

Figura 4 – Incrustação nas membranas catiônica e aniônica



Fonte: Elaborada pelos autores.

Devido a limitações dos equipamentos utilizados, não foi possível alcançar valores mais elevados de corrente, mas espera-se, para valores suficientemente altos, a obtenção de uma terceira região do gráfico, onde ocorre o retorno da região linear, caracterizando o início da eletrólise da água na interface membrana-solução e aumento da concentração de íons.

3.5 Influência do pH

Os resultados obtidos na avaliação da influência do pH da alimentação no sistema são apresentados na Tabela 3. Observa-se que diferentes valores de pH não acarretaram mudanças significativas nos percentuais de remoção obtidos. A justificativa para tal está relacionada às características das membranas utilizadas, uma vez que os grupos carregados positiva e negativamente estão inseridos em sua estrutura e, portanto, estas já apresentam uma carga fixa independente do pH do meio. Esse efeito é contrário ao observado para membranas de comportamento anfótero, como as de nanofiltração, as quais podem apresentar carga superficial positiva, negativa ou neutra quando em contato com diferentes soluções eletrolíticas em diferentes pHs, alterando, por conseguinte, sua eficiência.

Desse modo, como os valores de pH 2 e 4 são ácidos e podem levar ao desgaste do material polimérico da membrana e redução de sua vida útil e pH 8 necessitaria maior quantidade de reagente para correção do caráter ácido do efluente, selecionou-se pH 6 como aquele melhor para operação.

Tabela 3 – Resultados físico-químicos do teste de pH

Amostras		Concentração [mg/L]		Remoção [%]	
		Cálcio	Magnésio	Cálcio	Magnésio
pH 2	Bruto	401	547	30	10
	Tratado	281	494		
pH 4	Bruto	483	458	27	13
	Tratado	353	400		
pH 6	Bruto	349	613	30	9
	Tratado	244	560		
pH 8	Bruto	385	594	27	11
	Tratado	281	527		

Fonte: Elaborada pelos autores.

4 CONCLUSÃO

A eletrodialise se apresenta como uma alternativa viável e promissora para o tratamento de efluente de mineração de ouro. O processo apresentou boa eficiência, sendo capaz de remover satisfatoriamente íons de cálcio, magnésio e sulfato. A corrente limite do sistema se situa em cerca de 150 mA. Entretanto, a partir de 100 mA verificou-se elevada precipitação na superfície da membrana, portanto, esse valor não deve ser ultrapassado em visando evitar perda de eficiência do processo. O pH da alimentação não influencia significativamente a capacidade de remoção do sistema, dessa forma, optou-se por trabalhar com pH igual a 6 devido ao menor dano à estrutura polimérica e ao menor gasto de reagentes para sua correção.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Região enfrenta sérios problemas por causa da escassez de água**. [S.l.]: ANA, 2014. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoSudeste.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2015.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: APPA, 2005.

ANDRADE, Laura Hamdan. **Evaluation of membrane separation process for the treatment of gold mining effluent**. 2016. 164f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

BAKER, Richard W. **Membrane technology and applications**. Califórnia: Wiley, 2004.

BENVENUTI, Tatiane. **Avaliação da eletrodialise no tratamento de efluentes de processo de eletrodeposição de níquel**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BUZZI, Daniella Cardoso et al. Water recovery from acid mine drainage by electro dialysis. **Minerals Engineering**, v. 40, p. 82-89, 2013.

CORTI, Cristopher; HOLLIDAY, Richard. Commercial aspects of gold applications: from materials science to chemical science. **Gold Bulletin**, v. 37, n. 1-2, p. 20-26, 2004.

DHAR, Ratan et al. A rapid colorimetric method for measuring arsenic concentrations in groundwater. **Analytica Chimica Acta**, v. 526, n. 2, p. 203-209, 2004.

FU, Fenglian; WANG, Qi. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 407-418, 2011.

GETANEH, Worash; ALEMAYEHU, Tamiru. Metal contamination of the environment by placer and primary gold mining in the Adola region of southern Ethiopia. **Environmental Geology**, v. 50, n. 3, p. 339-352, 2006.

GOODMAN, Nigel B. et al. A feasibility study of municipal wastewater desalination using electro dialysis reversal to provide recycled water for horticultural irrigation. **Desalination**, v. 317, p. 77-83, 2013.

HABERT, Alberto Cláudio; BORGES, Cristiano Piacsek; NOBREGA, Ronaldo. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 180 p. (Série Escola piloto em Engenharia Química).

NERY, Miguel Antônio Cedraz; SILVA, Emanuel Apolinário. **Balanco Mineral Brasileiro (Ouro)**. Brasília:DNPM, 2001. 40 p.

REIS, Beatriz Gasparini. **Remoção e recuperação de arsênio de efluentes de mineração de ouro por processos de separação por membranas**. 2016. Qualificação (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2016.

RICCI, Bárbara Caroline. **Avaliação do uso de processos de separação por membranas na remoção de metais, recuperação de ácido sulfúrico e na geração de água de reúso a partir de efluente de indústria de mineração de ouro**. 2015. 121f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ZHANG, Yang et al. Electro dialysis on RO concentrate to improve water recovery in wastewater reclamation. **Journal of Membrane Science**, v. 378, n. 1, p. 101-110, 2011.

ZHENG, Yun et al. The treatment of cyanide from gold mine effluent by a novel five-compartment electro dialysis. **Electrochimica Acta**, v. 169, p. 150-158, 2015.

O EMPREGO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS NA ENGENHARIA CIVIL: uma proposta metodológica

Everaldo Bonaldo*

Fernando Júnior Resende Mascarenhas**

Juliana Torres de Oliveira Bonaldo***

Ricardo Siervi Natali****

RESUMO

As equações diferenciais (EDs) apresentam um vasto campo de aplicação na Engenharia Civil. Entretanto, mesmo frente à sua larga utilidade, poucos são os discentes que se interessam pelo assunto e isso deve-se, em parte, às metodologias empregadas no ensino das mesmas. O processo de ensino-aprendizagem de equações diferenciais nos cursos de graduação de Engenharia é geralmente feita de forma mecânica, puramente algébrica e abstrata, o que gera desinteresse, reduzido o entendimento e inadequado desempenho acadêmicos por parte dos estudantes. Visando modificar essa dinâmica no processo de ensino-aprendizagem, propõe-se a adoção de uma metodologia inovadora na disciplina de Cálculo III, no curso de graduação em Engenharia Civil, na PUC Minas no Barreiro. Essa proposta metodológica parte da demonstração das aplicações práticas de EDs na Engenharia Civil através de situações-problema reais e significativos. Utilizando Roteiros de Estudos, das respectivas situações, os estudantes devem desenvolver protótipos que reproduzam tais problemas e, através de três métodos distintos: resolução analítica das EDs, Método Experimental e Método Computacional. Por fim, objetiva-se que os estudantes saiam de um modelo estático e automatizado e passem a desenvolver capacidades que vão muito além da memorização dos conteúdos, tais como capacidade de escrita, pensamento holístico e crítico.

Palavras-chave: Ensino-Aprendizagem. Equações diferenciais. Engenharia Civil. Abordagem prática.

* Coordenador e professor Adjunto IV do curso de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, bonaldo@pucminas.br

** Estudante de Graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, fer.jr.resende@hotmail.com

*** Professora Adjunta e Coordenadora do curso de Engenharia Civil na PUC Minas na Praça da Liberdade, jultoroli@gmail.com

**** Professor dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Energia da PUC Minas, siervi@pucminas.br

ABSTRACT

The differential equations (DEs) have a broad scope in Civil Engineering. However, even though they have wide use, there are few students who are interested in the subject and this is due, in part, to the methodologies used for teaching them. The process of teaching and learning differential equations in engineering undergraduate majors is usually done mechanically, purely algebraic and abstract, which generates disinterest, reduced understanding and inadequate academic performance by students. Aiming to change this dynamic in the teaching-learning process, it is proposed to adopt an innovative methodology in the course of Calculus III, at the undergraduate degree in Civil Engineering in PUC Minas at the Barreiro. This methodological proposal is based on the demonstration of the practical applications of DEs in Civil Engineering through real and significant problem situations. Using Study Guides of the respective situations, students should develop prototypes that reproduce such problems, through three different methods: analytical resolution of DEs, Experimental and Computational Methods. Hence, it aims that students leave a static and automated model, and they start to develop capabilities that go far beyond the memorization of content, such as writing ability, holistic and critical thinking.

Keywords: Teaching and Learning. Differential Equations. Civil Engineering. Practical Approach.

1 INTRODUÇÃO

A constante busca e adoção de metodologias inovadoras no processo de ensino-aprendizagem nos cursos de Engenharia deve acompanhar as transformações sociais tecnológicas pelas quais as sociedades têm passado, a fim de conferir aos estudantes as competências e habilidades necessárias para que os mesmos desempenhem seus respectivos papéis profissionais da forma mais adequada e satisfatória possível. Portanto, neste contexto, os processos de ensino-aprendizagem nos cursos de graduação em Engenharia Civil não devem ser vistos de forma imutável e cartesiana, muito pelo contrário, a adoção de tecnologias e, sobretudo, de novas metodologias de ensino são essenciais para se obter maior qualidade na formação dos egressos.

As disciplinas de cálculo e física constituem a base fundamental da formação profissional do discente de Engenharia Civil, entretanto, ambas carecem de propostas metodológicas que estimulem os estudantes a ter uma aprendizagem significativa e não

meramente mecânica. No que concerne especificamente às disciplinas de cálculo, há a necessidade eminente de se modificar o modelo atual que é muito abstrato e focado na replicação passiva das informações, sem os estudantes terem um aprendizado real.

A disciplina de Cálculo III, ensinada no curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), unidade Barreiro, tem em sua ementa o ensino de Equações Diferenciais (EDs). Dullius, Veit e Araujo (2013, p. 207) destacam que os profissionais de engenharia precisam “equacionar e solucionar uma ampla gama de problemas que podem ser representados por EDs” e que a apropriada “compreensão dos conceitos básicos envolvidos nessas equações e na obtenção de suas soluções” é imperativa como componente de seus processos de formação (CARNEIRO; LEÃO; TEIXIERA, 2010, p. 555).

Apesar das suas ampla aplicabilidade e grande importância para os discentes e profissionais da Engenharia Civil, poucos são os estudantes que apresentam, de fato, interesse pelo assunto, visto que muitos até o temem, seja por falta de entendimento concreto da aplicação das EDs, seja pela forma como as EDs são lecionadas.

Frente a isso, este artigo propõe-se a demonstrar um inovador método de ensino-aprendizagem de EDs na disciplina de Cálculo III, do curso de Engenharia Civil, turno noite, da PUC Minas no Barreiro, desenvolvido através de ações coordenadas e interdisciplinares entre o professor da disciplina, a Coordenação do Curso de Engenharia Civil no Barreiro e o monitor da disciplina. Objetiva-se com esse projeto que as aulas tornem-se mais interessantes, contextualizadas e interdisciplinares, onde a teoria e a prática se convergem.

1.1 Metodologia

Este trabalho desenvolveu-se baseado no método hipotético-dedutivo, o qual partiu da observação da forma como EDs são lecionadas, com o levantamento dos fatos e problemáticas existentes, bem como com a utilização de artigos científicos em línguas portuguesa, inglesa e espanhola que tratem da temática aqui abordada. Feita esta etapa, fez-se um encadeamento das hipóteses e soluções possíveis, sendo escolhida uma proposta metodológica que enaltecesse a conversão da teoria e da prática. Além disso, todas as análises, propostas e ações deram-se baseadas nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Resolução CNE/CES 11, da Câmara Nacional de Educação do Conselho Nacional de Educação.

Essa alternativa metodológica no ensino de EDs parte da demonstração dos vastos usos de EDs nas diferentes áreas da Engenharia Civil através de situações-problema reais e significativos, a partir das quais, os estudantes de Engenharia Civil, que fazem a disciplina de

Cálculo III, no turno noturno, no segundo semestre de 2016, deveriam desenvolver protótipos. Para cada uma das situações aplicadas, desenvolveu-se um Roteiro de Estudos dividido em três partes para demonstrar a aplicação das EDs através de três métodos distintos.

2 O ENSINO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS

As equações diferenciais estão presentes nas mais variadas situações na vida cotidiana bem como na Engenharia Civil, a qual abarca as mais diversas áreas. Segundo Carneiro, Leão e Teixeira (2010), a “maioria dos problemas de engenharia, independentemente da área, pode ser descritos por um conjunto de equações diferenciais, as quais são aproximações matemáticas da realidade física” (CARNEIRO; LEÃO; TEIXIERA, 2010, p. 555, tradução nossa); isto é, “uma equação diferencial é obtida quando se observa um fenômeno, coletam-se taxas de variação e então se relacionam a com a própria função que descreve tal fenômeno” (BERTOLOTTO; CARMARGO, 2015, p. 1).

Figueiredo (2016, p. 54) destaca que “compreensão do cálculo diferencial é de enorme importância na formação de um engenheiro, pois além de estimular o raciocínio lógico está conectado com a resolução de diversas situações ligadas a fenômenos físicos que são gerenciadas por engenheiros”, tais como deflexão de vigas, processo adensamento de solos e processos de depuração de corpos d’água. Thomas (2013) acrescenta que,

uma das principais razões da importância das equações diferenciais é que mesmo as equações mais simples são capazes de representar sistemas úteis. Mesmo alguns sistemas naturais mais complexos comportam modelagens em termos de equações diferenciais bem conhecidas. Por outro lado, problemas cuja modelagem exige equações diferenciais mais complicadas podem, hoje em dia, ser tratados através de métodos computacionais (THOMAS, 2013, p. 2).

Apesar de sua larga aplicabilidade e relevância para os estudantes de Engenharia Civil, há um número reduzido de discentes que se interessam pelo assunto, sendo, muitas vezes, temido pelos mesmo. Isso decorre de uma metodologia de ensino das EDs arcaica e pouco convidativa, em que muitos professores persistem no uso de metodologias de ensino que privilegiam tão somente o enfoque algébrico e numérico e que, portanto, favorecem uma aprendizagem estritamente mecânica e instrumental (MORENO; AZCÁRATE, 2003, tradução nossa). Miotto, Cargnelutti e Machado (2013, p. 2) ainda acrescentam que “os problemas de cálculo podem ser de difícil visualização principalmente para estudantes em início de curso, pois sua experiência prática do conteúdo ensinado é limitada”.

Essa dificuldade de entendimento, associada ao desinteresse se reflete claramente não

apenas no desempenho acadêmico dos discentes, mas, sobretudo, durante a disciplina, ao longo do semestre. Dullius, Araujo e Veit (2011, p. 18), que trabalham no “ensino de cálculo diferencial e integral nos cursos de Engenharia”, lidam frequentemente com as indagações dos discentes, tais como: “por que fazer a mão essas contas enormes se existem máquinas para isso? Por que “decorar” tantas fórmulas, se o dia que precisar posso buscar em livros ou na *internet*? Por que preciso saber tudo isto, afinal?”. Tais indagações surgem, na maioria das vezes, fruto de como “convencionalmente o conteúdo de EDs é introduzido”, que parte “da definição” para, “posteriormente” apresentar “as técnicas de resolução analítica e, finalmente”, abordar “algumas aplicações, retiradas de livros de texto”, entretanto, ainda de forma muito abstrata (DULLIUS; ARAUJO; VEIT, 2011, p. 40).

Na PUC Minas no Barreiro, a disciplina de Cálculo III, na Engenharia Civil, aborda o conteúdo de EDs de forma convencional. Os professores lecionam esses conteúdos sem a utilização de recursos computacionais e/ou atividades práticas, restringindo-se à apenas a ensinar os métodos analíticos de resolver as EDs acompanhado de exercícios retirados dos livros textos base.

Logo, a aprendizagem torna-se mecânica e não significativa. Segundo Braathen (2012, p. 65), “a Aprendizagem Mecânica ocorre com a incorporação de um conhecimento novo de forma arbitrária, ou seja, o aluno precisa aprender sem entender do que se trata ou compreender o significado do porquê” e a aprendizagem significativa “corre com a incorporação de conhecimento novo na estrutura cognitiva do estudante, e pode ser associado a um conhecimento prévio, relacionado e relevante, já existente nessa estrutura cognitiva”.

3 PROPOSTA METODOLÓGICA DE ENSINO-APRENDIZAGEM

O principal desafio que se apresenta refere-se à modificação do processo de ensino-aprendizagem de equações diferenciais, para que se passe de um modelo automático, pouco eficiente e atrativo, para uma abordagem prática, dinâmica e que promova efetivamente a construção desses conhecimentos nos discentes. Para Braathen:

mesmo em aulas expositivas tradicionais, muitas mudanças de conceito que envolvem a aprendizagem significativa podem acontecer caso o professor lance mão de metodologias mais dinâmicas. Assim, mesmo em aulas com muitos alunos, problemas de falta de conhecimento prévio podem, muitas vezes, serem resolvidos ou atenuados ao se criar um ambiente interativo e dinâmico, com efetivo envolvimento dos alunos no processo, bem como com trabalhos em duplas e em pequenos grupos, entre outras metodologias (BRAATHEN, 2012, p. 69).

Acrescenta-se, ainda, que a Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação (CES/CNE), em seu Artigo 4º, estabelece que as universidades devem desenvolver nos estudantes determinadas habilidades e competências importantes para sua atuação profissional, tais como “aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia” e também “projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados” (BRASIL, 2002, p. 1). Além disso, em seu Artigo 5º estabelece que “cada curso de Engenharia deve possuir um projeto pedagógico que [...]” estimule “atividades complementares, [...] projetos multidisciplinares, [...] trabalhos em equipe e desenvolvimento de protótipos [...]” (BRASIL, 2002, p. 1-2).

Para Dullius, Veit e Araujo (2013, p. 226) há a necessidade iminente de se “trabalhar com abordagens alternativas para o conteúdo de ED, focando também a questão interpretativa, conceitual, por um lado para explorar esta habilidade e por outro, para que a aprendizagem de ED não seja tão prejudicada pelo cenário problemático apresentado em relação à matemática básica”, ampliando, também, suas compreensões dos sistemas reais modelados.

Baseado no exposto acima propõe-se um novo método de ensino-aprendizagem de EDs na disciplina de Cálculo III, do curso de Engenharia Civil, turno noite, da PUC Minas no Barreiro. Essa alternativa metodológica no ensino de EDs parte da demonstração dos vastos usos de EDs nas diferentes áreas da Engenharia Civil. Para tanto, pesquisou-se a aplicação de EDs, na Engenharia Civil, de algumas situações-problema reais e significativos, tais como: Lei de Resfriamento/Aquecimento de Newton, fator água-cimento, concentração de misturas, deflexão de vigas, escoamento da água de reservatórios e flambagem.

As aulas de Cálculo III deixaram de ser puramente expositivas e teóricas e passaram a convergir a teoria e a prática. Parte das aulas eram destinadas ao ensino das teorias e técnicas relacionadas às equações diferenciais e a outra parte era exclusivamente orientada para o desenvolvimento de protótipos das situações-problemas acima mencionadas. Pretende-se, com isso, tornar as aulas mais agradáveis, contextualizadas e multidisciplinares ao permitir que os estudantes desenvolvam suas atividades práticas embasados naqueles conceitos teóricos bem desenvolvidos em sala de aula. Além disso, essa proposta metodológica objetiva aumentar a motivação dos discentes, fazendo com que eles tornem-se sujeitos ativos nas aulas e o professor um agente mediador educador desse processo.

Os discentes deveriam se organizar em grupos constituídos por quatro ou cinco pessoas e cada grupo deveria escolher e deveria desenvolver um protótipo que reproduzisse uma das situações-problemas reais. Para delas, desenvolveu-se um Roteiro de Estudos que tem como objetivo demonstrar a aplicabilidade prática das EDs. Os Roteiros de Estudos são estruturados

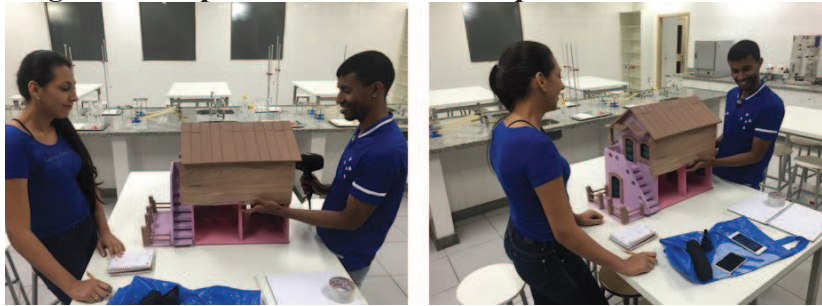
com textos explicativos e com perguntas de forma a instigar os estudantes a pesquisar mais sobre os assuntos, bem como os faz raciocinar sobre os fenômenos físicos e as variantes intermitentes ou não envolvidas em cada experimento.

Cada roteiro, que é entregue a um grupo, contém explicações teóricas iniciais do assunto abordado. É observado o fato de que a disciplina Cálculo III, na PUC Minas Barreiro, é lecionada no 4º período e muitos dos assuntos contidos nos roteiros são de disciplinas de períodos mais avançados. Portanto, a forma como os Roteiros de Estudos foram desenvolvidos visa introduzir os conceitos fundamentais dos assuntos abordados, auxiliando os estudantes, bem como despertar o interesse pelas disciplinas dos respectivos assuntos abordados. Além da parte teórica, cada Roteiro de Estudo é dividido em três partes, para demonstrar a aplicação das EDs através de três métodos distintos: resolução analítica das EDs, Método Experimental e Método Computacional.

Sendo assim, são vários os objetivos específicos deste trabalho; através do desenvolvimento da solução algébrica manualmente para a ED de cada protótipo, espera-se que os estudantes tenham assimilado os conceitos lecionados em sala de aula e sejam capazes de aplicar os conhecimentos matemáticos à engenharia, bem como “identificar, formular e resolver problemas de engenharia” (BRASIL, 2002, p. 1). No desenvolvimento e resolução das EDs, espera-se que os modelos sejam “uma boa representação da realidade” e que os mesmos enunciem “de maneira precisa os princípios que governam o sistema” (THOMAS, 2013, p. 3).

Pelo Método Experimental deseja-se estimular nos discentes a capacidade de “projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados e atuar em equipes multidisciplinares” (BRASIL, 2002, p. 1), uma vez que eles terão de desenvolver protótipos que representem as situações reais, de ocorrência nos respectivos assuntos tratados nos roteiros. Essa etapa permitirá que os estudantes concebam os projetos, desenvolvam e testem os protótipos, o que fará com que eles se deparem com desafios reais. As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, os grupos de estudantes fazendo os experimentos da Lei de Aquecimento de Newton e da deflexão de vigas.

Figura 1 - Experimento da Lei de Aquecimento de Newton



Fonte: Elaborados pelos Autores, 2016

Figura 2 - Experimento da deflexão de vigas



Fonte: Elaborados pelos Autores, 2016

Durante o desenvolvimento do protótipo os discentes contarão com as orientações e acompanhamento do professor e do monitor dessa disciplina, bem como tiverem o apoio de técnicos de laboratórios e outros professores das respectivas áreas dos protótipos. Como resultado dessa etapa, os alunos deverão confeccionar um relatório que deve conter todas as informações referentes ao desenvolvimento do protótipo e da realização da experiência relativa a ele, bem como a análise dos resultados obtidos. Por fim, cada grupo deverá determinar a equação que rege aquele experimento.

Após o término da parte experimental, os grupos darão início ao Método Computacional. Nesta fase do trabalho, serão utilizados softwares para obtenção das equações dos respectivos experimentos, tais como Excel e MATLAB, através do Simulink. O objetivo é estimular o uso de recursos computacionais e, sobretudo, desenvolver nos alunos a capacidade de interpretação de resultados obtidos de tais softwares.

Por fim, os grupos deverão comparar as equações obtidas em cada um dos métodos. Essa análise comparativa permitirá a verificação das semelhanças e diferenças existentes entre as equações obtidas, salvaguardadas as diferenças inerentes a cada método. Os estudantes, em grupos, também desenvolverão um relatório final no qual descreverão todo o processo, onde discutirão os resultados obtidos, dando ênfase nas diferenças e semelhanças verificadas nas equações encontradas por meio da utilização dos diferentes métodos. Baseado no relatório

escrito, cada grupo deverá realizar uma apresentação oral, para toda a classe, relatando todo o processo do trabalho realizado. Com isso, objetiva-se que os estudantes sejam capazes de “comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica” (BRASIL, 2002, p. 2).

Destaca-se, ainda, que durante as aulas e, sobretudo ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, os estudantes foram incentivados a desenvolverem hipertextos para auxiliá-los na melhor organização, visualização e elaboração do todo a ser feito ao longo do trabalho e posterior apresentação. Para Marcushi (2011, p. 83), o “escritor de um hipertexto produz uma série de previsões para ligações possíveis entre segmentos, que se tornam opções de escolha para os hipernavegadores”. Dias (2000) afirma que,

na rede hipertexto existem as unidades de informação, equivalentes aos nós, mas que no plano do hipertexto podem compreender grandes blocos de informação textual ou gráfica, e uma estrutura de ligação que se processa através de entidades próximas das dos arcos das redes semânticas e que suporta a flexibilidade do hipertexto. [...] No plano da aprendizagem o hipertexto promove o desenvolvimento da representação multidimensional e flexível dos conteúdos, orientada pelas perspectivas construtivistas da aprendizagem, da cognição situada e da flexibilidade cognitiva (DIAS, 2000, p. 149).

Dullius, Araujo e Veit (2011, 2011, p. 40) introduziram uma proposta metodológica semelhante, onde “partindo de situações-problema contextualizadas, às quais os alunos eram capazes de atribuir algum significado”, eles se concentravam “no comportamento das soluções das EDs, exploradas com um recurso computacional, para somente em etapa posterior apresentar as técnicas de obtenção da solução analítica”. Ademais, os autores buscarem “centrar o ensino no aluno e incentivar a interação aluno-professor-material-recursos, minimizando a exposição transmissiva do conhecimento” (DULLIUS, ARAUJO e VEIT, 2011, p. 40).

4 CONCLUSÃO

Por ser uma iniciativa inovadora no processo de ensino-aprendizagem de Cálculo III, na turma da noite, do curso de graduação em Engenharia Civil da PUC Minas no Barreiro, essa metodologia de ensino pretende quebrar paradigmas e contribuir para que os estudantes saiam de um modelo estático e automatizado e passem a desenvolver capacidades que vão muito além da memorização dos conteúdos. Ademais, no final da disciplina será aplicado um questionário através do qual pretende-se investigar os reflexos dessa proposta metodológica na visão dos estudantes.

Além disso, espera-se, ainda, promover a interdisciplinaridade entre a disciplina de

Cálculo III e demais disciplinas que envolvem os assuntos dos roteiros de estudo, demonstrando aos discentes a relevância dessas disciplinas e contribuindo para que através da motivação, da percepção da importância e da aplicação dos conceitos estudados na Engenharia Civil, eles melhorem seu desempenho e entendimento nas disciplinas envolvidas.

Por fim, espera-se que através dessa proposta metodológica, associada à forma como os Roteiros de Estudos foram organizados, o processo de ensino-aprendizado de EDs torne-se mais descomplicado e menos enfadonho e mecanizado, onde os estudantes passam a ser sujeitos ativos. Almeja-se, também, que a análise crítica, a organização, a proatividade e o entendimento do todo sejam habilidades desenvolvidas e/ou aprimoradas nos estudantes, possibilitando, assim, que os mesmos tenham um melhor desempenho acadêmicos e compreensão da relevância das EDs na Engenharia Civil para sua vida profissional.

REFERÊNCIAS

BERTOLOTTO, Rodrigo Ribeiro; CAMARGO, Rubens de Figueiredo. Equações diferenciais fracionárias em engenharia. In: PROCEEDING SERIES OF THE BRAZILIAN SOCIETY OF APPLIED AND COMPUTATIONAL MATHEMATICS. 2015.

Proceedings... Vitória: CMAC, v. 3, n. 2, p. 1-2, 2015.

BRAATHEN, Per Christian. Aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa no processo de ensino-aprendizagem de Química. **Revista Eixo**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 63-69, jan-jun. 2012. Disponível em: <

<http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/53/29>>. Acesso em: 29 out. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 abr. 2002. Seção 1, p. 32. Disponível em: <
<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2016.

CARNEIRO, Filipa; LEÃO, Celina P.; TEIXEIRA, Senhorita F. C. F. Teaching differential equations in different environments: a first approach. **Computer Applications in Engineering Education Journal**. Honolulu, v. 18, n. 3, p. 555-562, set. 2010.

DIAS, Paulo. Hipertexto, hipermedia e media do conhecimento: representação distribuída e aprendizagens flexíveis e colaborativas na Web. **Revista Portuguesa de Educação**, Braga, v. 13, n. 1, p. 141-167, 2000. Disponível em: <

<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/497/1/PauloDias.pdf>>. Acesso em 30 out. 2016.

DULLIUS, M. M.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ensino e Aprendizagem de Equações Diferenciais com Abordagem Gráfica, Numérica e Analítica: uma Experiência em Cursos de Engenharia. **Bolema**, v. 24, n. 38, p. 17-42, 2011.

DULLIUS, Maria Madalena; VEIT, Eliane Angela; ARAUJO, Ives Solano. Dificuldades dos alunos na aprendizagem de equações diferenciais ordinárias. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 207-208, jun. 2013.

FIGUEIREDO, Tiago Dziekaniak. O uso de equações diferenciais em estudos de engenharia: um discurso coletivo. **Revista Urutágua**, Maringá, n. 33, p. 50-57, dez. 2015 - maio 2016. Disponível em: <
<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Urutagua/article/viewFile/28799/16660>>. Acesso em: 29 out. 2016.

MARCUSCHI, Luiz Antônio. O hipertexto como um novo espaço de escrita em sala de aula. **Revista Linguagem e Ensino**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 79-111, 2011. Disponível em: <
<http://www.rsd.ucpel.tche.br/index.php/rle/article/view/263/229>>. Acesso em: 30 out. 2016.

MIOTTO, Carina Muniz; CARGNELUTTI, Jocelaine; MACHADO, Vinicio Mileski. Aplicações das equações diferenciais na modelagem Matemática da dilatação/contração térmica de cabos da rede elétrica. In: I Semana da Matemática da UTFPR –Perspectivas do Ensino e da Pesquisa em Matemática. **Anais...** Toledo, 18 a 22 de novembro de 2013

MORENO, Mar Moreno; AZCÁRATE, Carmen Giménez. Concepciones Y Creencias de los Profesores Universitarios de Matemáticas Acerca de la Enseñanza de las Ecuaciones Diferenciales. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 21, n. 2, p. 265-280, jan. 2003.

THOMAS, Lucas Rangel. **O uso de equações diferenciais na modelagem de sistemas naturais e outros**. 2013. 34f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Ciências Naturais, Universidade de Brasília. Brasília, 2013. Disponível em: <
http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4686/1/2013_LucasRangelThomas.pdf>. Acesso em 25 out. 2016.

COMPARAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE FADIGA STAIRCASE E OS CRITÉRIOS DE FALHA UTILIZADOS EM PROJETOS DE MÁQUINAS

Marília Mansur Ferreira de Resende Chaves*

Guilherme Celeghini Ferreira**

José Rubens Gonçalves Carneiro***

RESUMO

A vida total em fadiga é definida como o número de ciclos necessários para o aparecimento de trincas que se propaguem até um nível de macrotrinca. Modelos teóricos podem auxiliar engenheiros a definir o limite de resistência à fadiga em projetos de máquinas (Shigley e os critérios de Gerber, Sodeberg e Goodman). Diversos são os ensaios, métodos experimentais, que se propõem a definir o limite de resistência à fadiga e a vida de um material ou componente. O método Staircase, ou método da escada, é efetivo para a estimativa do limite de resistência à fadiga. O trabalho propôs a comparação entre o modelo teórico de Shigley e os resultados de um ensaio de fadiga pelo método Staircase aplicado em dois aços, ARBL 340 e ARBL 500; apresentados em outro trabalho. Os resultados apresentaram erros entre -1,9% e 26,8%, para o ARBL 340, e de -1,4% a 19,7%, para o ARBL 500; nos valores de limite de resistência à fadiga. Mostrou-se a validade da metodologia teórica ao comportamento à fadiga que pode ser atribuído às características microestruturais dos materiais.

Palavras-chave: Fadiga. Gerber. Método Staircase. ARBL 340. ARBL 500.

ABSTRACT

The total fatigue life is defined as the number of cycles required for the advent of cracks due to fatigue and number of cycles needed so that they propagate to a level of macrocrack. There are several experimental methods that propose to define the fatigue endurance limit and the life of a material or component. There are several experimental methods that propose to define the tensile strength and fatigue life of a material or component. The Staircase method is effective for estimating the fatigue endurance limit. Theoretical models as presented by Shigley and the

* PUC Minas, marilia.chaves@sga.pucminas.br

** PUC Minas, guilherme.celeghini@gmail.com

*** PUC Minas, joserub@pucminas.br

criteria of Gerber, Sodeberg and Goodman, can also help engineers to define the endurance limit in machine design. The study proposed the comparison between Shigley's theoretical model and the results of a Staircase fatigue test applied in both steels, HSLA 340 and HSLA 500; presented in other paper. Results showed errors between -1.9% and 26.8% for HSLA 340 and -1.4% to 19.7% for HSLA 500; for the fatigue endurance limit values. It was shown a validity of the theoretical methodology and behavior to fatigue that could be attributed to microstructural characteristics of materials.

Keywords: Fatigue. Gerber. Staircase method. HSLA 340. HSLA 500.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Suresh (1998), as falhas advindas da fadiga ocorrem ao longo de diferentes estágios, nos quais defeitos podem surgir em regiões sem falhas e se propagar dentro do material até o colapso do mesmo. Os principais modelos de falha geralmente se diferem na forma como a trinca é formada e se propaga, sendo essas afetadas por vários parâmetros. A definição do modelo de início de trinca é ampla, porém, fundamental no processo de predição da vida útil dos materiais. A vida total em fadiga é definida como o número de ciclos necessários para o aparecimento de trincas devido à fadiga e, também, o número de ciclos para que estas se propaguem até um nível de macrotrinca ou fratura catastrófica.

2 MÉTODOS DE ANÁLISE DE FADIGA

Atualmente existem duas frentes distintas para se abordar a fadiga: abordagem da vida total e a abordagem da tolerância ao defeito. Nesta, assume-se que todos os materiais de engenharia possuem falhas inerentes e realizam-se testes não destrutivos para medir tais falhas e definir quantos ciclos são necessários para que atinjam proporções críticas. Esta técnica, intrinsecamente conservativa, é muito aplicada em situações nas quais a falha de componentes pode resultar na perda de vidas; como é o caso das indústrias aeronáutica e nuclear.

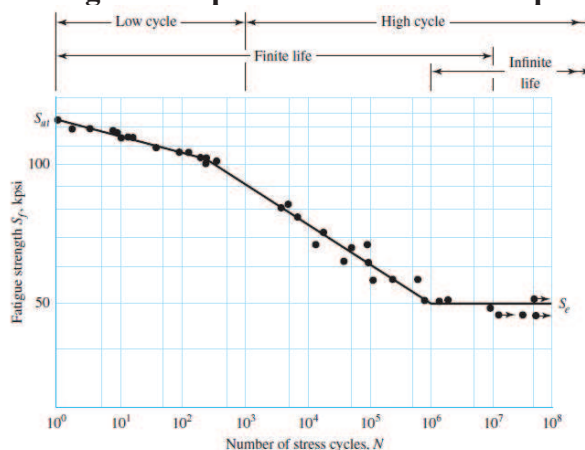
A abordagem pela vida total em fadiga visa à obtenção de um número de ciclos (vida em fadiga) em função dos níveis de tensão. Neste método, testes em laboratórios são conduzidos buscando o número de ciclos de tensão ou deformação necessários para causar falha por fadiga em materiais livres de falha, controlando-se a amplitude dos ciclos.

O dimensionamento da vida útil de componentes, segundo Freitas (2010), pode ser

basicamente feito em três métodos: fadiga controlada por tensão ou método S-N, conforme Figura 1, por deformação (método ϵ -N), e pela mecânica da fratura linear elástica (MFLE). O método a ser considerado dependerá de fatores como as propriedades do material, tipos de carregamentos, geometria do componente e custo/benefício.

Dentro do universo dos projetos de máquinas, o engenheiro busca eliminar quaisquer possibilidades de falha, para isso torna-se necessário um bom conhecimento do limite de resistência à fadiga (σ_e) dos materiais, uma vez que a partir deste ponto os equipamentos passam a ter uma vida de serviço considerada infinita.

Figura 1 – Curva S-N gerada a partir de reversões completas de tensão axial

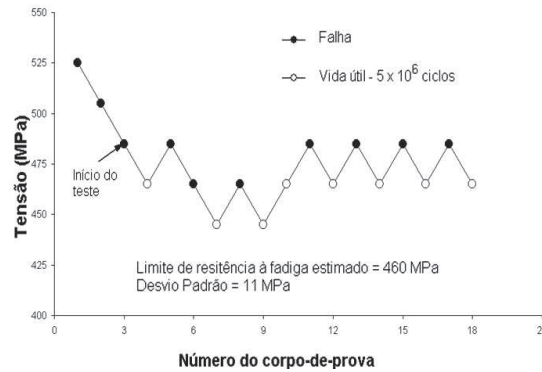


Fonte: (SHIGLEY, MISCHKE E BUDYNAS, 2004).

Desta forma vê-se a importância da definição desse ponto para a engenharia. Diversos são os métodos experimentais que se propõem definir esse valor, conforme Wallin (2011). O método Staircase, ou método da escada, é efetivo para essa estimativa. Gasto relativamente baixo de corpos de prova, tempo reduzido de realização, permissão de uma análise de variância e confiabilidade de resultados; são fatores que justificam a aplicação do método.

O método Staircase consiste em um teste para a determinação da resistência à fadiga média e seu desvio padrão, para uma vida em fadiga específica. Um número mínimo de corpos de prova deve ser testado em um número fixo de ciclos, em uma determinada frequência, observando-se a ocorrência, ou não, de falha. No caso da ocorrência da mesma, até que se atinja o número de ciclos fixado, um novo corpo de prova é testado sob uma tensão menor que a aplicada no teste anterior. Analogamente, no caso da não ocorrência da falha, uma tensão maior é aplicada ao corpo de prova seguinte. Este processo é repetido sucessivamente até que se possua um resultado como o do gráfico da Figura 2, que apresente a tendência de uma vida média de falha.

Figura 2 – Método de avaliação da vida à fadiga Staircase: para determinar a resistência à fadiga média em 5×10^6 ciclos para o aço 4340



Fonte: (COLLINS, 1993)

Por mais que o método Staircase seja rápido no cotidiano do engenheiro por vezes, não se dispõe de tempo ou recursos necessários para realização de testes experimentais. Devido a essa demanda, equações foram desenvolvidas para se definir a vida em fadiga dos materiais em função de dados obtidos através de ensaios simples, como o ensaio de tração.

Suresh (1998) e Shigley, Mischke e Budynas (2004) apresentam três critérios de falha. Os mesmos podem ser utilizados para definir de forma simples se o material falhará ou não. Os critérios de Gerber (Eq.1), Goodman (Eq.2) e Soderberg (Eq.3) são apresentados abaixo em forma equacionada.

$$\sigma_a = \sigma_s \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

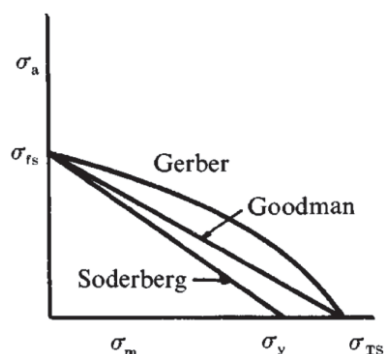
$$\sigma_a = \sigma_s \left\{ 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right\} \quad (2)$$

$$\sigma_a = \sigma_s \left\{ 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{esc}} \right\} \quad (3)$$

onde σ_u , σ_{esc} , σ_m e σ_a são a tensão limite de resistência, de escoamento, média e de fadiga do material; respectivamente.

A partir dessas equações, gerou-se o gráfico presente na Figura 3 que pode ser utilizado de forma direta para conferir se ocorrerá ou não a falha.

Figura 3 – Curvas de vida constante para carregamento com média não zero



Fonte: SURESH, 1998

Como esses critérios são utilizados por engenheiros para a construção de máquinas, viu-se a necessidade de verificar a validade dos mesmos. Desta forma, o trabalho visou a comparação dos três critérios utilizando dados experimentais obtidos em máquina de fadiga, marca Instron, conforme trabalho de Silva et.al, 2016.

3 AÇOS DE BAIXA LIGA E ALTA RESISTÊNCIA

Os aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga), ou ainda, HSLA (High Strength and Low Alloy) são aços estruturais de baixo carbono e baixa liga contendo elementos, tais como Nb, Ti e V, que formam carbonetos e nitretos, que elevam a temperatura de recristalização e reduzem tamanho de grão; o que aumenta a resistência mecânica, tenacidade e resistência à fadiga (Sodré (2008)). Estes aços têm emprego na indústria automotiva, naval e de transporte de gás e óleo (Silva et al. (2016) , Santos et al. (2015)).

O aumento da resistência mecânica e a presença de outras propriedades como; boa ductilidade e tenacidade; são atribuídas a características microestruturais como refino de grão, presença de mais de uma fase e de precipitados. A redução do tamanho de grão e a presença de alguns tipos de microestruturas (fases) contribuem para a tenacidade do material. A mesma pode ser definida como a capacidade de absorver energia mecânica sem que ocorra a ruptura e é uma característica associada à resistência à fadiga do material. Em outras palavras, materiais com refino de grão tendem a apresentar um bom comportamento com relação à fadiga. A tenacidade e a resistência à fadiga podem ser relacionadas pelo fato de a primeira propriedade envolver características relacionadas à propagação do defeito (trinca) e, a segunda, envolver características quanto à formação e à propagação desses defeitos; como explicado por Sodré (2008).

4 METODOLOGIA E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Visando averiguar a assertividade do método utilizado para o cálculo do limite de resistência à fadiga, quando dados experimentais não são disponíveis, o trabalho iniciou-se com a pesquisa por um trabalho que definia tal valor através de meios experimentais. Conforme apresentado na introdução deste artigo, as pesquisas focaram em trabalhos que utilizaram a metodologia Staircase, já que este é um meio mais assertivo de definir o limite de fadiga. Após pesquisas, optou-se por tomar como base a publicação de Silva et al. (2016), devido a densidade de informações e atualidade do trabalho. Neste trabalho o limite de resistência para os aços ARBL 340 e ARBL 500 são obtidos via ensaios Staircase, seguindo a norma ISSO 12107: 2003. Uma vez com um referencial experimental em mãos, iniciou-se o processo de cálculo analítico do limite de resistência à fadiga teórico, σ'_e , para ambos os aços.

Utilizando a metodologia apresentada por Shigley, Mischke e Budynas (2014), a única propriedade que se requer para calcular o limite de fadiga é o limite de resistência do material, isso para um carregamento completamente reverso, *i.e.*, com a tensão média igual a zero. Com isso, a equação 4 foi utilizada para definir o limite de fadiga teórico dos materiais.

$$\sigma'_e = \sigma_u * 0,5 \quad (4)$$

Apesar de no artigo de referência os autores terem publicado a tensão de escoamento e limite de resistência do material, como se visava comparar um resultado completamente teórico, optou-se por se basear em valores obtidos de bancos de dados. Obteve-se, então, pela tabela de propriedades mecânicas dos aços ARBL, apresentada por Silva et al. (2016) o valor da tensão última para os aços e realizou-se o cálculo analítico para determinar o limite de fadiga teórico de ambos os materiais.

De posse dos resultados teóricos, voltou-se ao artigo de Silva et al. e avançou-se para uma fase de análise dos dados experimentais. Apesar de os autores apresentarem um resultado de limite de tensão em seu trabalho, esse era baseado na tensão máxima do ensaio. Buscando um valor que pudesse ser diretamente comparado com outros valores, optou-se por tratar os dados obtidos do ensaio e gerar um novo valor de limite de fadiga, fundamentado apenas na amplitude de fadiga. Assim, os dados foram tratados e chegou-se ao valor do limite de fadiga para uma razão de tensões, R , igual a 0,1. Embora o novo limite de fadiga pudesse ser

diretamente comparado com outros experimentos com um mesmo R , usualmente se trabalha com dados de fadiga para um R igual a $-1,0$, *i.e.*, ciclos de tensão completamente reversos. Com isso, tornou-se necessário normalizar os resultados em função da tensão média zero e para isso utilizou-se a equação de Gerber, conforme equação 1. Desta forma, os valores de limite de resistência de fadiga foram corrigidos para uma tensão média igual a zero.

Com o cálculo dos limites teóricos e experimentais, tornou-se possível comparar os valores de ambos. Os erros dos limites teóricos foram calculados baseados nos limites experimentais com $R=-1,0$, conforme a equação 5.

$$erro\% = \frac{\sigma_e' - \sigma_e}{\sigma_e} * 100 \quad 5)$$

Onde o erro é dado em porcentagem, σ_e' é o limite de fadiga teórico e σ_e o limite de fadiga experimental. Todos os resultados obtidos ao longo do trabalho desenvolvido, como a comparação dos dados e análise dos mesmos, são apresentados no próximo tópico.

Para que a comparação entre os resultados teóricos e experimentais fosse realizada, a primeira medida a se tomar foi o cálculo do limite de fadiga para ambos os materiais. Em uma situação de projeto de engenharia utilizar-se-ia apenas o menor valor da tensão referente ao limite de resistência, porém como o objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação, o cálculo do limite de fadiga teórico foi realizado com os valores do limite de resistência mínimos e máximos preconizados por norma, além do valor real obtido via ensaio de tração. O resultado, dos limites de fadiga teóricos, é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Limite de resistência a fadiga teórico, σ_e'

Tensão última σ_u	ARBL 340	ARBL 500
	(MPa)	(MPa)
Mínima por norma	205,0	280,0
Máxima por norma	265,0	340,0
Experimental	240,5	302,0

Fonte: Elaborado pelos autores

Com o valor do limite de fadiga teórico definido, voltou-se aos dados de Silva et al. (2016) e realizou-se um tratamento nesses, até chegar-se ao valor da tensão de fadiga experimental, σ_e , conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Limite de resistência a fadiga experimental, σ_e

R	ARBL 340	ARBL 500
	(MPa)	(MPa)
0,1	170,6	225,2
-1,0	209,1	284,1

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos dados de ambas as tabelas apresentadas, foi possível calcular o erro equivalente a cada um dos limites de fadiga teórico. Desta forma, gerou-se a Tabela 3.

Tabela 3 – Erro resistência a fadiga teórico em relação a experimental

Tensão última σ_u	ARBL 340	ARBL 500
	(MPa)	(MPa)
Mínima por norma	-1,9%	-1,4%
Máxima por norma	26,8%	19,7%
Experimental	15,0%	6,3%

Fonte: Elaborado pelos autores

Desta forma, mostra-se que o erro do limite de fadiga teórico em relação ao real atingiu erros que variaram de -1,9% a 26,8% para o aço ARBL 340 e de -1,4% a 19,7% para o ARBL 500. Tal erro pôde ser considerado baixo devido a forma simplista de aplicação. Ressalta-se que todos os resultados teóricos se encontraram dentro da faixa de 0,4 a 0,6, conforme preconizado pela teoria.

Quanto à questão norteadora desta pesquisa, depreende-se que a metodologia que prega que o limite de fadiga é próximo a 50% do valor da tensão última pode ser utilizada para nortear projetos de máquinas. Apesar de o erro apresentado pelo método atingiu valores que variaram de -1,4% a 26,8% percebe-se que; como a metodologia permite uma faixa de escolhas para o fator de ponderação, existe a possibilidade do valor do limite de fadiga ser menor do que o de projeto. Tal condição não pode ser permitida, já que isso levaria a falha do projeto.

Recomenda-se que após realização do projeto, o engenheiro realize ensaios experimentais visando uma validação do mesmo. A experimentação traz como desvantagem uma elevação no tempo e custo; contudo, custos de projeto podem ser abrandados com uma utilização mais assertiva do material, que possui alto valor agregado, e tem-se uma diminuição das incertezas que envolvem o cálculo.

Os limites de fadiga apresentaram uma tensão acima do escoamento dos materiais para a vida de ciclos testada. Pode-se atribuir estes resultados a características microestruturais dos

materiais, que apresentam como características o refino de grãos e a possibilidade de apresentar mais de uma fase na microestrutura; que podem ser características benéficas ao comportamento à fadiga. A verificação e estudo com relação à microestrutura do material ensaiado, através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) que permitiria investigar as fases e precipitados presentes na microestrutura, é uma sugestão para trabalhos futuros de modo a confirmar e justificar os resultados atingidos no presente trabalho.

4 CONCLUSÃO

Os estudos realizados e os resultados obtidos neste trabalho puderam concluir que:

- a) os limites de fadiga apresentaram uma tensão acima do escoamento dos materiais para a vida de ciclos testada;
- b) os resultados teóricos se encontraram dentro da faixa de 0,4 a 0,6, conforme preconizado pela teoria;
- c) o erro do limite de fadiga teórico em relação ao real atingiu erros que variaram de -1,9% a 26,8% para o aço ARBL 340 e de -1,4% a 19,7% para o ARBL 500;
- d) o erro apresentado pelo método atingiu valores que variaram de -1,4% a 26,8%;
- e) a metodologia permite uma faixa de escolhas para o fator de ponderação, existe a possibilidade do valor do limite de fadiga ser menor do que o de projeto.

REFERÊNCIAS

COLLINS, Jack A. **Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention**. 2. ed. New York: John Wiley & sons, 1993.

FREITAS, Wanderlei Ferreira de. **Avaliação das propriedades mecânicas e resistência à fadiga do aço AISI 4140 submetido a diferentes valores de temperatura de revenimento**. 2010. 91f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

SANTOS, Tiago F. A., TORRES, Edwar A., VILELA, José M. C.; ANDRADE, Margareth S.; COTA, André B., Caracterização microestrutural de aços baixo carbono por microscopia de força atômica. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, Caracas, v. 35, n. 1, p.118, 2015.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Mechanical engineering design**. 10. Ed. McGraw-Hill, 2014.

SILVA, Fabiano F.; Estudo comparativo dos materiais de baixa liga e alta resistência ARBL-340 e ARBL-500 usando o método de fadiga stair-case (método de escada). **Congresso SAE**.

2016

SODRÉ, Ricardo Tadeu M., **Avaliação da tenacidade à fratura e da resistência à fadiga de dois aços utilizados em eixos de carros torpedos**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais, 2008.

SURESH, Subra. **Fatigue of materials**. Cambridge University Press, 1998.

WALLIN, Kim R. W. Statistical uncertainty in the fatigue threshold staircase test method. **International journal of Fatigue**. v. 33, n. 3, p. 354 - 362, 2011.

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E FENDILHAMENTO DO PARAFUSO DE MADEIRA

Marina Emília Muniz Costa*

Túlio Pinheiro Duarte**

Nathália Mateus Fidelis***

Ayrton Hugo de Andrade e Santos****

RESUMO

Ao iniciar o estudo de qualquer estrutura, é recorrente a necessidade de efetuar ligações, que na maioria das vezes são feitas utilizando elementos diferentes (ex. madeira e aço, aço e solda, dentre outros). A opção por adotar diferentes materiais em um mesmo componente deve-se a necessidade dos projetistas em buscar sempre um meio mais eficiente de suportar as cargas aplicadas e a realidade dos produtos existentes no mercado. Ao analisar a madeira percebe-se a existência de uma variedade muito grande de ligações devido à facilidade de perfuração, corte e ajuste da forma. Estas ligações, no entanto, se dão geralmente por meio de pregos e parafusos (como porcas e arruelas) em aço, ou ainda com colas e entalhes. Na perspectiva de obter e analisar novos produtos e melhorar as ligações em estruturas de madeira, este artigo analisa por meio de ensaio de tração e cisalhamento, o comportamento de parafusos feito em madeira Parajú, em relação aos esforços de tração e cisalhamento.

Palavras-chave: Propriedades Mecânicas, Parafusos, Madeira, Ensaio de Tração, Ensaio de Cisalhamento.

ABSTRACT

When beginning the study of any structure, the need for performing links, which are mostly made out of different elements (e.g wood and steel, steel and solder, among others). The choice of adopting different materials in the same component is due to the constant draftsman's' need

* Graduanda, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, marinaemiliamcosta@gmail.com

** Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, tulio-p.duarte@outlook.com

*** Graduanda, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, nathaliamefidelis@gmail.com

**** Orientador, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, ayrtonhugo@pucminas.br

of seeking a more efficient way of supporting the loads and the reality of the availability of products in the market. After analysing wood, we can perceive the existence of a wide variety of links because of the ease of perforation, cut and form adjustments. These links, however, are mostly built with nails and screws(e.g nuts and washers) into steel, or even with pastes and notches. In the outlook of obtaining and analysing new products and improving links in wood structures, this article analyses, via tensile strength and shearing tests, the behaviour of nails made in Parajú wood, regarding to the traction and shear efforts.

Keywords: Mechanical properties, Screw, Wood, Tensile strength test, Shearing test.

1 INTRODUÇÃO

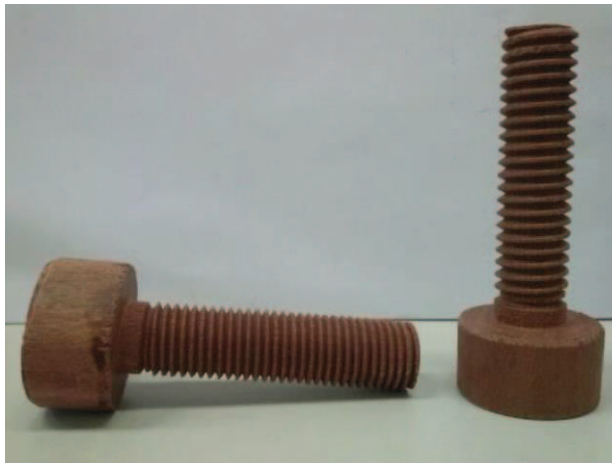
A madeira é um material de origem biológica, que possui variações nas características físicas, químicas e anatômicas ao ser analisada árvores da mesma espécie e dentro até da mesma árvore. (PFEIL, 2003 e BREYER, 1980).

A madeira é também um material renovável e sustentável, aplicando-se as devidas técnicas de plantio e colheita. Economizando energia no processo de formação da matéria bruta até o processamento.(CALIL JUNIOR, 2003)

Segundo Albuquerque (1980), ao se estudar a madeira como um material estrutura para construção, percebe-se que há diversas formas de conexões, tendo em vista a facilidade para perfuração e/ou corte desse elemento. Na maioria das vezes as ligações se dão por meio de adesivos, ou fixadores mecânicos (pregos e parafusos) fabricados, geralmente, em ligas metálicas.

Com a intenção de sugerir novos elementos ligantes, foram elaborados dois parafusos M20, com passo 2,5 e 3,0 mm e rosca triangular, confeccionados em madeira Parajú (ou Maçaranduba) que produzem madeiras pesadas, duras e de coloração castanho-avermelhadas.

Figura 1 - Parafusos confeccionados em madeira Parajú



Fonte: Elaborada pelos autores

Para que possa ser estudado futuramente seu uso em meios nocivos à materiais metálicos, como áreas molhadas, onde nesses locais é visível que as ligações feitas com elementos convencionais metálicos serão os pontos mais propícios a falha estrutural, devido a tendência corrosiva desses materiais, os parafusos foram submetidos a ensaios práticos, de tração e fendilhamento do parafuso, com o objetivo de analisar a resistência a tração e cisalhamento.

Em função do elemento de ligação estudado neste trabalho ser inovador, existem poucas referências publicadas no meio acadêmico, sendo as maiorias delas de acesso restrito em função de solicitações de patentes. Deste modo, o estudo da capacidade de carga destes elementos é um ponto relevante a ser estudado de modo a contribuir para a divulgação dos mesmos.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os equipamentos utilizados para os dois ensaios foram:

- a) Prensa Servo Controlada EMIC - 200 kN;
- b) Software Tesc para controle da prensa servo-controlada e obtenção dos dados de carga e deslocamento.

Para o ensaio de tração foi utilizado:

- a) Parafuso M20 em madeira Parajú, com passo de 2,5 mm e 30 filetes;
- b) Parafuso M20 em madeira Parajú, com passo de 3,0 mm e 20 filetes;
- c) Porca de aço, com passo interno de 2,5 mm e 5 filetes;
- d) Porca de alumínio, com passo interno de 3,5 mm e 5 filetes;

Para o ensaio de cisalhamento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Parafuso M20 em madeira Parajú, reaproveitado do ensaio de tração;
- b) Dispositivo tipo gaveta.

1.1. Ensaaios

1.1.1. Ensaio de tração

O ensaio de tração consiste em aplicar uma força axial em um corpo de prova, de modo gradativo levando-o até a ruptura

A tensão de fratura do material será dada pela equação 1, onde τ_{rup} é a tensão de ruptura, F_{ult} é força última e A_0 é área inicial do corpo de prova, na seção de análise.

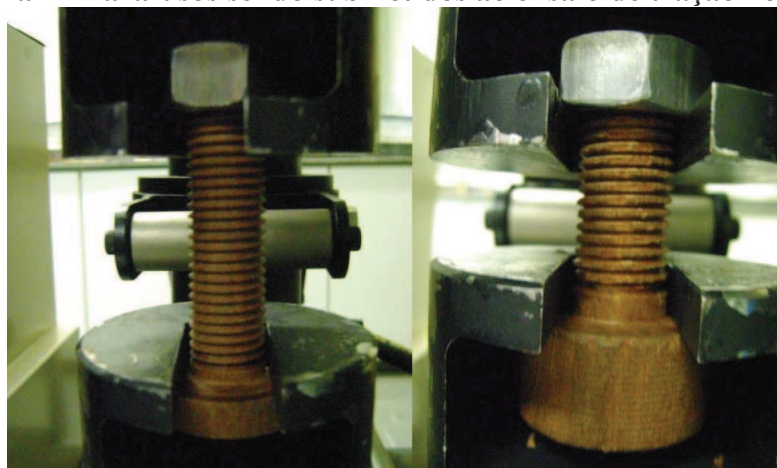
$$\tau_{rup} = \frac{F_{ult}}{A_0} \quad (1)$$

Onde, a carga final é obtida por meio do ensaio experimental e a área é retirada da equação 2, em que D_{int} é o diâmetro interno do parafuso.

$$A_0 = D_{int} \cdot \pi \cdot passo \quad (2)$$

O ensaio de tração foi executado com auxílio de da porca, com o mesmo passo, onde a cabeça do parafuso era engastada e a porca exercia uma carga de ruptura com aumento gradual, de 1N/s, em um conjunto de filetes, conforme Figura 2.

Figura 2 - Parafusos sendo submetidos ao ensaio de tração no filete



Fonte: Elaborada pelos autores

A figura 3, retrata o parafuso logo após o arrancamento dos filetes.

Figura 3 - Parafusos ensaiados

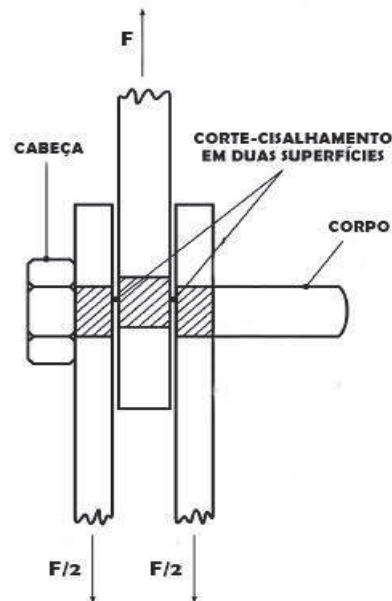


Fonte: Elaborada pelos autores

1.1.2. Ensaio de fendilhamento

O ensaio de cisalhamento duplo consiste em aplicar uma força uniaxial no meio de um corpo de prova, onde suas extremidades estão presas, fazendo com que haja uma tensão gerada pela força aplicada e uma reagindo a ela, em sentido oposto, como mostrado na figura 4.

Figura 4 - Cisalhamento duplo



Fonte: SANTOS, 2010

A tensão de cisalhamento do material é dada pela equação 3. Por se tratar de um cisalhamento duplo, divide-se a força em duas:

$$\tau_{cis} = \frac{(F_{ult} / 2)}{A_{cis}} \quad (3)$$

em que τ_{cis} = tensão de cisalhamento, F_{ult} = Força última e A_{cis} = área de cisalhamento

Onde, a carga final é obtida por meio do ensaio experimental e a área é retirada da equação 4.

$$A_{cis} = \frac{(D_{int}^2 \cdot \pi)}{4} \quad (4)$$

Na mesma máquina de ensaio, foi utilizado um dispositivo tipo gaveta, que transpassa o corpo do parafuso, ficando o mesmo sujeito ao cisalhamento, por conta de um outro dispositivo afixado na parte superior da prensa. Esse ensaio permite um cisalhamento duplo puro, que pode ser observado na figura 5, a fim de obter a resistência ao cisalhamento da madeira, quando submetidos a forças cortantes. O ensaio foi realizado com um incremento de 0,001N/s, na carga do equipamento, até a ruptura do material.

Figura 5 - Parafusos sendo submetidos ao ensaio fendilhamento



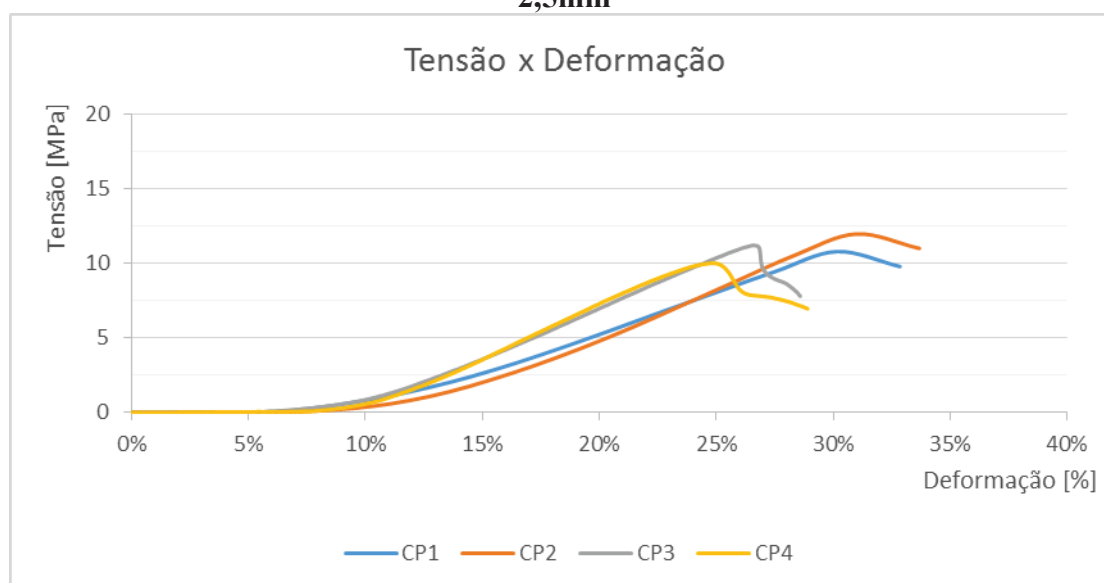
Fonte: Elaborada pelos autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dois ensaios, o gráfico descrito pelo programa, de carga por deslocamento, foi convertido para tensão por deslocamento onde pôde ser analisados pontos de interesse do material. Isso foi realizado para os dois ensaios.

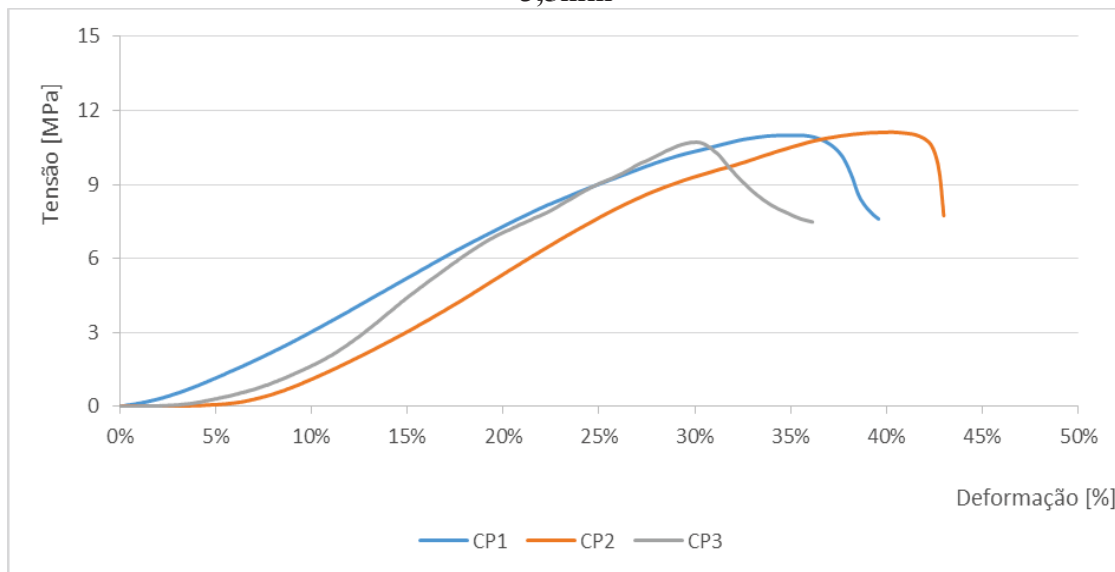
Os gráficos 1 e 2 apresentam a relação tensão e deformação para os ensaios de tração com passos 2,5 mm e 3,5 mm.

Gráfico 1 - Tensão x Deformação para o ensaio de tração, parafuso M20 com passo de 2,5mm



Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 2 - Tensão x Deformação para o ensaio de tração, parafuso M20 com passo de 3,5mm



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as tensões obtidas por filete.

Tabela 1 - Resultados experimentais para as cargas nos filetes da madeira, valores médios obtidos em 3 ensaios

Parafuso	Passo 2,5 mm	Passo 3,5 mm
Deformação média [%]	27,46	34,98
Carga por filete [kN]	1,22	2,17
Tensão por filete [MPa]	8,89	11,61

Fonte: Elaborado pelos autores

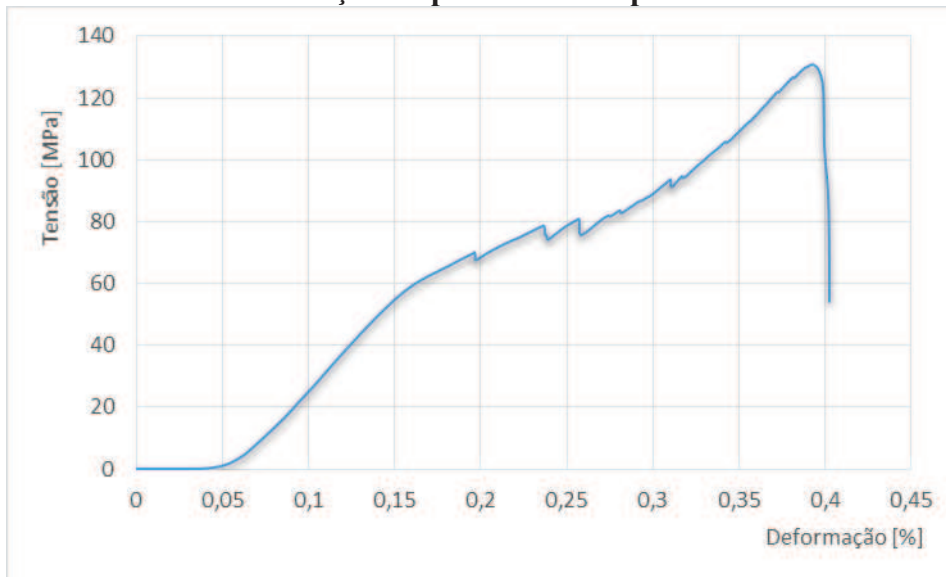
Para o parafuso de passo de 2,5mm observou-se que o valor da tensão por filete foi na ordem de $\sigma = 8,89$ MPa. Já para o parafuso de passo 3,5mm a tensão foi de $\sigma = 11,61$ MPa por filete. Esse aumento de resistência entre os dois passos pode ser atribuído a uma maior área de contato para o parafuso com passo de 3,5 mm

A curva tensão por deformação para o ensaio de cisalhamento está descrita representada no gráfico 3.

Através dos pontos de interesse, determinou-se que a tensão última para o cisalhamento é em torno de 130,38 MPa. Foi verificado que para um cisalhamento duplo, cujo passo indiferente para análise, a força exercida é dividida por dois, devido a área resistiva, que no caso são duas,

logo, temos que a tensão cisalhante do parafuso é de $\tau = 65,19$ MPa.

Gráfico 3 - Tensão x Deformação do parafuso M20 para o ensaio de cisalhamento



Fonte: Elaborado pelos autores

4 CONCLUSÃO

Esse trabalho analisou o comportamento, à tração e ao cisalhamento, de um parafuso confeccionado em madeira. Permitiu observar que a resistência à tração do parafuso de 2,5mm de passo foi 76,5% do valor do parafuso de 3,5 mm de passo, isso foi esperado devido a “espessura” do parafuso ser maior.

Com o ensaio de fendilhamento foi possível obter o valor da tensão cisalhante, o qual foi aplicada sobre duas seções transversais do elemento, apresentando uma capacidade resistiva de 65,19 MPa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação - PROPPG para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Olavo A. L. Pires. (1980) **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, pp. 485

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 6892, 2013, **Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura**

ambiente, pp. 1-70

BERTOLDI, E. **Análise de ensaios de tração em corpo de prova de aço SAE 1020.** 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 7190,1997 –
Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro.

BREYER, D. E. (1980). **Design of wood structures.** Ed. Mc Graw Hill Book Company.

CALIL JUNIOR, C.(2003) - **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira.**
Editora Manole.

PFEIL, W.(2003) **Estruturas de Madeira.** LTC Editora

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO COM USO DE ENERGIA SOLAR

Ana Cláudia de Melo Cunha*

Carlos Alexandre Costa e Costa**

Dr^a. Mara Nilza Estanislau Reis***

Nayara Stephanie da Silva Kischka****

RESUMO

O presente trabalho se trata de uma análise experimental de um sistema de refrigeração por absorção amônia-água de pressão total única, utilizando água aquecida oriunda de um sistema de captação de energia solar, comumente usado em residências. O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade do sistema proposto através da comparação com o sistema de aquecimento original (combustão de GLP), bem como verificar o impacto no sistema de aquecimento de água, como variação de temperatura. Notou-se que o sistema de aquecimento solar obteve as temperaturas esperadas para as condições ambientais presentes durante o estudo, porém a energia cedida ao refrigerador não foi suficiente para que pudesse provocar a evaporação da amônia e conseqüente refrigeração, ficando bem abaixo dos valores obtidos de estudos anteriores com a utilização de GLP como fonte térmica.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema de Refrigeração por Absorção. Coletor Solar Plano. Gás GLP. Coeficiente de Performance.

ABSTRACT

The present work is an experimental analysis of a cooling absorbing ammonia-water system by total unique pressure using heated water coming from a solar energy collection system, commonly used in homes. The aim of this study is to evaluate the feasibility of the proposed system by comparing with the original heating system (LPG combustion) and check the impact on the water heating system, such as temperature change or influence of the hot water flow to

* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, acmc1947@gmail.com

** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, cac.mec@gmail.com

*** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, nayara.kischka@gmail.com

**** Prof^a, Orientadora, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, mara.nilza@terra.com.br

circulates in the refrigerator. It was noted that the solar heating system achieved the expected yield, but the energy imparted to the refrigerator was not enough that could cause evaporation of ammonia and consequent cooling, staying well below the values obtained from previous studies with the use of LPG as thermal source.

Keywords: Solar Energy, Absorption Cooling System, Flat Plate Collector, LPG Gas, Coefficient of Performance.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas que operam com fonte de calor, o de absorção é o mais comum, por poder aproveitar a energia dissipada de outro processo e precisar de pouca ou nenhuma fonte de energia elétrica. Isso faz com que os sistemas solares sejam atrativos como fonte térmica, por serem limpos e renováveis.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

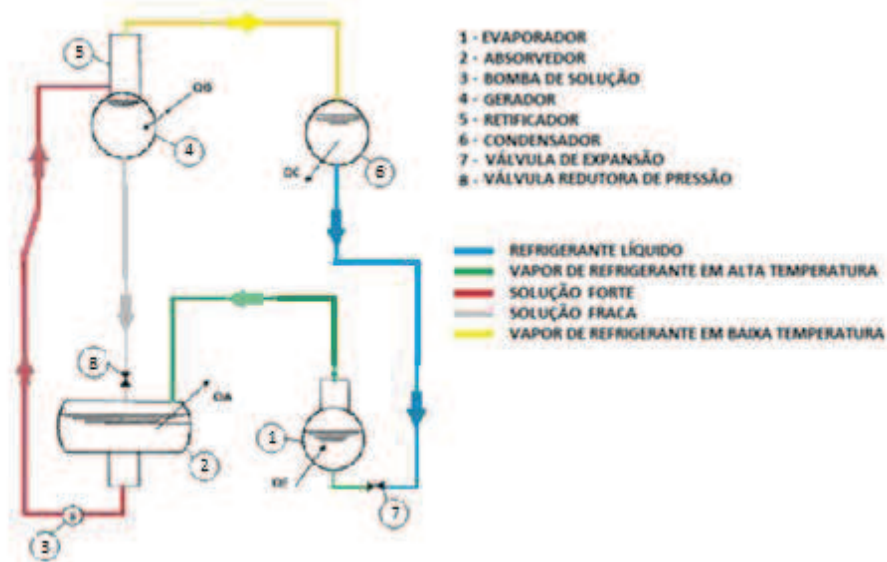
Srikhirin (2001) mostrou que para sistemas de refrigeração por absorção residenciais operando com o par amônia/água e hidrogênio, o Coeficiente de Performance (COP) pode variar entre 0,05 e 0,2, dependendo da taxa de absorção de calor. Devido a isso, o sistema de refrigeração por absorção se torna inviável quando é preciso “pagar” pela fonte térmica, porém se mostra extremamente oportuno sua utilização, quando você usa um sistema de aquecimento oriundo de algum processo já existente ou natural, como no caso da energia solar.

Baseado nisso, têm sido desenvolvidos estudos e protótipos relacionados com sistema de refrigeração por absorção que utilizam a mistura de água-Amônia (H_2O-NH_3) e o calor do sol como fonte de energia. Estes sistemas apresentam várias vantagens importantes, tais como um reduzido impacto ambiental e baixo ou nenhum consumo de energia elétrica.

2.1 Ciclo de Refrigeração por Absorção

O fluxograma de um sistema de refrigeração por absorção é mostrado na Fig. 1:

Figura 1 – Ciclo Básico de Um Sistema de Refrigeração Por Absorção



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

O vapor de refrigerante sai do evaporador (1) na forma de vapor superaquecido ou saturado, dependendo da quantidade de calor absorvida no interior da câmara refrigerada, até ser direcionado ao absorvedor (2). Lá o vapor de refrigerante irá se misturar ao líquido absorvente em um processo exotérmico. Devido a isso, o vaso absorvedor irá liberar energia na forma de calor, a qual poderá ser retirada mediante o uso de trocadores de calor aletados. Na saída do vaso absorvedor é onde se forma a solução rica.

A fim de garantir a pressão necessária para que haja condensação do vapor de refrigerante, a solução rica é bombeada, através da bomba da solução (3), para o gerador (4) onde será aquecida, fazendo com que o vapor de refrigerante se desprenda do absorvente, por ser mais volátil, indo em direção ao condensador (6). Assim a solução pobre em refrigerante, passa por uma válvula redutora de pressão (8), sendo direcionada ao vaso absorvedor (2).

A fim de evitar a presença de condensado do absorvente, o qual pode comprometer as temperaturas de funcionamento do sistema, geralmente é usado um retificador (5) entre o gerador e o condensador, permitindo assim que somente o vapor de refrigerante passe para o condensador, fazendo com que o condensado do absorvente seja encaminhado para o absorvedor, onde está a solução fraca.

Ao passar pelo condensador (6), esse irá trocar calor com o meio, podendo ser um

trocador de calor com aletas, ou ainda outro tipo que utilize um fluido de arrefecimento específico para o sistema. Uma vez no condensador, o vapor de refrigerante deve estar na pressão de vapor saturado, a fim de que a energia retirada do mesmo seja a necessária apenas pela mudança de fase.

O condensado de refrigerante irá passar pela válvula de expansão (7), onde seu volume irá aumentar, através da redução da pressão, reduzindo também sua temperatura. Nesse estado há uma mistura de refrigerante líquido e vapor na forma saturada. A medida que o refrigerante vai passando pelo evaporador (1), ele vai absorvendo o calor do meio frio, contribuindo para a mudança de fase do refrigerante líquido em vapor e permitindo que o ciclo recomece.

2.2 Sistema de Refrigeração por Absorção em Pressão Única

Analisando o ciclo do sistema de absorção é possível eliminar a necessidade de uma bomba de solução para o sistema através da inserção de um gás inerte na região de baixa pressão (CHAVES, 2009). Os modelos comerciais costumam utilizar hidrogênio contido entre a saída do condensador e o vaso absorvedor. Isso é possível, pois, o fato do hidrogênio ser um gás inerte, ele não se mistura com a solução rica presente no absorvedor bem como o condensado de amônia na saída do condensador, pois o líquido funciona como uma selagem do gás. Geralmente isso é conseguido mediante o uso de sifões. Esta selagem é imprescindível, uma vez que a presença do hidrogênio no gerador poderia fazer com que este alcançasse pressões elevadas ao ser aquecido, podendo ocorrer graves acidentes.

O hidrogênio é usado para promover a pressão necessária na mistura rica, a fim de que o vapor de refrigerante na saída do gerador, possa se condensar no condensador. Cabe ressaltar que a presença do hidrogênio não afeta a pressão de evaporação da amônia, devido a lei de Dalton, onde a pressão de um sistema de mistura homogênea, será igual a média das pressões parciais de cada substância. Este sistema foi utilizado em geladeiras comercializadas na década de 60 e 70 e é utilizado até os dias atuais em geladeiras de camping, geralmente movidas a GLP.

2.3 Sistema de Aquecimento Solar

Os coletores solares são dispositivos capazes de captar a radiação térmica proveniente do sol e transmiti-la para um fluido que escoar em seu interior. Os de placa plana, geralmente são os mais utilizados para aquecimento residencial.

Os coletores de placa plana são constituídos de uma caixa metálica tampada com um ou

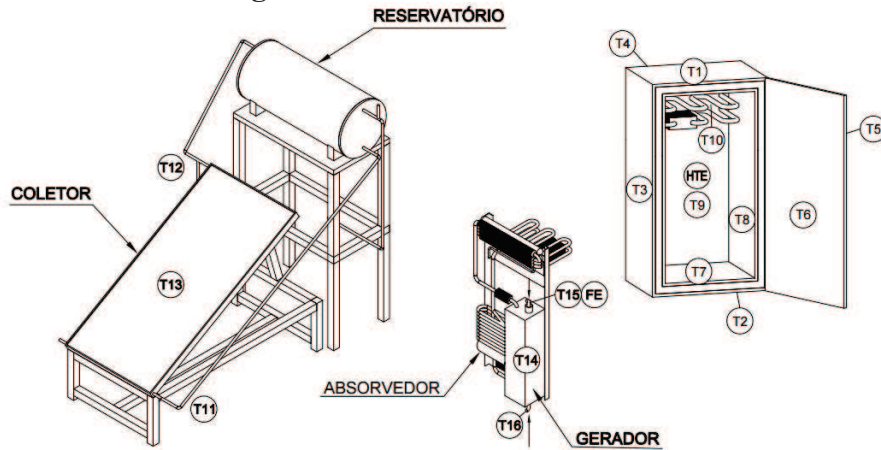
dois vidros e em seu interior temos as tubulações solidárias à placas metálicas, geralmente pintadas em preto fosco. Entre as placas e o fundo da caixa temos o isolamento térmico, geralmente lã de rocha.

A radiação solar térmica possui comprimento de onda curto, na faixa de 0,1 a 100 μm (INCROPERA et al., 2007). No caso dos coletores de placa plana, a radiação com comprimento de onda curto, irá incidir sobre o mesmo passando através do vidro e chegando a placa absorvedora. Ao atingir a placa absorvedora, a superfície pintada em preto irá converter aproximadamente 15% da radiação em energia térmica, refletindo assim o restante com comprimento de onda mais longo ($\lambda > 6\mu\text{m}$) (SHCUBERT, 1981). Porém o vidro possui a propriedade de ser transparente para a radiação com comprimentos de onda curtos (na faixa de $0,25 < \lambda < 6\mu\text{m}$) e opaco para comprimentos de onda maiores ($\lambda > 6\mu\text{m}$) (INCROPERA et al., 2007). Devido a isso, a radiação refletida pela placa absorvedora é refletida novamente pelo vidro, direcionando-a para a placa absorvedora mais uma vez (efeito estufa). Esse processo se repete até que toda a radiação que passou através do vidro seja convertida em energia térmica (SCHUBERT, 1981). Segundo Schubert (1981), em um coletor solar plano comum, cerca de 88% da radiação térmica é absorvida, quando os vidros possuem baixo teor de ferro. Os coletores de um vitral permitem obter temperaturas entre 343 e 353 K, podendo atingir até 373 K com dois vitrais (BEZERRA, 1982). Como as placas absorvedoras estão ligadas aos tubos, irá ocorrer uma transferência de calor por condução até o fluido de trabalho.

3 METODOLOGIA

Os equipamentos utilizados foram um refrigerador da marca Consul, modelo CQG22D, com capacidade nominal de 215 litros, 16 sensores de temperatura, um de temperatura e umidade relativa, um sensor de vazão, um coletor solar de placa plana com área de 2m², um boiler com capacidade nominal de 200 litros e um sistema de aquisição de dados. O posicionamento dos sensores é mostrado na Fig. 2:

Figura 2 - Posicionamento dos Sensores



Fonte: Elaborado pelos autores

Legenda: T1- Temperatura superior externa; T2 – Temperatura inferior externa; T3 – Temperatura lateral externa; T4 – Temperatura traseira externa; T5 – Temperatura da porta externa; T6 – Temperatura da porta interna; T7 – Temperatura inferior interna; T8 – Temperatura lateral interna; T9 – Temperatura traseira interna; T10 – Temperatura superior interna; T11 – Temperatura entrada do coletor; T12 – Temperatura saída do coletor; T13 – Temperatura do coletor; T14 – Temperatura superfície do gerador; T15 – Temperatura saída do gerador; T16 – Temperatura entrada gerador; HTE – Umidade e temperatura interna; FE – Vazão de água quente.

O calor cedido pelo sistema de água quente foi determinado pela Eq. 1:

$$\dot{Q}_{gerador} = \dot{m}_{H_2O} C_p (T_s - T_e) - \dot{Q}_{perdas} \tag{1}$$

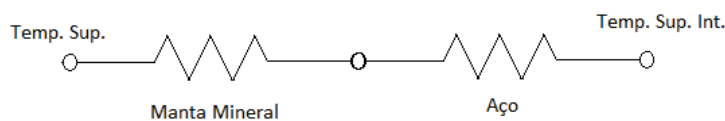
As perdas de calor no gerador do sistema de absorção bem como a carga térmica atuante na geladeira através de suas paredes, foram determinadas através da análise do circuito térmico equivalente, mostrado nas Fig. 3 e 4:

Figura 3 – Circuito térmico equivalente da carga térmica das paredes



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4 – Circuito térmico equivalente da perda de calor no gerador



Fonte: Elaborado pelos autores

Assim essas taxas de transferência de calor puderam ser determinadas através da Eq. 2:

$$\dot{Q} = \frac{T_{maior} - T_{menor}}{R_{equivalente}} \quad (2)$$

A energia interna do ar dentro do ambiente refrigerado foi determinada através de tabelas termodinâmicas, a partir da temperatura e umidade relativa interna. Para o cálculo de sua variação no tempo foi considerado o intervalo de medição de 1 minuto.

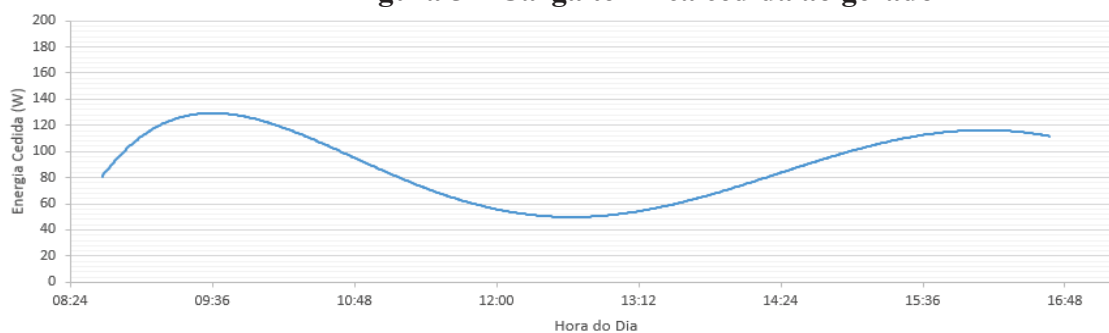
De posse destes dados e aplicando a primeira lei da termodinâmica, foi possível determinar o calor absorvido pelo evaporador através da Eq. 3:

$$\dot{Q}_{evaporador} = \dot{Q}_{carga\ térmica} - \frac{U_f - U_i}{\Delta t} \quad (3)$$

4 RESULTADOS PRELIMINARES

Os experimentos mostraram que o calor fornecido pela água quente foi baixo o suficiente a fim de não provocar a evaporação da amônia no sistema, conforme mostrado na Fig. 5:

Figura 5 – Carga térmica cedida ao gerador



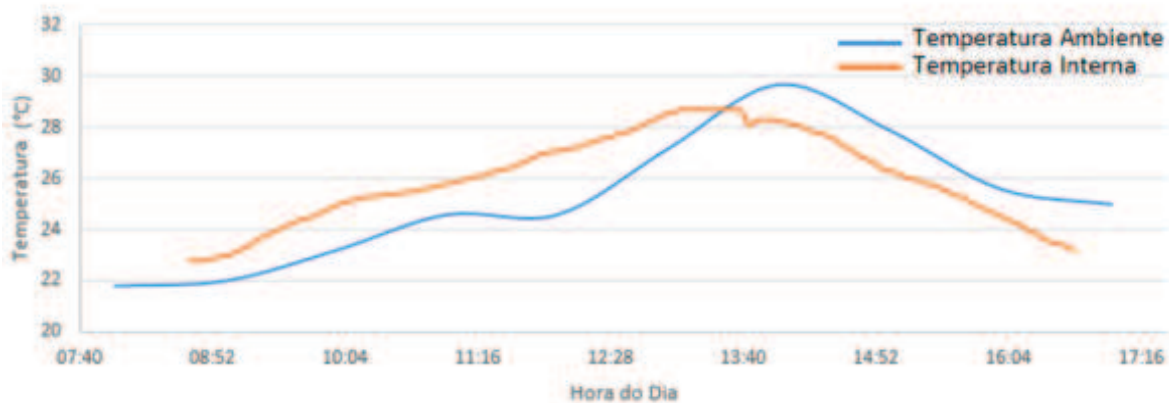
Fonte: Elaborado pelos autores

Sodré (2014) encontrou uma taxa de fornecimento de calor de 627W para uma taxa de

retirada de calor do refrigerador de 30W enquanto que Manzela (2005) encontrou 367W para uma taxa de resfriamento de 17W, como o sistema proposto possui a taxa de fornecimento de calor variável, atingindo um pico de 130W e média de 80W, o calor absorvido pelo evaporador foi próximo de 5W.

A pouca energia cedida ao sistema ocorreu devido a baixa temperatura da água no boiler (aproximadamente 38°C), sendo esta ocasionada pela baixa temperatura ambiente e chuva ao longo do dia, durante a coleta de dados. Devido a isso, a geladeira passou a absorver a carga térmica de radiação oriunda do sol, elevando a sua temperatura interna de acordo com a elevação da temperatura ambiente, conforme mostrado na Fig. 6:

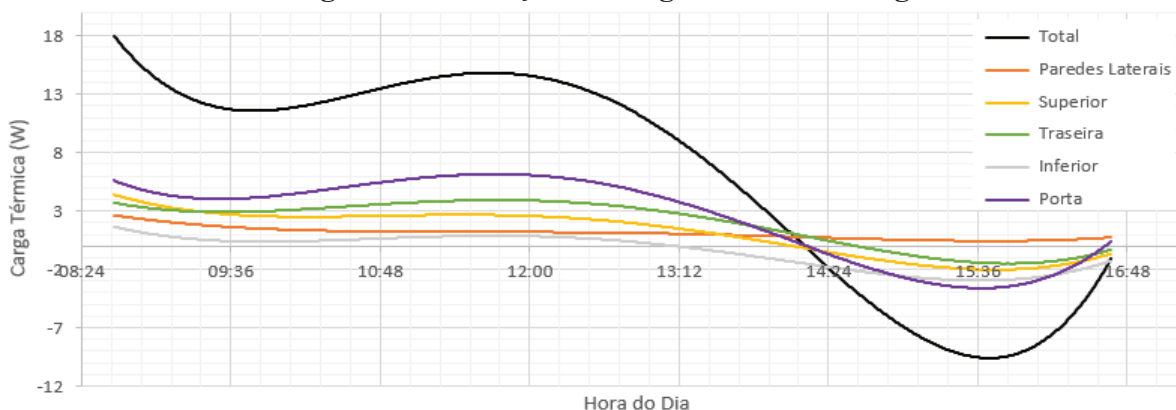
Figura 6 – Variação das temperaturas interna e ambiente ao longo do dia



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que o fato da geladeira está a uma temperatura superior a ambiente, a carga térmica de convecção transfere o calor de dentro do refrigerador para fora, porém a taxa líquida de transferência de calor passa a ser do ambiente para o refrigerador devido a radiação, ocasionando assim seu aquecimento. Isso pôde ser visto devido ao fato dos sensores estarem medindo a temperatura da superfície do refrigerador, sendo possível assim levar em consideração a carga térmica de convecção e radiação.

Conforme mostrado na Fig. 6, por volta das 13:40 horas as temperaturas se igualaram, tornando nula a transferência de calor. Logo após a temperatura ambiente começou a cair resfriando também a geladeira por convecção natural. A Fig. 7 mostra a variação da carga térmica durante o dia.

Figura 7 – Variação da carga térmica ao longo do dia

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se observar que por volta de 13:40 horas a carga térmica foi nula, conforme apresentado na Fig. 6 e que após este horário ela passou a ser negativa, ou seja, o calor estava sendo transferido do interior da geladeira para o ambiente. Isso ocorreu pois a partir deste horário a temperatura da superfície externa da geladeira ficou inferior a da superfície interna, promovendo assim a retirada de calor. Este fenômeno pode ter ocorrido devido a dois fatos, sendo eles, a redução da radiação térmica e a alteração da direção do vento, ficando este entre 30 e 60° ao norte, onde é a única direção que a geladeira não está protegida pelos taludes e muros da universidade, conforme dados retirados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Deve-se levar em conta que a forma de condução de calor da fonte térmica à solução rica é ineficiente quando se opera com líquidos, pois a transferência de calor se faz por convecção (fonte térmica para o tubo), condução (tubo da fonte térmica para o tubo da solução) e convecção (tubo da solução para a amônia). No caso da utilização da água quente, a resistência térmica oferecida pelos tubos e a solda entre eles, somada a baixa temperatura da água para esta aplicação não foi suficiente para que ocorresse uma transferência de calor considerável. Neste caso, um trocador do tipo casco tubo poderia aumentar a eficiência do sistema.

5 CONCLUSÃO

Com isso conclui-se que um sistema de aquecimento solar residencial não fornece energia suficiente para operar uma geladeira de absorção nas condições especificadas. O fato de ser utilizado um reservatório de 200 litros para um único coletor de 2m² faz com que a energia captada não seja suficiente para aquecer todo o volume de água a uma temperatura

superior a 40° com o tempo de insolação e temperatura medidos neste teste. Para o uso de água quente residencial o ideal é que a temperatura da água seja superior a 40° para que esta possa ser misturada com água fria, a fim de reduzir o consumo de água quente. Como no sistema proposto não houve consumo e a temperatura da água chegou no máximo a 38°C durante todo o estudo, percebe-se que, apesar de ser uma excelente temperatura para uso doméstico, o fato de utilizar somente a água quente, ou seja, não misturando com água fria, o consumo desta aumentaria, fazendo com que, provavelmente, em dias subsequentes com as mesmas condições ambientais, a água aquece cada vez menos devido ao seu reabastecimento com temperatura inferior.

Assim a utilização de um sistema de aquecimento exclusivo para a geladeira com reservatório de baixa capacidade não é atrativo, uma vez que hoje é possível encontrar refrigeradores por compressão de vapor que operam com energia solar fotovoltaica, sendo estes muito mais eficientes que o sistema de absorção (DOSSAT, 2007). Outros testes serão realizados com valores de temperatura ambiente e radiação solar maiores.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, A. M. **Energia solar**: aquecedores de água. Editora Itaipu, Curitiba – PR, 1982.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração**. 5. ed. 2007. São Paulo: Editora Hemus, 2007.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 7. Ed. Editora LTC, Rio de Janeiro – RJ, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados meteorológicos das estações automáticas**: MG, Belo Horizonte, Pampulha. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTUyMQ==>. Acesso em 05 nov. 2016.

MANZELA, André Aleixo. Estudo Experimental da Utilização dos Gases de Exaustão de um Motor de Combustão Interna como Fonte de Energia de um Sistema por Absorção. Tese (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2005.

SCHUBERT, Richard C. RYAN, L.D. **Fundamentals of solar heating**. Editora Prentice-Hall, Michigan University, Michigan – EUA, 1981.

SRIKHIRIN, Pongsid. APHORN RATANA, Satha. CHUNGPAIBULPATANA, Supachart. *A Review of Absorption Refrigeration Technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 5, n. 4, p. 343-372, 2001.

SODRE, José Ricardo, et al. Caracterização de um Refrigerador por Absorção de Vapor Água-Amônia. MERCOFRIO 2014 – 9º Congresso internacional de ar condicionado, refrigeração, aquecimento e ventilação. Porto Alegre, agosto de 2014.

SIMULAÇÃO DE UMA BANCADA DE TESTE PARA CONTROLE DE SUSPENSÃO AUTOMOTIVA

Tarcísio Flávio Umbelino Rêgo*

Saint Clair Duarte Moreira**

RESUMO

Neste artigo avaliou-se a simulação de uma bancada de controle de amortecimento de uma chapa que se encontra sustentada por quatro amortecedores de amortecimento variável. Essa bancada, permite aplicar um sistema para o controle de amortecimento de um sistema de suspensão de forma a permitir estudos dinâmicos da suspensão em diferentes condições de excitação de pista, e ainda definir controladores e estratégias diferentes que melhor se adaptem ao sistema.

Palavras-chave: Suspensão ativa. Controle de suspensão ativa.

ABSTRACT

In this article was evaluated the simulation of a test bench of damping control of a plate which is supported by four absorbers of variable damping. This stand allows to apply a system for controlling the damping of a suspension system so as to allow dynamic studies of the suspension in different track excitation conditions, and also define controllers and different strategies best suited to the system.

Keywords: Active suspension. Active suspension control.

1 DESENVOLVIMENTO MECÂNICO

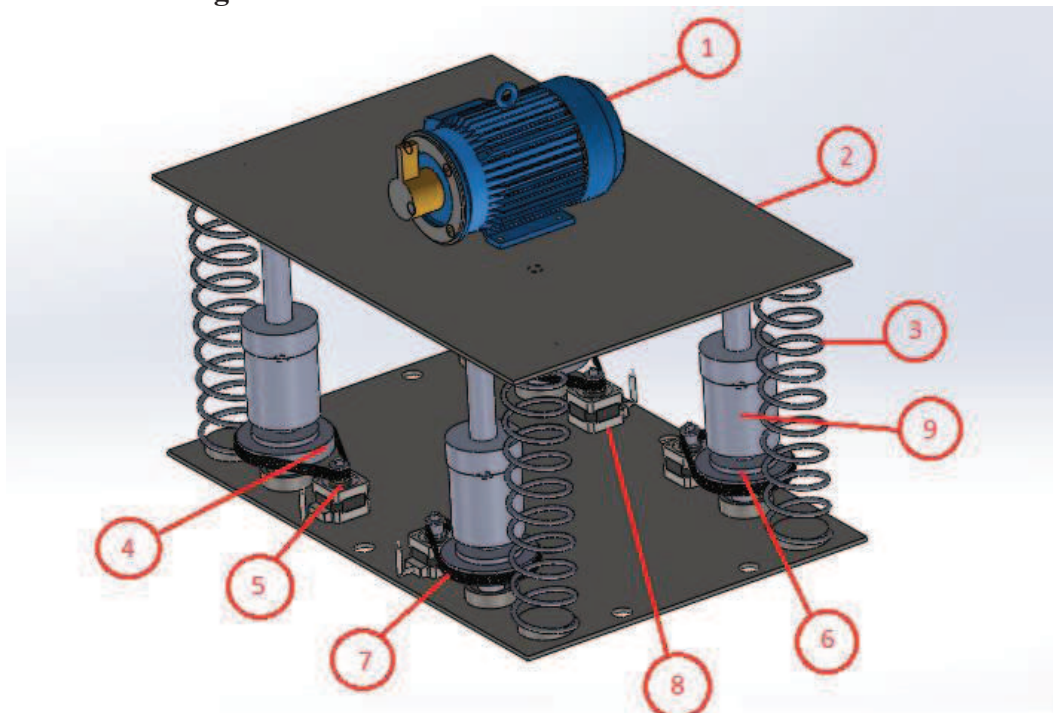
A bancada de testes projetada, deverá ser controlada por um sistema que permita extrair dados, tratá-los e posteriormente atuar sobre a bancada. Na figura 1, abaixo, está representado

* Aluno de graduação, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

** Professor, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

uma visão tridimensional da bancada de teste.

Figura 1 - Visão tridimensional da bancada de teste



Fonte: Desenho de Mateus Henrique e Tarcísio Flávio Umbelino Rêgo

Pode-se observar na tabela 1, que para a realização desse projeto foi necessário:

Tabela 1 – Especificação de materiais

Quantidade	Equipamento
1 unid.	Motor AC (WEG. Modelo W22 IR2, Blindado, Trifásico, Tensão de alimentação:220/380V, Corrente nominal: 1,87/1,08A; Potência: 0,5CV, Peso: 9Kg); [1]
1 unid.	Inversor de frequência; [Não está representado na figura]
2 unid.	Chapas; [2]
4 unid.	Molas; [3]
4 unid.	Polias; [4]
4 unid.	Anéis O’Ring (Entre tampa e eixo, Diâmetro interno: 25,07mm/Largura:2,62mm); [5]
4 unid.	Anéis O’Ring (Entre tampa e cilindro, Diâmetro interno:59,99mm/Largura:2,62mm); [6]
4 unid.	Rolamentos (Axial de esferas de escora simples 42x25x11mm); [7]
4 unid.	Motores de Passo (Nema 23 – 4,6 Kgf.cm / Corrente de fase: 1A / Grau de passo: 1,8 /Tensão de fase: 5V); [8]
1 unid.	Drive Controlador para Motor de Passo Nema 23 (Modelo HY-DIV268N – 5A); [Não está representado na figura]
4 unid.	Amortecedores Variáveis [9]

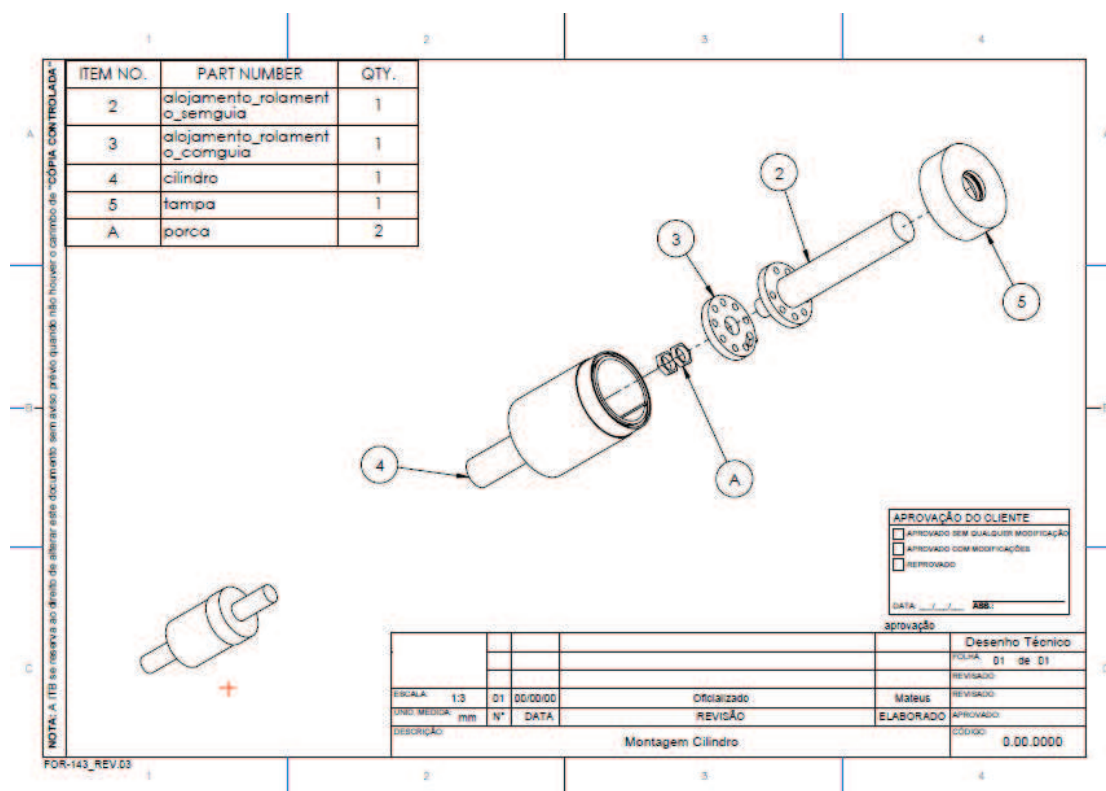
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para compreender um pouco mais a dinâmica mecânica do amortecedor variável, tem-se abaixo uma breve explicação sobre os equipamentos:

Amortecedor variável: Teve uma especificação minuciosa, pois o mesmo continha um ponto crítico no anel interior a carcaça. A parte externa do amortecedor foi projetada com Aço 1020, o anel interno do amortecedor exige um aço mais temperado, mais resistente as pressões internas da vedação, portanto foi necessário o Aço 1045. Abaixo, pode-se observar o desenho detalhado do amortecedor variável.

Na figura 2, tem-se a montagem detalhada do cilindro que faz parte da montagem do amortecedor variável.

Figura 2 – Visão macro da montagem do cilindro



Fonte: Desenho de Mateus Henrique e Tarcísio Flávio Umbelino Rêgo

Junto ao cilindro tem-se:

- A tampa, que é a base do amortecedor e terá em seu enrosque um anel o'ring para fixar o cilindro na chapa inferior.
- A rosca, apenas fixará o rolamento na tampa do cilindro.
- O rolamento sem guia e com guia, projeta-se com rosca 5/8" e furos distanciados em 40°. Essa especificação é de fundamental importância para fazer o controle de abertura

e fechamento do amortecedor, pois a polia que está conectada a base do cilindro também está conectada a um motor de passo que faz o cilindro girar.

2 ALGORITMO DE CONTROLE

O algoritmo a ser utilizado foi desenvolvido em MatLab com uma interface gráfica que permite simular sinais, tratá-los e verificar por meio de informações o que deve ser feito com a abertura dos amortecedores de modo a otimizar as vibrações na bancada. O algoritmo foi implementado e simulado apenas em ambiente virtual, pois não foi construída a bancada, mas o mesmo permite simular as entradas e saídas reais a que serão submetidas a bancada quando implementada.

Como dito anteriormente, para que fosse simulado um controle de vibração na bancada utilizamos um motor AC que irá simular as diferentes situações de vibração de um automóvel. O motor, que se encontra sobre uma chapa de aço é sustentado por quatro molas e quatro amortecedores, ambos fixados na chapa. Há também um acelerômetro, próximo ao motor captando seu sinal de vibração.

Para iniciar a simulação é enviado para o motor um pulso elétrico, ligando-o. O aumento ou redução da rotação do motor, faz com que a massa presa a seu eixo passe por diversas frequências de excitação, permitindo a variação da fonte de excitação e o estudo dirigido da resposta do sistema de controle.

No instante em que o acelerômetro identifica alguma vibração na chapa ele rapidamente extrai o sinal, que posteriormente é modulado por FFT e tratado por uma estratégia de controle.

Na estratégia, o sinal modulado é dividido em dois, por parâmetros definidos pelo operador, caso haja diferença nas magnitudes dos sinais de vibração os amortecedores irão abrir ou fechar. A relação é definida da seguinte maneira:

EA = Estrada de Asfalto

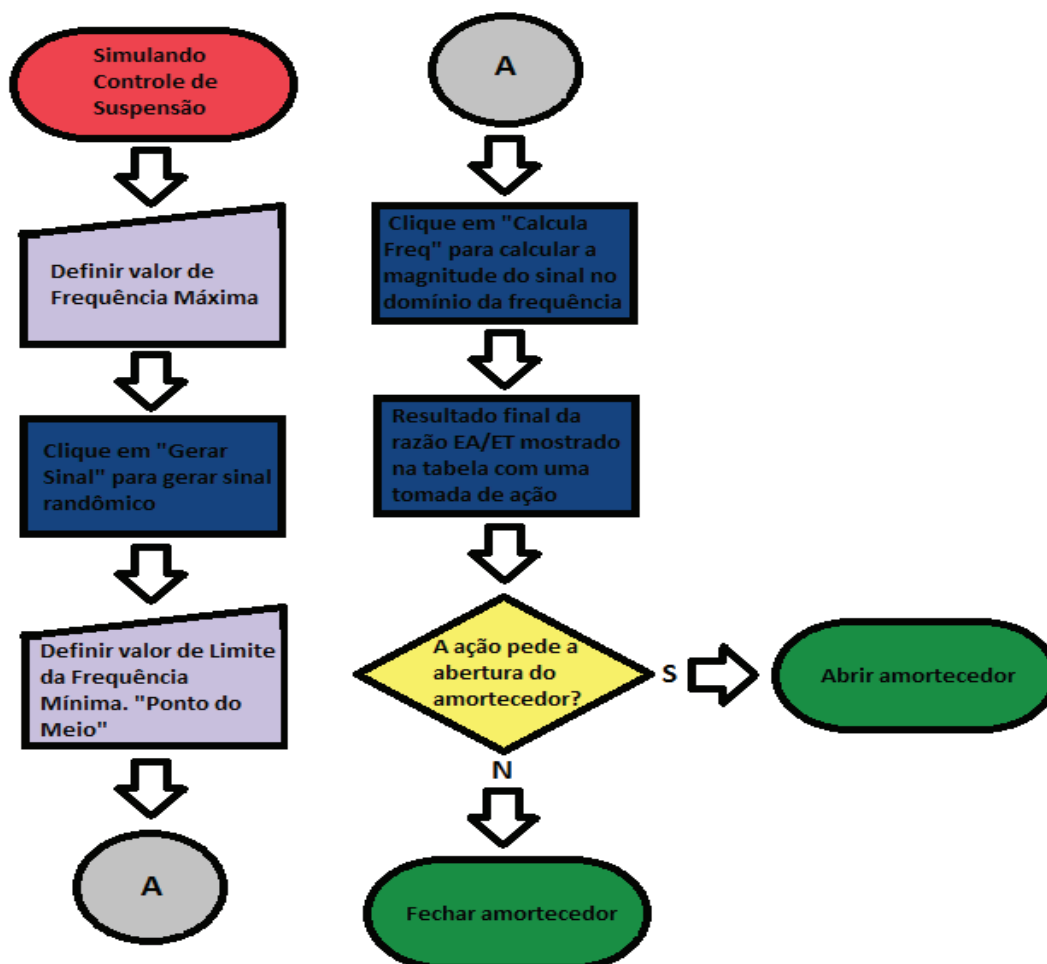
ET = Estrada de Terra

Tabela 2 - Explicação lógica da abertura/fechamento do amortecedor.

EA/ET > 1	Significa que o automóvel se encontra em estrada asfaltada. E o amortecedor deverá ter sua abertura variada dentro de uma faixa de 0 a 50%
EA/ET < 1	Significa que o automóvel se encontra em estrada de terra. E o amortecedor deverá ter sua abertura variada dentro de uma faixa de 50 a 100%
EA/ET = 1	Significa que o controle de suspensão do automóvel está equilibrado e sua abertura deve permanecer em 50%.

Fonte: Elaborado pelos autores

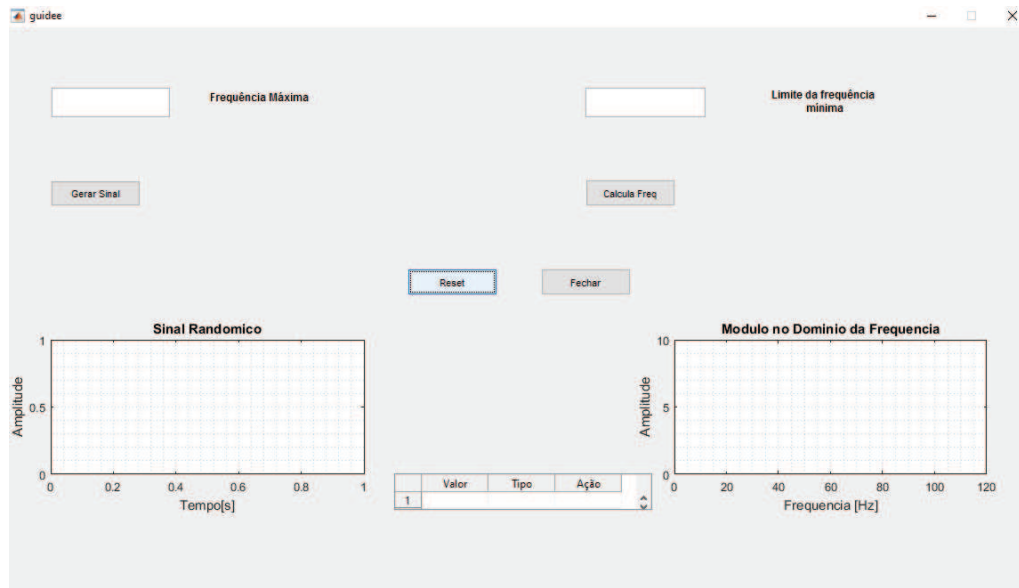
Na figura 3 abaixo, tem-se um fluxograma do simulador desenvolvido.

Figura 3 – Fluxograma do Simulador

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para deixar o simulador de controle de suspensão com um aspecto mais dinâmico e fácil de ser utilizado por um usuário, foi utilizada a ferramenta "GUIDE" do Matlab, que permite o desenvolvimento de uma interface mais amigável. Pode-se observar o layout do simulador na figura 4.

Figura 4 – Layout do Simulador de Controle de Suspensão



Fonte: Elaborado pelos autores.

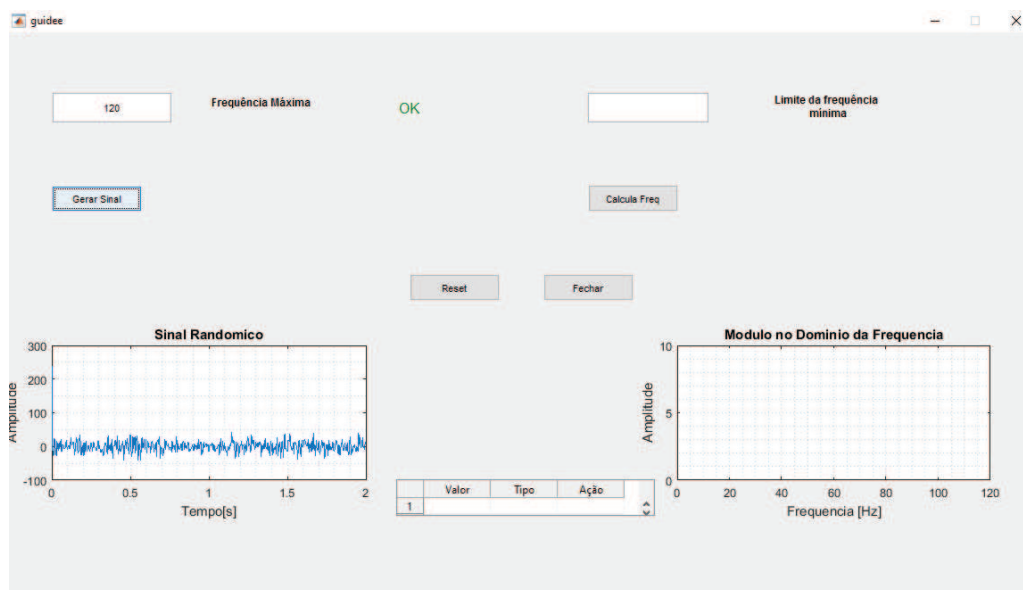
3 ANÁLISE DO PROGRAMA

Para executar o simulador é necessário que primeiramente definem-se os parâmetros de “Frequência Máxima” e “Limite da frequência mínima”. A Frequência Máxima irá definir a expansão do sinal no domínio da frequência. O Limite da frequência mínima divide esse sinal no domínio da frequência em dois, sendo o ponto de divisão o valor atribuído.

Exemplo 1:

1º Passo: Na figura 5, foi definido a Frequência Máxima = 120 e gerando sinal randômico clicando em “Gerar Sinal”.

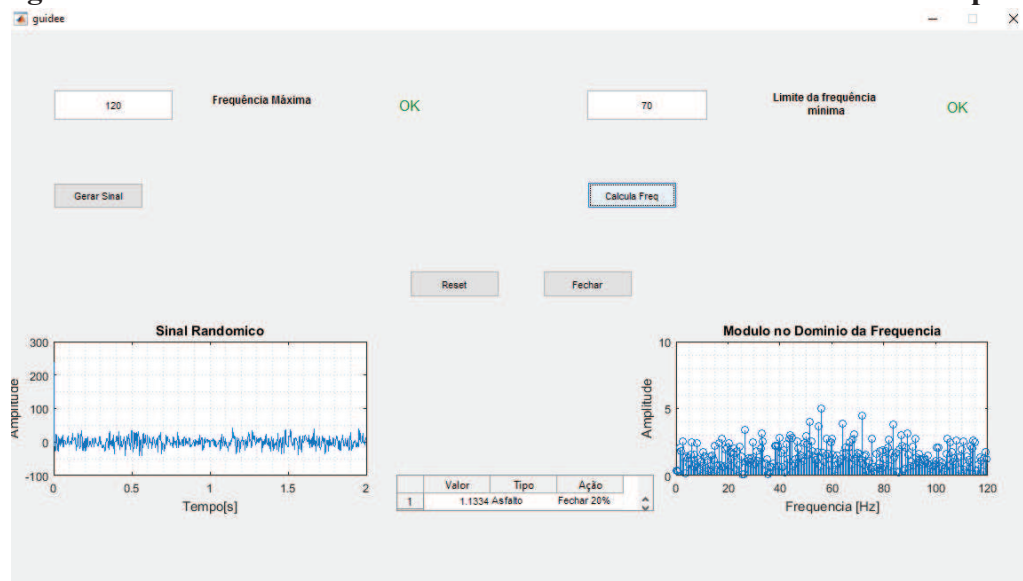
Figura 5 - Gerando sinal randômico no Exemplo 1.



Fonte: Elaborado pelos autores.

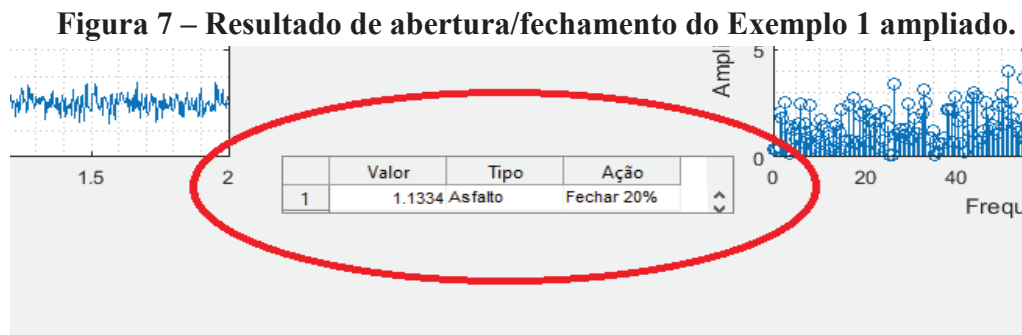
2º Passo: Na figura 6, definimos o Limite da frequência mínima = 70 e gerando o espectro de magnitude do sinal no domínio da frequência clicando em “Calcula Freq”. Tendo definido esses parâmetros e plotado seus respectivos gráficos a pequena tabela que se encontra no meio deles apresentará o “Valor” da razão EA/ET, o “Tipo” da estrada se é Asfalto ou Terra e completará com uma tomada de ação fechando ou abrindo o amortecedor em (0 – 100)%.

Figura 6 – Resultado de abertura/fechamento do amortecedor no Exemplo 1.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 7, observa-se mais ampliado o resultado do Exemplo 1:



Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, tem-se como resultado:

Valor = $EA/ET = 1,1334$;

Tipo = Estrada de Asfalto;

Ação = Fechar 20% do amortecedor;

Pela razão de EA/ET , é observado um valor de 1,1334. Pela estratégia lógica já apresentada sabe-se que se trata de uma estrada do tipo “asfalto”. A tomada de ação para essa solução buscando o equilíbrio do controle de suspensão foi de fechar 20% do amortecedor.

Obs: Esse exemplo por se tratar de um sinal randômico (simulando uma vibração) poderia ter como tomada de ação a abertura do amortecedor, caso sua razão EA/ET fosse menor que 1.

4 CONCLUSÃO

O amortecedor, hoje, é um dos principais equipamentos de estabilidade e conforto de um carro. Em geral, não possuem uma variação no seu coeficiente de amortecimento. Calcula-se um meio termo que atenda tanto estabilidade quanto o conforto.

Porém, atualmente, se observa diferentes necessidades para cada ambiente. Visando isso, tem-se que a simulação de uma bancada de testes para o controle de suspensão automotiva é bastante útil, uma vez que permite simular o amortecedor com novos coeficientes de amortecimento, extraindo a máxima eficiência para cada tipo de terreno.

Analisando de uma forma geral, pode-se concluir que o controle de um amortecedor variável é uma necessidade maior nos dias de hoje e abre novas possibilidades de pesquisas mais

profundas para futuras aplicações do mercado.

REFERÊNCIAS

LIU, D., CHEN H., JIANG R. Study of Ride Comfort of Active Suspension Based on Model Reference Neural Network Control System. Sixth International Conference on Natural Computation, S.l., v. 4, n. 10, p.1860-1864, Aug. 2010.

RÊGO, T. F. U. Validação de Metodologia de Otimização de Conforto em Simulador de Suspensão Veicular com Coeficiente de Amortecimento Variável, 2012. Dissertação (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

SUN, W.; GAO, H.; KAYNAK, O. Finite Frequency Control for Vehicle Active Suspension Systems. IEEE Control Systems Society , S.l., v. 19, n. 2, p. 530-537, Mar. 2011.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO ELETROQUÍMICA DE AÇO CARBONO ABNT 1020 REVESTIDO POR CARBETO DE CROMO E COBALTO (CrCCo) E CARBETO DE TUNGSTÊNIO E COBALTO (WCCo), APLICADOS PELO PROCESSO HVOF, EM SOLUÇÃO AQUOSA DE NaCl 3,5% m/m À TEMPERATURA AMBIENTE

Carlos Roberto de Araújo*

José Rubens Gonçalves Carneiro*

Fillipe Marçal**

Joice Flaviane Jamar***

RESUMO

Os revestimentos protetivos de carbeto de cromo e de tungstênio associados ao cobalto têm sido usados para aumentar a resistência ao desgaste e à corrosão eletroquímica de aço ao carbono. Os ensaios de corrosão foram realizados em meio corrosivo de solução de cloreto de sódio 3,5% g/L na condição não-aerada, seguindo os procedimentos descritos nas normas técnicas ASTM. As superfícies das amostras foram avaliadas por microscopia óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados experimentais demonstram que o revestimento com WCCo apresenta maior resistência à corrosão eletroquímica do que CrCCo; porém, comparadas ao aço carbono, verifica-se a redução da resistência à corrosão devido à formação de par galvânico entre o substrato e o revestimento HVOF.

Palavras-chave: Revestimento protetivo HVOF. Corrosão eletroquímica. Ensaios de corrosão.

ABSTRACT

The protective coatings of chromium carbide and tungsten associated with cobalt have been used to increase wear resistance and electrochemical corrosion of carbon steel. The corrosion tests were performed in a corrosive sodium chloride solution through 3,5% g/L in the non-aerated condition, following the procedures described in ASTM standards. The surfaces of the

* Professores do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas

** Engenheiro da Empresa Cascadura Industrial S/A

*** Aluna de Graduação do Departamento de Engenharia Metalúrgica da PUC Minas

samples were evaluated by light microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The experimental results demonstrate that the coating WCCo presents greater resistance to electrochemical corrosion than CrCCo; however, compared to carbon steel, there is a reduction in corrosion resistance due to galvanic couple formation between the substrate and the HVOF coating.

Keywords: Protective coating HVOF. Electrochemical corrosion. Corrosion tests.

1 INTRODUÇÃO

O processo de revestimento metálico por aspersão térmica está ficando cada vez mais conhecido e solicitado em grandes empresas no mercado, principalmente na área de manutenção de grandes equipamentos e componentes mecânicos, cuja parada pode causar prejuízos incalculáveis às empresas.

Um estudo superficial viabilizou a análise dos efeitos que as camadas de carbeto têm sobre o substrato, visando um aumento da vida útil frente à corrosão de componentes mecânicos com estes tipos revestimentos.

Este trabalho refere-se ao estudo comparativo das características de resistência à corrosão do aço carbono ABNT 1020 (substrato), sem revestimento, e após a aplicação dos revestimentos de carbeto de cromo e cobalto, e carbeto de tungstênio e cobalto através do processo de aspersão térmica hipersônica *High Velocity Oxy-Fuel Flame* (HVOF).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aspersão térmica consiste em um grupo de processos por meio dos quais se deposita, sobre uma superfície previamente preparada, camadas de materiais metálicos ou não metálicos em uma condição fundida ou semi fundida, formando assim um depósito aspergido (BRITO, 2010). De acordo com Brito (2010), para a aplicação da aspersão térmica é necessário que se tenha o material que será aplicado na superfície do componente, uma fonte de energia para fundir as partículas e transferir energia cinética e mais ainda um tipo de bico com ou sem vazão de gases sob pressão direcionando a aplicação.

O processo de aspersão térmica hipersônica, também conhecido como processo oxí-combustível de alta velocidade, ou chama de alta velocidade ou ainda HVOF, é um dos mais

modernos processos de aspersão térmica e tem como objetivo principal aumentar a energia cinética da chama obtendo resultados de uma camada de revestimento mais densa e consistente, menos porosa e mais aderente ao substrato, e conseqüentemente, mais resistente ao desgaste (ASPERSÃO..., 2016; HERMANEK, 2016).

Nos sistemas HVOF o combustível é queimado com oxigênio a alta pressão dentro de uma câmara de combustão, gerando um jato de exaustão de alta velocidade. Os gases de combustão fluem através de um bocal para fora da pistola a velocidades supersônicas. O pó é introduzido no bocal axialmente, em geral, e é aquecido e acelerado para fora do bocal (BRITO, 2010).

A corrosão eletroquímica é devida à atividade conjunta de inúmeráveis micropilhas de corrosão e implica na formação e movimento de íons na solução e na interface metal/eletrólito (GENTIL, 2011; WOLYNEC, 2003). Desta maneira, a relação existente entre perturbação do equilíbrio eletroquímico e a resposta do sistema em corrosão, pode ser medida com certo grau de sensibilidade mediante a aplicação de sinais elétricos, por um equipamento chamado potenciostato (TAIT, 1994). Conhecida a velocidade de corrosão (corrente de corrosão) e o comportamento frente à corrosão do material, pode-se estimar a durabilidade da superfície metálica e adotarem-se métodos de prevenção, proteção e controle adequados (JONES, 1996).

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As amostras de chapas de aço Associação Brasileiras de Normas Técnicas (ABNT 1020) foram adquiridas de uma empresa no mercado nacional, cortadas nas dimensões 150 x 150 x 80 mm, apresentando acabamento superficial regular e sem defeitos. No revestimento das chapas, as amostras foram fixadas em um tubo de aço inoxidável de diâmetro externo 250 mm para facilitar o processo de jateamento e aspersão hipersônica, garantindo uma camada mais regular, simulando o processo de aplicação em rolos. Após a aspersão térmica hipersônica, as espessuras dos filmes depositados foram medidas utilizando-se um medidor de camada, modelo Elcometer A456CFB-I 1.

A microscopia óptica foi utilizada nas investigações microestruturais das amostras. O ataque químico foi feito com solução de Nital 3% (3 mL HNO₃ + 97 mL Álcool Etilico), após o qual, as amostras foram analisadas ao microscópio óptico ZEISS, modelo Scope, com objetivas de aumento de 200x.

A composição química dos revestimentos depositados por HVOF foi determinada

através de (espectrometria de energia dispersiva (EDS) em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) marca JEOL, no Laboratório de Microscopia do Departamento de Engenharia Metalúrgica da PUC-MG, unidade Coração Eucarístico.

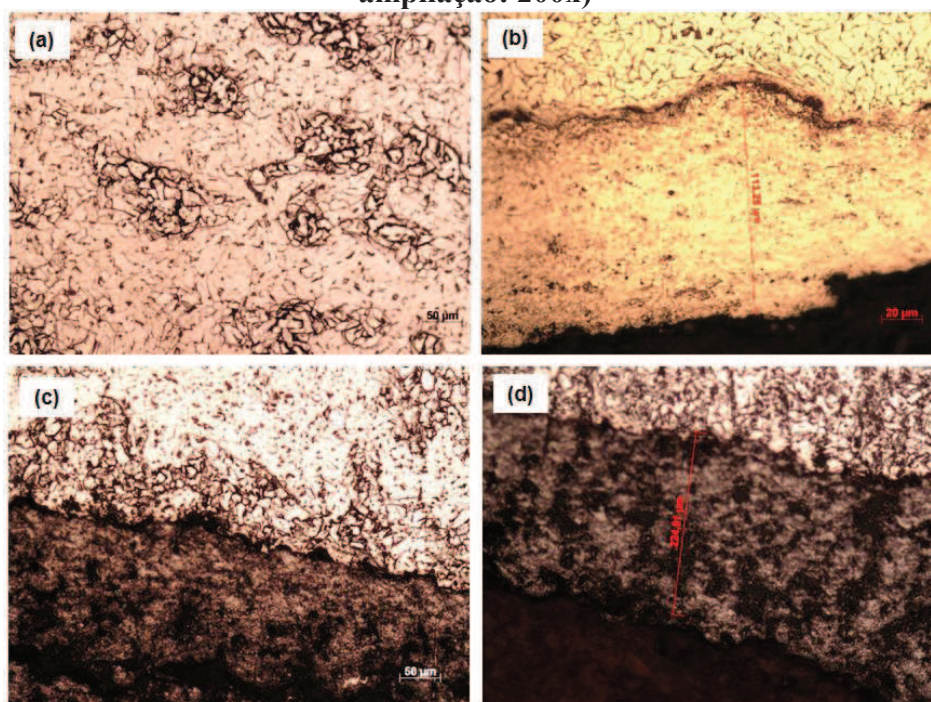
Na realização dos experimentos eletroquímicos usou-se a célula de corrosão eletroquímica tipo Flat Cell, dotada de 3 eletrodos: eletrodo de trabalho (amostra), eletrodo auxiliar (platina) e eletrodo de referência (calomelano saturado). Usou-se como solução eletrolítica uma solução de cloreto de sódio (NaCl) 3,5% p/v (0,599 mol/L) na condição não aerada, consistindo da dissolução de 35 g de NaCl em água destilada para 1000 mL.

Os procedimentos experimentais e interpretação dos resultados seguiram a recomendações das normas ASTM para as curvas de polarização potenciodinâmicas (ASTM G 5; 2013) e espectroscopia de impedância eletroquímica (ASTM G 106, 2010). O comportamento corrosivo das amostras foi analisado através do potenciostato e software eletroquímico IVIUMSOFT, na PUC-MG, unidade Contagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 01 apresenta as microestruturas do aço carbono ABNT 1020, revestido com carbeto de cromo e carbeto de tungstênio.

Figura 1 - Microestrutura do aço carbono ABNT 1020 revestido por carbeto de cromo, (a) e (b), e revestido por carbeto de tungstênio, (c) e (d) (Ataque químico: Nital 3% v/v, ampliação: 200x)



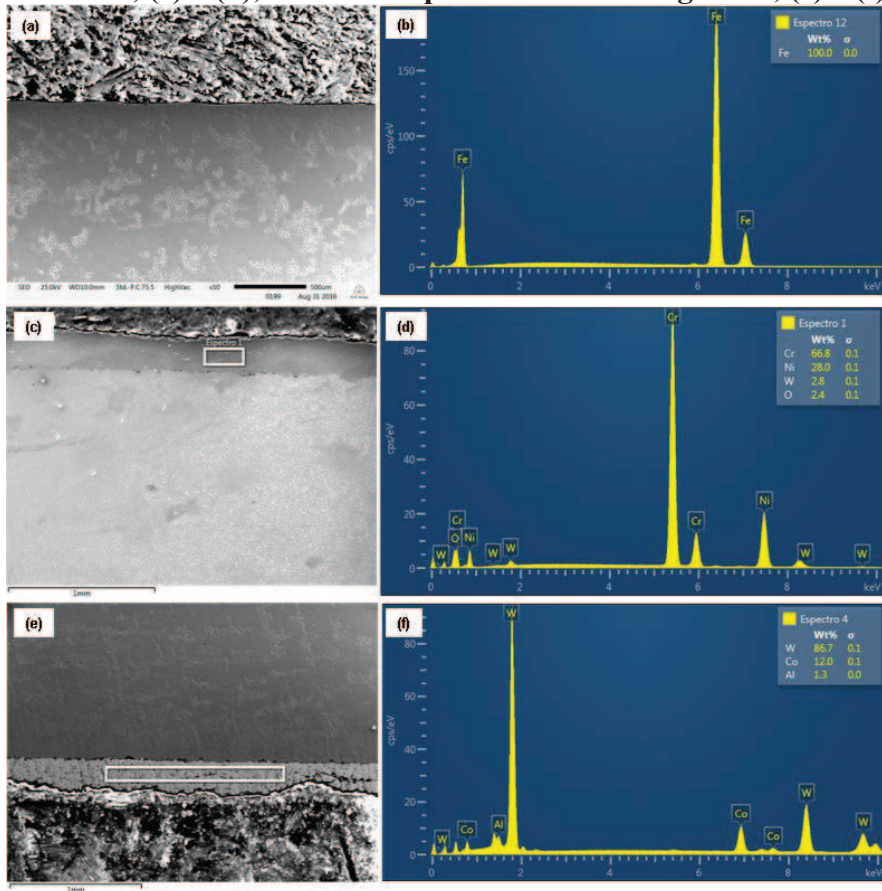
Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se a micrografia característica de matriz ferrítica com perlita nos contornos de grão para o aço carbono (Figura 1.(a)); Nota-se que a espessura de carbeto de cromo (Figura 1.(b)) é inferior à espessura de 300 μm (0,3 mm) de carbeto de tungstênio (Figura 1.(c)) desejada.

A Figura 02 apresenta as microestruturas e análise química semi-quantitativa do aço carbono ABNT 1020, revestido com carbeto de cromo e carbeto de tungstênio obtidas por MEV e EDS.

Os retângulos na Figura 02 evidenciam a região onde foi feita a análise de EDS. As imagens de MEV mostram que a interface aço carbono 1020/revestimento de cromo (Figura 02.(c)) e aço carbono 1020/revestimento de tungstênio (Figura 02.(e)) apresentaram-se homogêneas; contudo, a espessura do revestimento de tungstênio é superior à espessura do revestimento de cromo. As análises de EDS mostram que a composição química dos revestimentos e do aço carbono 1020 (substrato) estão compatíveis com valores esperados de presença de cromo, tungstênio e cobalto; contudo, no revestimento de carbeto de cromo não se evidenciou a presença de cobalto, mas sim, uma grande quantidade de níquel. A presença de alumínio e oxigênio nas amostras avaliadas reflete a contribuição do porta amostra e de provável oxidação superficial na superfície do carbeto de cromo e de tungstênio.

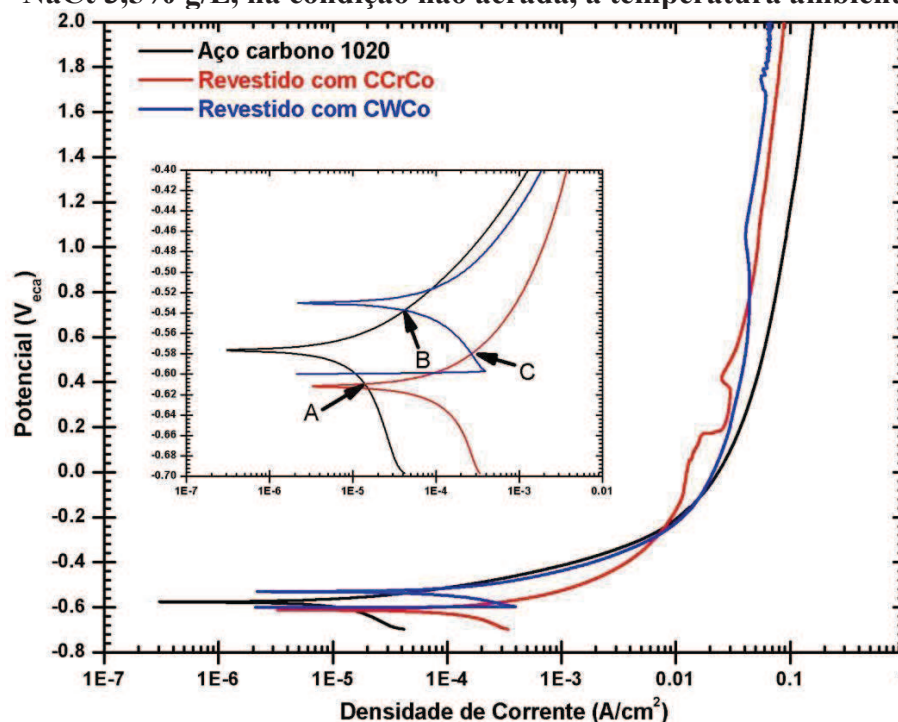
Figura 2 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de dispersão de elétrons (EDS) das amostras de aço carbono ABNT 1020 (a) e (b), revestido por carbeto de cromo, (c) e (d), e revestido por carbeto de tungstênio, (e) e (f)



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 03 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmicas obtidas usando-se uma velocidade de varredura de 0,2 mV/s (ASTM G5, 2013) na faixa de potencial de $-0,8$ V a 2 V, suficiente para identificação das regiões características referentes à região ativa, região passiva e região transpassiva (TAIT, 1994).

Figura 3 - Curvas de polarização potenciodinâmica para amostras do substrato de aço carbono, revestido com carbeto de cromo e carbeto de tungstênio, obtidas em solução de NaCl 3,5% g/L, na condição não aerada, à temperatura ambiente

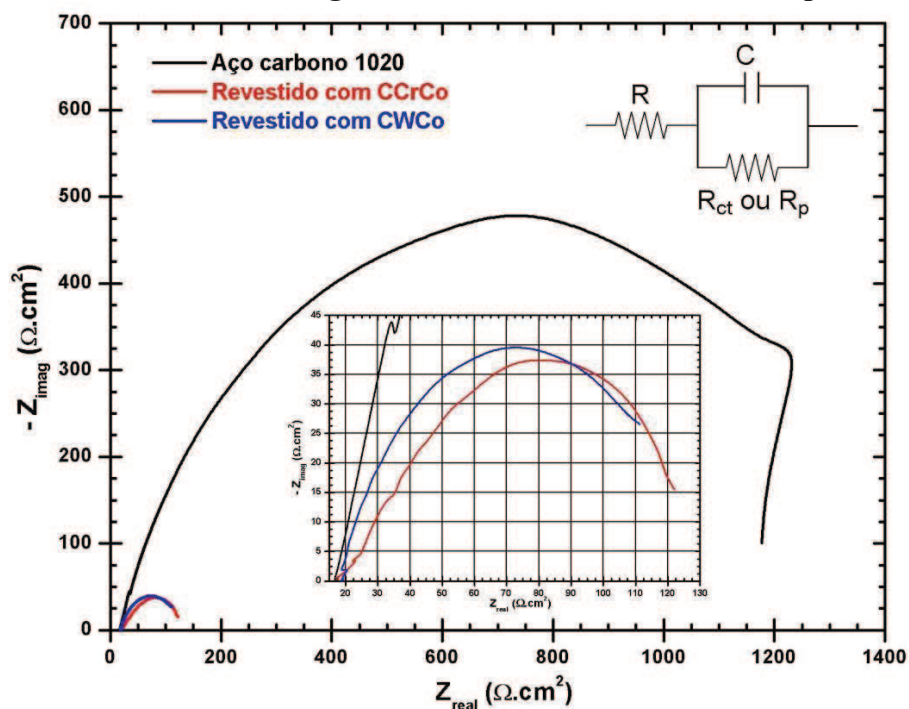


Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Figura 03 que as amostras avaliadas não apresentam característica de passivação e de transpassivação e, portanto, o processo de corrosão ativo da amostra é contínuo, devido principalmente à presença de íons cloreto (Cl^-) que destroem a camada passiva, impedindo a formação de filme de passivação. Nota-se que a curva catódica de Tafel, em torno do potencial de corrosão, para o aço carbono 1020 intercepta a curva anódica do aço revestido com carbeto de cromo no ponto A e que, a curva anódica do aço carbono 1020 intercepta a curva anódica do revestimento de carbeto de tungstênio no ponto B; isto evidencia a formação do par galvânico (levando à corrosão galvânica). Contudo, a densidade de corrente no ponto A é menor do que a densidade de corrente no ponto B, indicando que o carbeto de cromo apresenta maior resistência à corrosão galvânica do que o carbeto de tungstênio; porém, como mostra as curvas de Tafel, o carbeto de tungstênio é mais catódico do que o carbeto de cromo. Pode-se verificar que uma suposta combinação de camadas superpostas de carbeto de tungstênio e de carbeto de cromo sobre o aço carbono levaria, também, à corrosão galvânica, como mostra o ponto C, onde se tem a interseção da curva catódica do revestimento de carbeto de tungstênio com a curva anódica do carbeto de cromo, com densidade de corrente superior.

A Figura 4 apresenta os diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica obtidos, antes das curvas de polarização potenciodinâmicas nas mesmas amostras, usando-se uma faixa de frequência de perturbação de sinal senoidal de 0,01 Hz até 100000 Hz (ASTM G 106, 2010), suficiente para identificação o mecanismo e comportamento do material em corrosão (ORAZEM; TRIBOLLET, 2008).

Figura 4 - Diagramas espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) para amostras do substrato de aço carbono, revestido com carvão de cromo e carvão de tungstênio, obtidas em solução de NaCl 3,5% g/L, na condição não aerada, à temperatura ambiente



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Figura 04 o surgimento de apenas um arco capacitivo (semicírculo) na resposta do diagrama de EIE (também denominado de diagrama de Nyquist; GABRIELLI, 1998; WOLYNEC, 2003; TAIT, 1994): o arco capacitivo é característico do mecanismo de corrosão controlado por cinética de reação eletroquímica seguindo de transferência de carga na interface (BARD; FAULKNER, 2000; BRETT; BRETT, 1996), como representado pelo circuito elétrico característico (ARAÚJO, 1999; GABRIELLI, 1998; TAIT, 1994) mostrado na figura. Como mostra a Figura 03, o aço carbono 1020 apresenta um semicírculo com maior diâmetro. Segundo Epelboin e Keddam (1972) e Gabrielli (1998), quanto maior o diâmetro do arco capacitivo, maior a resistência à polarização e transferência de carga elétrica (elétrons) na interface (que traduz a resistência à corrosão do metal). Araújo (1999), Tait (1994) e Wolynech (2003) afirmam que a densidade de corrente de corrosão é inversamente proporcional à

resistência de polarização; assim, maior resistência à polarização indica menor densidade de corrente de corrosão que, por sua vez, é diretamente proporcional à taxa de corrosão e, portanto, menor taxa de corrosão (ARAÚJO, 1999). Logo, o aço carbono 1020 apresenta maior resistência à corrosão do que o aço revestido com carbetto de tungstênio, que é mais resistente do que o aço revestido com carbetto de cromo.

5 CONCLUSÕES

Após a análise discussão dos resultados, conclui-se que:

- a) as análises de MEV e MO demonstram que a espessura obtida para o carboneto de cromo foi inferior ao objetivado de 300 μm .
- b) as amostras estudadas não apresentam o fenômeno de passivação eletroquímica, e corroem continuamente.
- c) os revestimentos aspergidos sobre o substrato de aço carbono ABNT 1020 não contribuíram para aumento da resistência à corrosão; sugerindo a formação de par galvânico, conforme demonstrou a curva de Tafel.
- d) os diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica demonstram que o mecanismo de corrosão é devido ao processo de cinética eletroquímica com transferência de carga elétrica na interface metal/eletrólito.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Professor Dr. Pedro Paiva de Brito, do Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pela permissão do uso do equipamento IVIUM para realização dos ensaios eletroquímicos; ao Professor Mestre José Eduardo Brandão, do Departamento de Engenharia Metalúrgica da Pontifícia Universidade Católica de Minas, pela permissão do uso do microscópio JEOL para realização das análises de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia dispersiva de elétrons, à Cascadura Industrial S. A., que gentilmente cedeu às amostras revestidas e à Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo financiamento da pesquisa (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1020**: Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM Designation G5 - 94**: Standards recommended practice for standard method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurement. Philadelphia, 2013. 10p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM Designation G 106 - 89**: Standard practice for verification of algorithm and equipment for electrochemical impedance measurements. Philadelphia. PA, 2010. 11p.

ARAÚJO, Carlos Roberto de. **Estudo do comportamento anódico do aço inoxidável ABNT 304 com filme de interferência em NaCl 3,5 % e FeCl₃.6H₂O 6% p/v**. 1999. 212f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999. Disponível em: <<http://www.pos.demet.ufmg.br/hpcpgem/P/defesas/104M.PDF>>. Acesso em: 15 out. 2016.

BARD, Allen J; FAULKNER, Larry R. **Electrochemical methods: fundamentals and application**. 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000. 833p.

BRETT, Ana Maria Oliveira; BRETT, Christopher M. A. **Electroquímica: princípios, métodos e aplicações**. Coimbra: Livraria Almedina. 1996. 471p.

BRITO, Vinicius Ribeiro dos Santos de Sá. **Caracterização de revestimentos metálicos aspergidos termicamente por arco elétrico**. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://dippg.cefet-rj.br/index.php>>. Acesso em: 18 out. 2016.

ASPERSÃO térmica a chama. [S.l.]: Cascadura, 2016. Disponível em: <<http://www.cascadura.com.br/processos/aspersao-termica-a-chama-4>>. Acesso em: 18 out. 2016.

EPELBOIN, I.; KEDDAM, M. Kinetics of formation of primary and secondary passivity in sulphuric aqueous media. **Electrochimica Acta**. v.17, n. 2, p. 177-186, Febr. 1972.

GABRIELLI, Claude. **Identification of electrochemical processes by frequency response analysis**. [S.l.]: Solartron Instrumentation Group, 1998. 130p. Disponível em: <<http://www.jysong.idv.tw/doc/solartron/techo04.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2001.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC 2011. 360p.

HERMANEK, Frank J. **Thermal spraying: what it was and what it has become**. <http://awsinternational.org/?page_id=29>. Acesso em: 18 Oct. 2016.

JONES, Denny A. **Principles and prevention of corrosion**. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1996. 572p.

ORAZEM, Mark E.; TRIBOLLET, Bernard. **Electrochemical impedance spectroscopy**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA. 2008. 523p.

TAIT, William Stephen. **An introduction to electrochemical corrosion testing for practicing engineers and scientists**. Racine: Pair O'Docs Publications, Wisconsin, USA. 1994. 155p.

WEST, J. M. **Electrodeposition and corrosion processes**. 2nd ed.. London: Van Nostrand Reinhold. p. 100-02, 1970.

WOLYNEC, Stephan. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo: EDUSP 2003. 166p.

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FALHA DO EIXO-LUBRIFICADOR DE UMA MÁQUINA OPERATRIZ (PRENSA HIDRÁULICA)

Pedro Vital Martins Neto*

Felipe Guimarães Lopes**

Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior***

RESUMO

A aplicação da manutenção é amplamente utilizada na prática da engenharia, sendo especialmente relevante na aplicação de análise de falha. Para que os benefícios decorrentes dessas aplicações possam ser alcançados é necessário, entretanto, o emprego correto das ferramentas de manutenção, aplicado de forma coerente para cada caso em particular. A situação tomada como exemplo nesse artigo, será de uma parada inesperada de uma determinada máquina operatriz (Prensa Hidráulica), que com a aplicação de conceitos de qualidade e manutenção, descobriu-se, qual conjunto da máquina causou a suspensão do funcionamento. Após descoberto o conjunto que ocorreu a falha, foi realizada outra operação de investigação para detectar onde ocorreu a falha no conjunto. Visto que a falha ocorreu no eixo de fixação e lubrificação das engrenagens, foi feito um estudo para descobrir como o eixo apresentou essa falha. Então descoberto a origem da falha, (concentração de tensão nas quinas de apoio do eixo), utilizamos o software, para simular o efeito da causa raiz para analisar o efeito da concentração de tensão no eixo e propor a melhor solução para o problema.

Palavras-chave: Análise de falhas. Máquina operatriz. Causa raiz.

ABSTRACT

Application maintenance is widely used in engineering practice and is most pronounced in the application of analysis of failure. For the benefits of these applications can be met is necessary, however, the correct employment of maintenance tools, consistently applied for each particular case. The situation taken as an example in our work will be an unexpected shutdown of a

* Graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica pela PUC Minas

** Graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica pela PUC Minas

*** Graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais

machine tool, that with the application of concepts of quality and maintenance, it was found, which set the machine caused the suspension of the operation. After the group discovered that the failure occurred, another operation was carried out research to detect where the failure occurred in the set. Since the failure occurred in fixing pin and lubrication of gears, a study was done to find out how the pin had this flaw. Then discovered the source of the failure (stress concentration at the corners of the pin support), we use software to simulate the effect of the root cause to examine the effect of stress concentration at the pin and propose the best solution to the problem.

Keywords: Maintenance. Failure analysis. Machine tool. Root cause.

1 INTRODUÇÃO

O panorama contemporâneo do comércio determina que as empresas ou algum tipo de empreendimento, adquirem um grau de qualidade elevado nos produtos e serviços, para garantir pleno contentamento de seus clientes, entretanto, é necessário conter um sistema operacional confiável o satisfatório para atender novas demandas de maneira ligeira e eficaz.

A área de manutenção tem se tornada estratégica, a dependência da sociedade moderna, quanto aos métodos automatizados de produzir alcançou níveis para influenciar no meio ambiente e a segurança dos seres humanos, paralelamente a consciência mundial evoluiu para com a preservação de recursos naturais, ligado a necessidade crescente de garantir a segurança física.

Nas últimas décadas, a manutenção evolui possivelmente mais do que qualquer outra ciência e gerenciamento, as alterações seguiram o aumento do número de elementos a serem gerenciadas, as atividades de manutenção significavam como um centro de custos para a maioria das empresas, essa posição vem modificando com o tempo e hoje muitas organizações discutem a manutenção como uma função estratégica (MOUBRAY, ed, Aladon 2000).

A razão básica da investigação e registro de ocorrências de falhas são para permitir a identificação de ações corretivas adequadas e eficientes à prevenção da recorrência.

2 METODOLOGIA APLICADA

- a) **Passo 1:** Breve descrição do funcionamento do equipamento e descrição do conjunto analisado (representar através de desenhos esquemáticos e descrever de forma sucinta o processo de funcionamento do equipamento, conjunto ou sistema a ser analisado).
- b) **Passo 2:** Identificação do problema e Análise do conjunto onde ocorreu a falha.

Primeiramente precisamos entender, porque as máquinas falham:

- a) o principal problema de uma fábrica é não utilizar os equipamentos de forma ótima, com manutenção bem organizada.
- b) o equipamento é projetado para ser confiável, mas está sujeito a quebras, já que possui vários componentes e, quando um deles quebra (componentes Críticos), o equipamento também irá quebrar.
- c) eliminar quebras é tecnicamente possível, porém o problema é fazê-lo de forma econômica.

Podemos dizer que as máquinas falham por três motivos:

- a) **degradação:** A força física e a capacidade do equipamento se deterioram com o tempo devido à falta de manutenção.

Causas que ocasionam este tipo de falha:

- Inadequação na manutenção das condições básicas da máquina.
- Negligência em relação à deterioração.
- Inspeções feitas incorretamente;
- Não existe manutenção preventiva para a restauração.

- b) **solicitações Excessivas:** O sistema das máquinas experimenta um nível maior de estresse e de forças, devido à negligência das condições básicas pela equipe.

Causas que ocasionam este tipo de falha:

- As condições adequadas de trabalho das máquinas não são observadas.
- Falta de habilidade (erros na operação e/ou reparos).

- c) **escassa Robustez:** A máquina não foi projetada corretamente e não possui capacidade física para resistir ao estresse ou às forças aplicadas sobre ela.

Causas que ocasionam este tipo de falha:

- falha de projeto devido à falta de habilidades necessárias no estágio de projeto, fabricação ou instalação. (YAMASHINA, Bradford, 2000).
 - **Passo 3:** Análise e identificação do problema através da ferramenta de identificação “5 Por quês”.
 - **Passo 4:** Proposta

Propor uma modificação na estrutura do componente, conjunto ou sistema avaliado, de modo a eliminar o problema identificado como causa raiz do problema (causa essa identificada, através da utilização correta das ferramentas de Qualidade).

- **Passo 5:** Análise do componente, conjunto ou sistema, após a implementação da melhoria.

Como trabalho realizado será possível empregar o método de análise (Ferramenta de Qualidade) para encontrar a da causa raiz da falha do equipamento;

Com a utilização do software será possível comprovar e validar as supostas causas que estão gerando falhas no componente, conjunto ou sistema.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Descrição breve de funcionamento do equipamento

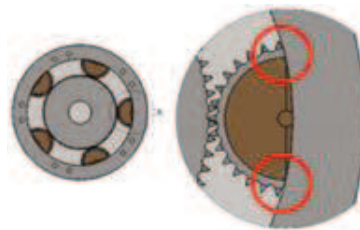
Uma máquina operatriz será utilizada como exemplo para o desenvolvimento deste artigo, com o objetivo de orientar o estudo da análise de falha.

Supondo que a máquina adotada possui o seguinte esquema de funcionamento: Um punção é acionado por um fluido pressurizado, que sofre a pressurização por meio de uma bomba hidráulica acionada por um motor elétrico, o movimento de rotação do motor elétrico é transmitido para a bomba hidráulica através de um sistema de freio e embreagem.

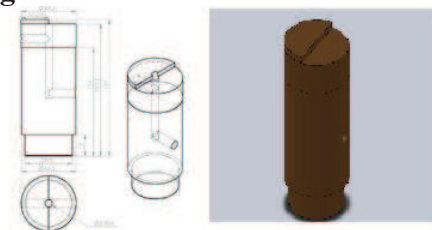
3.2 Descrição do conjunto

O conjunto de freio e embreagem é dotado de um sistema de engrenagens planetárias. Fig. 1.

O eixo lubrificador apoia as engrenagens externas e conduz o fluido lubrificante para o conjunto das planetárias. Estes eixos são engastados na sua parte inferior. A cabeça dos pinos possui um rebaixo para se apoiar no anel de fixação. Fig. 2.

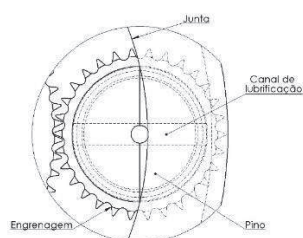
Figura 1 - Interface Eixo-Anel

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Detalhamento do eixo

Fonte: Elaborado pelos autores.

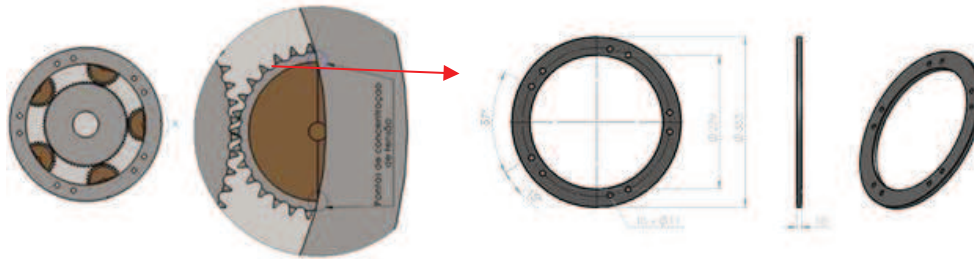
Pelo fato de existir um canal de lubrificação no interior dos pinos, é exigido que eles não se desloquem ou mudem de posição em relação ao anel superior, pois desta forma obstruem o canal de lubrificação comprometendo o sistema de lubrificação das engrenagens. Fig. 3.

Figura 3 - Representação do canal de lubrificação

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando a bomba hidráulica é acionada os pinhões são travados e conduzem a rotação proveniente da coroa central. Neste momento existe um cisalhamento no eixo do pinhão. Fig. 4.

Figura 4 - Representação do ponto de concentração de tensão / Projeto do anel de fixação



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Identificação do conjunto danificado

Durante o funcionamento do equipamento houve uma parada imprevista. A equipe de manutenção procurou identificar qual conjunto da máquina que apresentou a falha, ocasionando à parada. Com base no método dos 5 porquês (OHNO, ed. Bookman,1997) a análise foi executada da seguinte forma:

- **5 Porquês**

Porque o equipamento parou?

R=. Porque o fluido hidráulico não está pressurizado

Porque o fluido hidráulico não está pressurizado?

R=. Porque a bomba hidráulica não está sendo acionada

Porque a bomba hidráulica não está sendo acionada?

R=. Porque o sistema de embreagem não está transmitindo o movimento para a bomba hidráulica.

Porque o sistema de embreagem não está transmitindo o movimento para a bomba hidráulica?

R=. Será feita análise do conjunto para determinação do motivo.

Após a aplicação do método verificou-se que a falha ocorrida foi no conjunto de freio e embreagem.

3.4 Análise do conjunto onde ocorreu a falha (utilização do método 5 por quês)

Após a determinação do conjunto falho, foi necessário identificar o que ocasionou a falha do mecanismo freio e embreagem. Com o intuito de descobrir onde ocorreu a falha, foi empregado novamente os 5 Porquês (OHNO, 1997).

Por que o sistema de freio e embreagem parou?

R= Devido ao desgaste prematuro das engrenagens.

Porque houve desgaste prematuro das engrenagens?

R=. Por falta de lubrificação.

Porque houve falta de lubrificação?

R= O canal de lubrificação foi obstruído.

Porque foi obstruído o canal de lubrificação?

R=. Pelo deslocamento do eixo (fixação e lubrificação)

Porque o eixo deslocou?

R=. Porque houve desgaste no apoio do eixo na interface eixo-anel.

Porque houve o desgaste no apoio do eixo?

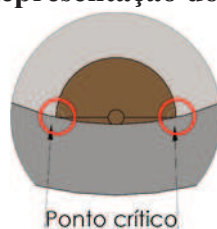
R=. Porque existe a possibilidade de haver acúmulo de tensão nas extremidades do eixo (ponto de apoio).

Porque existe a possibilidade de haver acúmulo de tensão nas extremidades?

R= Devido a geometria da cabeça do eixo a força não está distribuída ao longo da região de apoio.

Após a aplicação do método foi detectado que a falha poderia ser proveniente do acúmulo de tensão nas extremidades do eixo na interface eixo-anel. Fig. 5.

Figura 5 - Representação do ponto crítico



Fonte: Elaborado pelos autores.

O eixo em questão tem finalidade de apoiar a engrenagem funcionando como um eixo e também servir como canal de lubrificação para as engrenagens do sistema.

De acordo com o desenho de representativo da interface eixo-anel, nota-se que dentro do eixo passa um canal de lubrificação. Fig. 3.

O desgaste da quina do eixo próximo ao rebaixo possibilitou que o eixo se deslocasse com isto desalinhando o canal de lubrificação interrompendo o fluxo do lubrificante, pela falta de lubrificação as engrenagens sofreram desgaste ocasionando a parada do sistema.

Pela Fig.1 e/ou fig.5 montagem do eixo que interrompeu o fluxo do fluido de

lubrificação, pode-se perceber que existe um acúmulo de tensão nas extremidades onde há contato com o anel metálico, detectado esta situação, foi determinado que fosse feito um estudo para saber se este acúmulo seria suficiente para cisalhar o eixo e promover seu deslocamento, levando a obstrução do canal de lubrificação, levando a falha do equipamento.

3.5 Validação do software ABAQUS

A validação do software foi baseada em um problema com solução analítica de simples resolução a fim de comparar e mensurar os erros cometidos entre as duas análises.

Para validação foram executados dois testes, sendo eles, tração e cisalhamento em um corpo de prova desenvolvido para simples análise.

Duas situações distintas foram consideradas: tração e cisalhamento.

3.5.1 Validação por tração

Nessa primeira validação utilizou-se o princípio do ensaio de tração.

Partindo da análise analítica baseado na fórmula (BEER; JOHNSTON, 1996.):

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1)$$

Considerando os dados da Tabela 1 para aplicação do modelo matemático obtivemos um valor de tensão à tração igual à 147,7 MPa na região mais esbelta do corpo de prova, utilizando um material com seguintes propriedades:

Tabela 1 - Propriedades do material simulado	
Coefficiente de Poisson	Modulo de elasticidade (GPa)
0,29	205

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Resultados do cálculo da forma analítica para o ensaio de tração

F [N]	c [m]	A [m ²]	σ [Pa]	σ [MPa]
11602,00	0,005	0,0000785	147721251,98017	147,7
			4	

Fonte: Elaborado pelos autores.

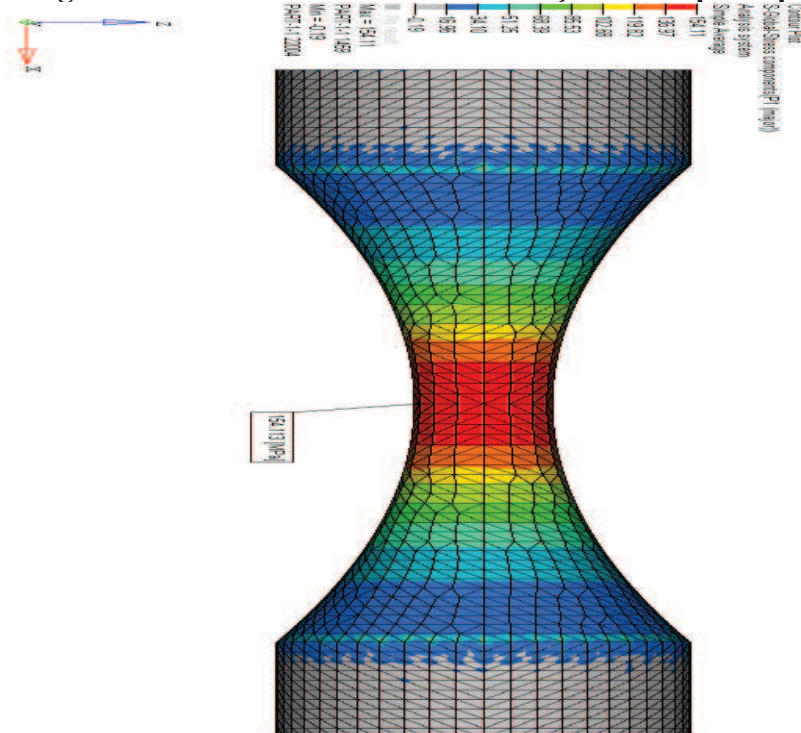
Onde: C=raio; F=Força; A=área; σ =Tensão.

Na simulação foi tomado um corpo de prova, no qual foi fixado uma das extremidades e aplicado um deslocamento de 1mm a outra Fig. 6.

Figura 6 - Corpo de prova analisado no estudo de tração

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nessa simulação o resultado obtido foi igual a 154,1 MPa Fig. 7.

Figura 7 - Resultados da análise de tração no corpo de prova

Fonte: Elaborado pelos autores.

Relacionando o valor encontrado na solução analítica que foi de 147,7MPa com o encontrado na simulação que foi de 154,1 MPa obtivemos um erro de 4,1%.

3.5.2 Validação por cisalhamento

Na validação pelo modo de cisalhamento o seguinte modelo matemático foi adotado (BEER; JOHNSTON, ed. Mc-Graw Hill do Brasil, 1996.):

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T \cdot c}{J} \quad (2)$$

T= tensão de cisalhamento do eixo; T = Torque no eixo; c = raio; J = Momento de inércia polar.

Com a aplicação do modelo matemático aplicando-se um torque de 16,5 N.m o resultado obtido foi de 84 MPa Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos no cálculo analítico para o ensaio de torção

T[N.m]	c [m]	τ [Pa]	τ [MPa]	J [m ⁴]
16,50	0,005	84033810	84,0	9,81748E-10

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na simulação foi tomado um corpo de prova de mesma geometria e propriedades do ensaio anterior, no qual uma das extremidades foi fixado e aplicado um deslocamento de 0,5° Fig. 8.

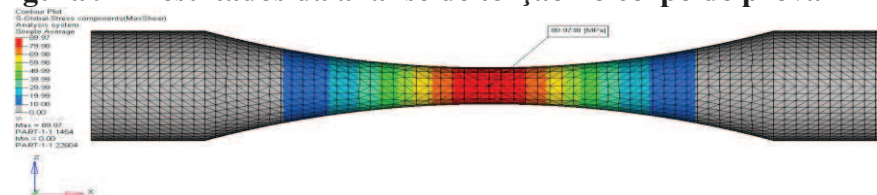
Figura 8 - Corpo de prova utilizado no ensaio de torção



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nessa simulação o resultado obtido foi igual a 89,97 MPa Fig. 9.

Figura 9 - Resultados da análise de torção no corpo de prova



Fonte: Elaborado pelos autores.

Relacionando o valor encontrado na solução analítica que foi de 84 MPa com o encontrado na simulação que foi de 89,97 MPa obtivemos um erro de 6%.

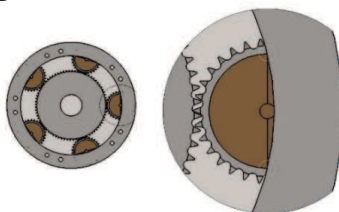
3.5.3 Conclusão da validação do software

Analisando os erros encontrados nas duas análises executadas que foram de 4% e 6% respectivamente, pode-se considerar válida a análise através da simulação por elementos finitos para estudo do caso.

3.6 Análise de tensão do eixo no primeiro momento

Com a utilização do método dos elementos finitos foi aplicado um torque na região de contato da engrenagem com o eixo, com intuito de observar o comportamento do eixo na interface de contato entre o eixo e o anel Fig.10.

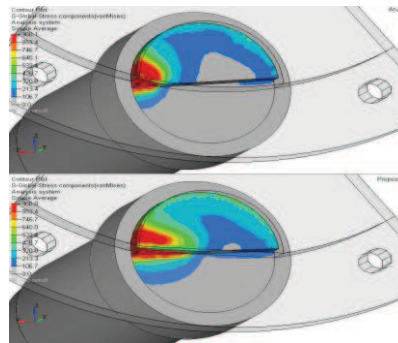
Figura 10 - interface Eixo-Anel



Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi determinado inicialmente que apenas o eixo seria analisado pelo fato de que o material de fabricação do mesmo tem tensão de escoamento inferior ao material do anel.

Figura 11 - Resultado da análise no primeiro momento



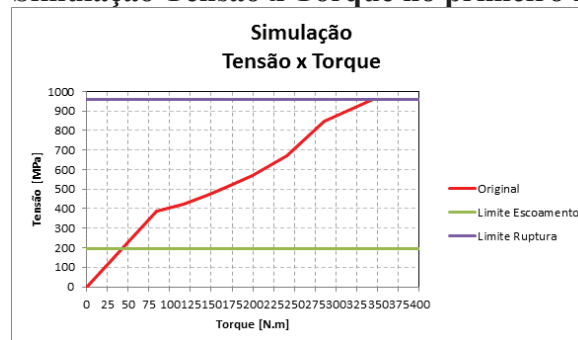
Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base na Fig. 11 dos resultados obtidos na análise de tensão realizado no eixo, observa-se que existe acúmulo de tensão na região vermelha indicada, neste local a tensão é superior ao limite de escoamento do material em que o eixo é fabricado, visto que existe uma tensão superior à suportada pelo material este eixo irá sofrer deformação plástica ou até mesmo irá se romper.

Desta forma pode-se concluir que o acúmulo de tensão foi suficiente para provocar a deformação do eixo, promovendo o deslocamento do canal de lubrificação, confirmando a suspeita citada no **item 3.4** de que o acúmulo de tensão foi suficiente para gerar a falha do sistema”.

Fica determinado também que para não haver deformação plástica no eixo não se deve aplicar o torque superior a 43 N.m.

Figura 12 - Simulação Tensão x Torque no primeiro momento



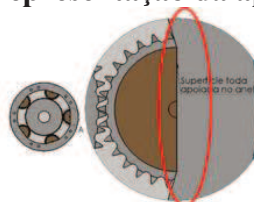
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.7 Plano de ação

Com base nos resultados obtidos na análise executada anteriormente no item 3.6 e verificado que havia acúmulo de tensão nas extremidades do eixo, foi proposto uma modificação no modelo do anel que passaria a ter sedes para apoiar toda a superfície rebaixada

do eixo, desta forma a tensão tende a ser distribuída em toda a área de contato entre o eixo e o anel, e possivelmente não haverá pontos críticos de tensão, neste caso espera-se que a tensão atuante sobre o eixo mantenha-se abaixo da tensão de escoamento.

Figura 13 - Representação da aplicação da proposta

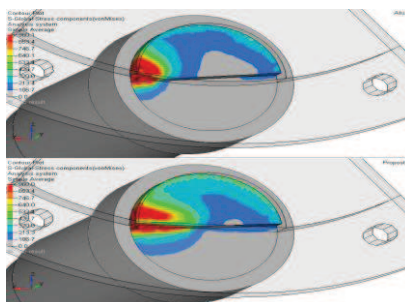


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.8 Análise de tensão após a modificação

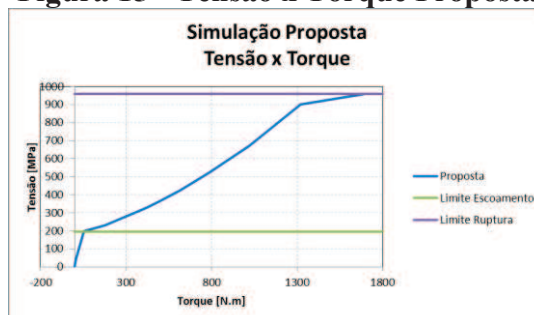
De acordo com a proposta de solução do problema foi executado um estudo considerando a superfície rebaixada do eixo totalmente apoiada no anel, foi aplicado um torque na região de contato da engrenagem com o eixo para observar se o eixo iria se comportar conforme o esperado na proposta Fig. 14.

Figura 14 - Resultado da análise após a aplicação da proposta



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 15 - Tensão x Torque Proposta



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nos resultados obtidos na nova análise executada Figs. 14 e 15 onde o novo modelo foi empregado nota-se que o eixo passou a admitir um torque superior ao admitido no modelo inicialmente estudado.

O modelo inicial suporta um torque de 43 Nm até chegar ao limite de escoamento e torque de 344 Nm para chegar ao seu limite de ruptura, já o modelo sugerido na proposta do trabalho suportou um torque de 55 Nm para chegar ao limite de escoamento e um torque de 1700 Nm para chegar ao limite de ruptura.

Com isto pode-se dizer que houve melhoria obtida na proposta em relação ao modelo inicial.

E neste caso fica provado que pode se aplicar o torque de 55 Nm desde que a face rebaixada do eixo esteja totalmente apoiada sobre o anel conforme análise para que não haja deformação plástica no eixo.

Entretanto a melhoria esperada na proposta não foi alcançada pois ainda existe pontos com acúmulo de tensão.

4 CONCLUSÃO

Com o trabalho realizado foi possível empregar o método dos 5 porquês para encontrar a causa raiz da falha do equipamento, que foi a ruptura do eixo do sistema de freio e embreagem.

Com a utilização do software foi possível determinar realmente que o acúmulo de tensão gerado na extremidade do eixo foi suficiente para cisalhar o material, e também analisar se a proposta de melhoria seria suficiente para impedir o cisalhamento do eixo.

Nas simulações executadas nota-se que mesmo com a aplicação da proposta de melhoria do eixo ainda existe cisalhamento na seção analisada, ainda que o eixo suporte à aplicação de um torque superior.

Com o auxílio do software pode-se provar que a peça em questão realmente causa a falha do sistema e ainda propor uma melhoria para o problema encontrado.

Sugere-se então que para não haver deformação plástica no eixo ocasionando a falha do equipamento seja aplicado um torque máximo de 43 Nm utilizando o modelo atual do eixo e torque de 55 Nm se utilizado o modelo do eixo igual ao proposto no trabalho alcançando um torque de 12 Nm a mais que o modelo inicial.

Também como resultado tivemos uma redução na quantidade anual de falhas, saindo de 3 para 0 falhas durante o período avaliado (12 meses) resultando em um aumento de

disponibilidade técnica do equipamento 93,3% para 97%.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Álvaro Ferreira Marques. **Método dos elementos finitos**. Portugal: FEUP, 2003.

BATHE, Klaus-Jürgen. **Finite element procedures**. Upper Sadlle River: Prentice-Hall, 1999.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1991.

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos, características gerais, tratamentos térmicos e principais tipos**, 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1977.

YAMASHINA, H. Challenge to World-Class Manufacturing. **The International Journal of Quality & Reliability Management**. Bradford, 2000.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000, 426p.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala**. Porto alegre: Bookman, 1997. 147p.

BEER, F.P. e JOHNSTON Jr., E.R. - **Resistência dos Materiais**. São Paulo, Editora Mc-Graw Hill do Brasil, 1996.

RESISTÊNCIA DE UM PINO DE SUSTENTAÇÃO DE UMA LINHA DE VIDA, QUANDO SUBMETIDO A TESTES DE SIMULAÇÃO DE QUEDA HUMANA

Pedro Vital Martins Neto*

Felipe Guimarães Lopes**

Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior***

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise de performance quanto a resistência de um pino de sustentação para uma linha de vida, quando submetido a uma força de tração, ou seja, quando for necessário sustentar uma pessoa (peso médio 90 kg) no momento de uma eventual queda. Para isso será utilizado o software Abaqus, para criar o elemento geométrico e gerar a malha de superfície para as devidas análises do ponto de ruptura. Considerando que este pino de sustentação é fixado à estrutura do galpão através do processo de soldagem. Será utilizado também um ensaio de tração e análise de dureza do pino, a fim de validar os valores encontrados na análise virtual e determinar a qual distância (mínima) do ponto onde foi realizada a solda o pino irá se romper. Será determinado também a força máxima que o pino irá suportar até o momento de ruptura.

Palavras chaves: Pino de sustentação. Linha de vida. Ensaio de tração e Ponto de ruptura.

ABSTRACT

This paper aims to conduct a performance analysis as the resistance of a support pin for a lifeline, when subjected to a tensile force, that is, when it is necessary to sustain a person (average weight 90 kg) in moment of a possible fall. For this the ABAQUS software is used to create the geometrical element and generate the mesh surface due to breaking point analyzes. Whereas this support pin is attached to the shed structure by the welding process.

It will also be used a tensile testing and analysis pin hardness, in order to validate the values found in the virtual analysis and to determine which distance (minimum) from the point where it was held welding pin will break . It will be also determined the maximum force that the pin

* Graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica pela PUC Minas

** Graduação em Bacharelado em Engenharia Mecânica pela PUC Minas

*** Graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais

will hold up to the moment of rupture.

Key words: Support pin. Lifeline. Tensile Testing and Breakpoint.

1 INTRODUÇÃO

O panorama contemporâneo do comércio determina, a busca contínua por baixo custo operacional, juntamente com excelência e altos índices de segurança para prestação de serviços. Em função deste cenário serão realizados testes em alguns materiais para identificar e mapear perfis, composições estruturais e procedimentos operacionais para confecção de estruturas de sustentação de linhas de vida.

2 OBJETIVO

Realizar uma análise de performance quanto a resistência de um pino de sustentação para uma linha de vida, quando submetido a uma força de tração, ou seja, quando for necessário sustentar uma pessoa (peso médio 90 kg) no momento de uma eventual queda.

3 CONCEITOS

Ensaio de tração: Em um ensaio de tração, um corpo de prova ou provete é submetido a um esforço que tende a alongá-lo ou esticá-lo até à ruptura. Geralmente, o ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos.

Este é fixado numa máquina de ensaios que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes. Os esforços ou cargas são mensurados na própria máquina, e, normalmente, o ensaio ocorre até a ruptura do material (ensaio destrutivo).

Com esse tipo de ensaio, pode-se afirmar que praticamente as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em toda a sua extensão, pelo menos até ser atingida uma carga máxima próxima do final do ensaio e, como é possível fazer com que a carga cresça numa velocidade razoavelmente lenta durante todo o teste, o ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material. A uniformidade da deformação permite ainda obter medições para a variação dessa deformação em função da tensão aplicada. Essa variação,

extremamente útil para o engenheiro, é determinada pelo traçado da curva tensão-deformação a qual pode ser obtida diretamente pela máquina ou por pontos. A uniformidade termina no momento em que é atingida a carga máxima suportada pelo material, quando começa a aparecer o fenómeno da estrição ou da diminuição da secção do provete, no caso de matérias com certa ductilidade. A ruptura sempre se dá na região mais estreita do material, a menos que um defeito interno no material, fora dessa região, promova a ruptura do mesmo, o que raramente acontece.

A precisão de um ensaio de tração depende, evidentemente, da precisão dos aparelhos de medida que se dispõe. Com pequenas deformações, pode-se conseguir uma precisão maior na avaliação da tensão ao invés de detectar grandes variações de deformação, causando maior imprecisão da avaliação da tensão. Mesmo no início do ensaio, se esse não for bem conduzido, grandes erros podem ser cometidos, como por exemplo, se o provete não estiver bem alinhado, os esforços assimétricos que aparecerão levarão a falsas leituras das deformações para uma mesma carga aplicada. Deve-se, portanto, centrar bem o corpo-de-prova na máquina para que a carga seja efetivamente aplicada na direção do seu eixo longitudinal.

Num ensaio de tração, obtém-se o gráfico tensão-deformação, na qual é possível analisar o comportamento do material ao longo do ensaio. Do início do ensaio, até a ruptura, os materiais geralmente passam pelas seguintes etapas:

- a) **Deformação Elástica:** Para a maioria dos metais que são solicitados em tração e com níveis de tensão relativamente baixos, a tensão e a deformação são proporcionais de acordo com a relação abaixo:

$$\sigma = E\epsilon \quad (1)$$

δ = Tensão em Pascal;

E = Módulo de elasticidade ou Módulo de Yang;

ϵ = Deformação específica (Adimensional).

Esta é a conhecida lei de Hooke uniaxial e a constante de proporcionalidade “E” é o módulo de elasticidade, ou módulo de Young.

As deformações elásticas não são permanentes, ou seja, quando a carga é removida, o corpo retorna ao seu formato original. No entanto, a curva tensão-deformação não é sempre linear, como por exemplo, no ferro fundido cinzento, concreto e polímeros.

Até este ponto, assume-se que a deformação elástica é independente do tempo, ou seja,

quando uma carga é aplicada, a deformação elástica permanece constante durante o período em que a carga é mantida constante. Também é assumido que após a remoção da carga, a deformação é totalmente recuperada, ou seja, a deformação imediatamente retorna para o valor zero.

- b) **Deformação Plástica:** Acima de uma certa tensão, os materiais começam a se deformar plasticamente, ou seja, ocorrem deformações permanentes. O ponto no qual estas deformações permanentes começam a se tornar significativas é chamado de limite de escoamento (ou tensão de cedência).

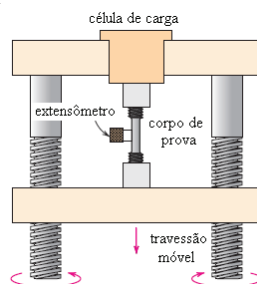
Para metais que possuem transição gradual do regime elástico para o plástico, as deformações plásticas se iniciam no ponto no qual a curva tensão-deformação deixa de ser linear, sendo este ponto chamado de limite de proporcionalidade (ou tensão limite-elasticidade). No entanto, é difícil determinar este ponto precisamente. Como consequência, criou-se uma convenção na qual é construída uma linha reta paralela à porção elástica, passando pela deformação de 0,2% da deformação total. A tensão correspondente à intersecção desta linha com a curva tensão-deformação é o limite de escoamento (ou tensão de cedência).

A magnitude do limite de escoamento é a medida da resistência de um material à deformação plástica e pode variar muito, como por exemplo, entre 35 MPa para uma liga de alumínio de baixa resistência até 1400 MPa para um aço de alta resistência.

Durante a deformação plástica, a tensão necessária para continuar a deformar um metal aumenta até um ponto máximo, chamado de limite de resistência à tração, no qual a tensão é o máximo na curva tensão-deformação de engenharia. Isto corresponde à maior tensão que o material pode resistir; se esta tensão for aplicada e mantida, o resultado será a fratura. Toda a deformação até este ponto é uniforme na seção. No entanto, após este ponto, começa a se formar uma estrição, na qual toda a deformação subsequente está confinada e, é nesta região que ocorrerá ruptura. A tensão que corresponde à fratura é chamada de limite de ruptura.

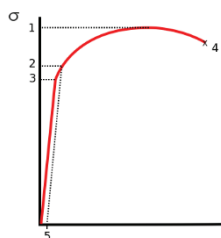
Assim, é possível obter o gráfico tensão-deformação, que varia conforme o material analisado. Por exemplo, os materiais frágeis, como cerâmicas e concreto, não apresentam um limite de escoamento. Já os materiais dúcteis, como o alumínio, apresentam o limite de escoamento bem definido.

Figura 1 - Dispositivo usado para ensaios tensão-deformação por tração



Fonte: (WIKIPÉDIA, 2018).

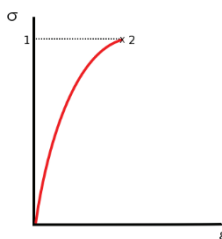
Figura 2 - Diagrama tensão-deformação para uma liga típica de alumínio



Fonte: (WIKIPÉDIA, 2018).

- tensão máxima de tração;
- limite de escoamento;
- tensão limite de proporcionalidade;
- ruptura;
- deformação;

Figura 3 - Diagrama tensão-deformação para um material frágil



Fonte: (WIKIPÉDIA, 2018).

- tensão máxima de tração;
- ruptura.

Linha de vida: Linha de vida consiste na instalação de cordas ou fitas ligadas ao cinto de segurança e a ancoragens com o objetivo de permitir que as pessoas trabalhem em altura com segurança. A instalação das linhas de vida antequeda é uma prática cada vez mais habitual

nas empresas e principalmente na construção civil. É indicada para trabalhos em altura onde não existam outros meios de proteção coletiva como, por exemplo, trabalhos de arremate, manutenção de fachadas, trabalhos em telhados, etc.

Segundo as normas atuais as linhas de ancoragem ou linhas de vida são consideradas proteções coletivas uma vez que podem suportar vários trabalhadores ancorados nela ao mesmo tempo.

Existem dois tipos de linhas de vida em função do seu tempo de uso. Temos as temporais que montamos, usamos e desmontamos na fase da obra em que são necessárias. E existem também as fixas que são colocadas e permanecem ao longo da obra.

Todas as linhas de vida devem ter a certificação do fabricante e a certificação da sua instalação. Em alguns casos o próprio fabricante autoriza a instalação do seu material, em outros é contratada uma empresa responsável para tal. A equipe instaladora deverá passar por treinamento de trabalho em altura e em procedimentos de instalação.

Sopro magnético: O “sopro magnético”, é um fenômeno que ocorre quando a corrente se movimenta gerando um campo magnético, se este campo não for controlado pode jogar o material fundido para longe do cordão de solda que está se formando, pode ser minimizado utilizando-se a corrente alternada. A rápida inversão da corrente durante o processo de soldagem irá diminuir a influência do campo magnético no arco elétrico, já que este estará variando constantemente a polaridade de soldagem.

Este fenômeno (sopro magnético), pode causar os seguintes defeitos nas partes soldadas:

- a) porosidade, Inclusões, Falta de fusão, Falta de penetração, Concavidade e sobreposições e Trincas.

Processo de soldagem por eletrodo revestido: O processo de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido consiste, basicamente, na abertura e manutenção de um arco elétrico entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada. O arco funde simultaneamente o eletrodo e a peça. O metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida da atmosfera (O₂ e N₂) pelos gases de combustão do revestimento. O metal depositado e as gotas do metal fundido que são ejetadas, recebem uma proteção adicional através do banho de escória, que é formada pela queima de alguns componentes do revestimento.

4 MÉTRICAS PROCEDIMENTAIS

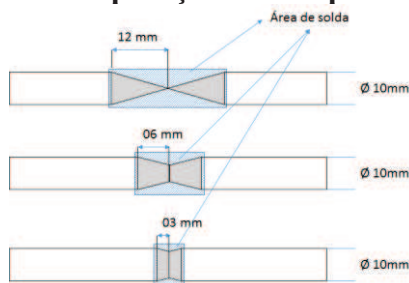
Para o desenvolvimento deste trabalho foram preparados 06 (seis) corpos de provas com as seguintes características:

- material SAE 1015;
- diâmetro 10 mm;
- eletrodo comercial 7018;
- velocidade de penetração 2,0 mm/s;
- * profissional (soldador) experiente: Aproximadamente 5 anos na função.

4.1 Preparação dos corpos de prova

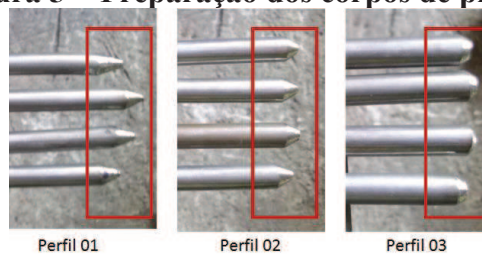
Os corpos de provas, foram preparados com 03 (três) variações de áreas nos locais onde foram depositadas as soldas, conforme figuras abaixo:

Figura 4 - Preparação dos corpos de provas



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5 - Preparação dos corpos de provas



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 - Corpos de provas após união com solda



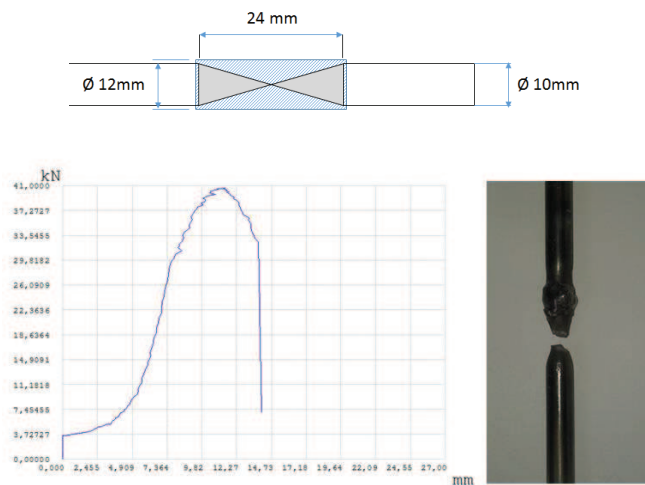
Fonte: Dados da pesquisa.

4.2 Ensaio de tração nos corpos de prova

Os corpos de provas, foram submetidos a um ensaio de tração no laboratório de ensaio de materiais Unidade Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) Coração Eucarístico. (Máquina de ensaio de tração e software específico)

4.2.1 Peça 01 (Perfil 01): relatório de ensaio

Figura 7 - Resultado ensaio de tração peça 01 _ perfil 01



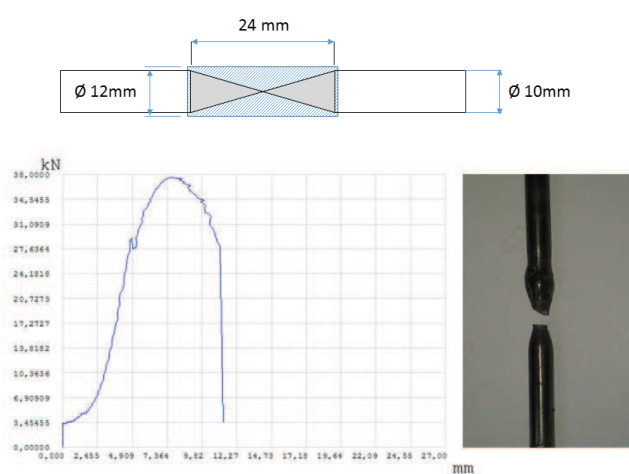
Fonte: Dados da pesquisa.

- a) força máxima (F_m): 40,58 kN;
- b) tensão máxima: 516,68 Mpa;
- c) tensão de escoamento (R_p): 51,31 Mpa;
- d) força de escoamento (R_p): 4,0 kN;
- e) área (S_0): 78,54 mm²;
- f) comprimento de medida original (L_0): 313,6 mm;
- g) comprimento de medida final (L_u): 317,1 mm;

- h) alongamento percentual (A): 1,12 %;
- i) diâmetro original (D0): 10 mm;
- j) diâmetro final (Df): 6,55 mm;
- k) redução percentual da área (Z) (cilíndrico): 57,10 %;
- l) relação limite de resistência / limite de escoamento: 10,07.

4.2.2 Peça 02 (Perfil 01): relatório de ensaio

Figura 8 - Resultado ensaio de tração peça 02 _ perfil 01

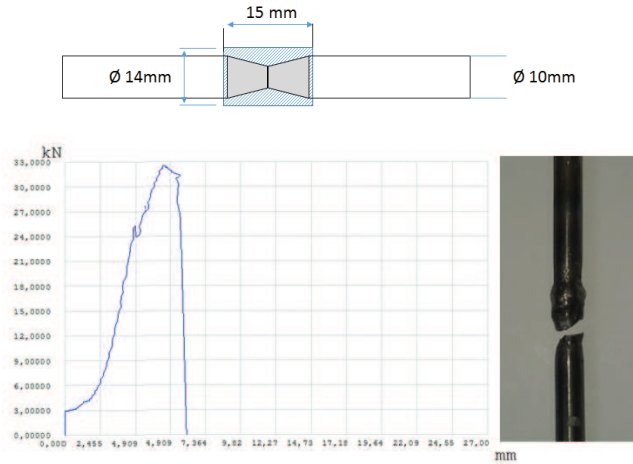


Fonte: Dados da pesquisa.

- a) força máxima (Fm): 37,54 kN;
- b) tensão máxima: 477,97 MPa;
- c) tensão de escoamento (Rp): 57,38 MPa;
- d) força de escoamento (Rp): 3,6 kN;
- e) área (S0): 78,54 mm²;
- f) comprimento de medida original (L0): 315,42 mm;
- g) comprimento de medida final (Lu): 320,8 mm;
- h) alongamento percentual (A): 1,71 %;
- i) diâmetro original (D0): 10 mm;
- j) diâmetro final (Df): 5,5 mm;
- k) redução percentual da área (Z) (cilíndrico): 69,75 %;
- l) relação limite de resistência / limite de escoamento: 10,42.

4.2.3 Peça 03 (Perfil 02): relatório de ensaio

Figura 9 - Resultado ensaio de tração peça 03 _ perfil 02



Fonte: Dados da pesquisa.

- a) força máxima (F_m): 32,50 kN;
- b) tensão máxima: 413,80 MPa;
- c) tensão de escoamento (R_p): 53,20 MPa;
- d) força de escoamento (R_p): 3,01 kN;
- e) área (S_0): 78,54 mm²;
- f) comprimento de medida original (L_0): 318 mm;
- g) comprimento de medida final (L_u): 320,5 mm;
- h) alongamento percentual (A): 0,79 %;
- i) diâmetro original (D_0): 10 mm;
- j) diâmetro final (D_f): 7,81 mm;
- k) redução percentual da área (Z) (cilíndrico): 39,00 %;
- l) relação limite de resistência / limite de escoamento: 10,8.

4.2.4 Peça 04 (Perfil 02): relatório de ensaio

- a) força máxima (F_m): 31,10 kN;
- b) tensão máxima: 429,60 MPa;
- c) tensão de escoamento (R_p): 49,2 MPa;
- d) força de escoamento (R_p): 2,9 kN;
- e) área (S_0): 77,34 mm²;

- f) comprimento de medida original (L0): 317 mm;
- g) comprimento de medida final (Lu): 319 mm;
- h) alongamento percentual (A): 0,79 %;
- i) diâmetro original (D0): 10 mm;
- j) diâmetro final (Df): 4,1 mm;
- k) redução percentual da área (Z) (cilíndrico): 43,00 %;
- l) relação limite de resistência / limite de escoamento: 10,7;

Durante análise do resultado da peça 04 – perfil 02, que sofreu rompimento localizado na parte soldada, podemos fazer a seguinte observação:

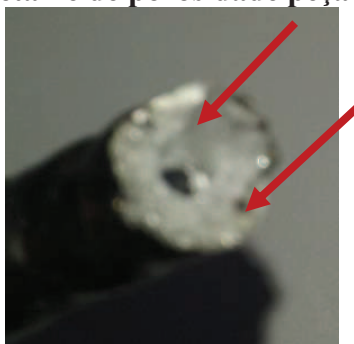
Durante o processo de soldagem ocorreu o fenômeno chamado de “sopro magnético”. Podemos identificar o mesmo através de análise visual de “poros” identificados nas partes rompidas.

Figura 10 - Detalhe de rompimento peça 04 _ perfil 02



Fonte: Dados da pesquisa.

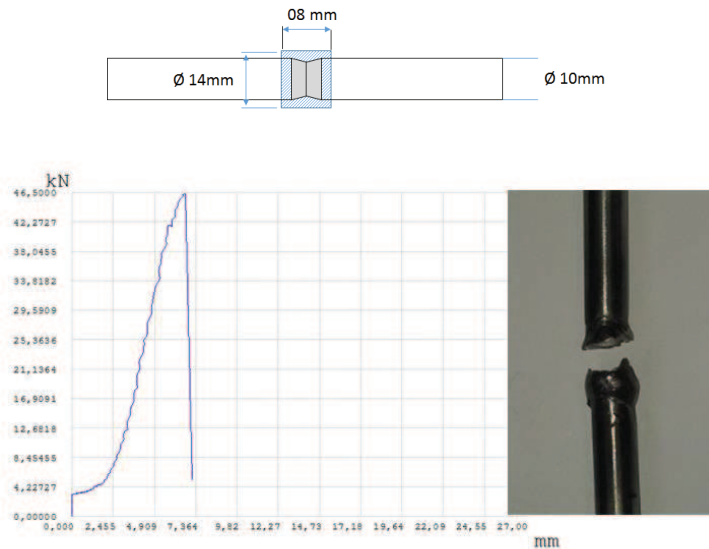
Figura 11 - Detalhe de porosidade peça 04 _ perfil 02



Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.5 Peça 05 (Perfil 03): relatório de ensaio

Figura 12 - Resultado ensaio de tração peça 05 _ perfil 03

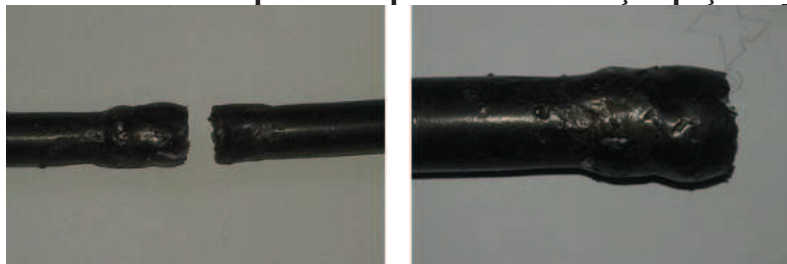


Fonte: Dados da pesquisa.

- a) força máxima (F_m): 46,34 kN;
- b) tensão máxima: 590,02 MPa;
- c) tensão de escoamento (R_p): 47,36 MPa;
- d) força de escoamento (R_p): 3,7 kN;
- e) área (S_0): 78,54 mm²;
- f) comprimento de medida original (L_0): 317,6 mm;
- g) comprimento de medida final (L_u): 321,51 mm;
- h) alongamento percentual (A): 1,23 %;
- i) diâmetro original (D_0): 10 mm;
- j) diâmetro final (D_f): 9,5 mm;
- k) redução percentual da área (Z) (cilíndrico): 9,75 %;
- l) relação limite de resistência / limite de escoamento: 12,46.

4.2.6 Peça 06 (Perfil 03)

Figura 13 - Detalhe do rompimento após ensaio de tração peça 06 perfil 03



Fonte: Dados da pesquisa.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, foi identificado que os corpos de provas perfis 01 e 02, apresentam rompimentos fora da área de fusão / ZTA (os rompimentos ocorreram em média 04 mm após a área soldada). Estes resultados certificam a qualidade do trabalho realizado pelo soldador e garantem também os níveis de segurança para sua utilização em estruturas para suporte a linhas de vida. Para os corpos de provas perfis 01 e 02, obtivemos em média os seguintes resultados após realização de ensaios de tração:

- a) força de escoamento (Rp): **4,0 kN** (Peça 01 _ perfil 01);
- b) força de escoamento (Rp): **3,6 kN** (Peça 02 _ perfil 01);
- c) força de escoamento (Rp): **3,0 kN** (Peça 03 _ perfil 02);
- d) força de escoamento (Rp): **2,9 kN** (Peça 04 _ perfil 02) * Sopro Magnético.

- **força de escoamento (Rp): Média = 3,37 kN**

Considerando uma pessoa com peso médio igual a 90 Kg, comprimento médio da corda do cinto de segurança = 2 m, considerando a aceleração da gravidade = 10 m/s², temos:

$$\text{Peso final} = 90 \times 2 \times 10 = \mathbf{1.800 \text{ Kg}}$$

6 CONCLUSÃO

Para o ensaio realizado acima, concluímos que se obedecermos aos procedimentos operacionais de soldagem, adotarmos os perfis 01 ou 02 (conforme citados acima) e utilizamos

um material SAE 1015 com diâmetro mínimo de 10 mm, podemos garantir a segurança da estrutura de uma linha de vida com um fator de segurança de até 1,87.

REFERÊNCIAS

DIETER, George Ellwood. **Metalurgia mecânica**. [S. l.]: Guanabara Dois, 1981.
MARQUES, Paulo Villani. **Tecnologia da soldagem**. [1º Reimpressão_2002] Chistiano Ottoni, 1991.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I**: introdução aos processos de soldagem. Belo Horizonte: Ebah, nov. 2000. (Apostila para curso de Engenharia Metalúrgica da UFMG). Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAABRcAA/introducao-ao-processos-soldagem>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

O AUTOR. [S.l.]: Segurança do trabalho. Disponível em:
<<http://segurancadotrabalhown.com/quem-e-nestor-w-neto/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

WIKIPÉDIA. Ensaio de tração. [S.l.]: Wikipédia, 2017. Disponível em:<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ensaio_de_tra%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 05 fev. 2018.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL BIOCONSTRUTIVO PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO COM MATRIZ CERÂMICA A BASE DE CIMENTO SOREL

Leticia Guerra Dias*

Gabriel Diniz Junqueira**

Matheus Teixeira Maia***

Roberto Hiroshi Nakata****

Euler de Oliveira Guerra*****

Manoel Robério Fernandes*****

Viviane Silva Gomide*****

RESUMO

A construção civil, atualmente, está, cada vez mais, explorando recursos sustentáveis e econômicos para serem aplicados tanto na parte construtiva, quanto na parte de acabamento. Este trabalho objetiva criar um material de acabamento para ser utilizado como um isolante acústico, enquadrando-se nessa nova realidade da construção civil. Trata-se de um material compósito com fibras de madeira de reflorestamento e com matriz cerâmica de cimento Sorel. Esse cimento é bastante comum na região Nordeste do Brasil e baseia-se na mistura de Óxido de Magnésio com uma solução de Cloreto de Magnésio (40% p/v) até obter-se uma pasta pouco viscosa (barbotina). Por mais que o concreto seja uma tecnologia já consagrada, ainda pode ser aperfeiçoado. Este trabalho mostra uma boa relação interdisciplinar entre conhecimentos de Engenharia Civil e Engenharia de Materiais. Ele também apresenta uma comparação entre uma amostra nacional e outra internacional, também à base de madeira de reflorestamento. Foram realizados ensaios de resistência ao impacto (Charpy) e de isolamento térmico, obtendo-se

* Discente do curso de Engenharia Civil – PUC Minas. E-mail: leticia.guerradias25@gmail.com

** Discente do curso de Engenharia Civil – PUC Minas. E-mail: gabrieldiniz1@gmail.com

*** Discente do curso de Engenharia Civil – PUC Minas. E-mail: <matheusmaia.exec@gmail.com

**** Discente do curso de Engenharia Civil – PUC Minas. E-mail: hiroshi.nakata@hotmail.com

***** Pós doutorado-nanotecnologia -2013 – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Pós doutorado- 2010 Faculdade de Engenharia do Porto e no Instituto Nacional de Engenharia Biomédica
Doutorado- 2006- Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais
Mestre em Engenharia Mecânica- 2003 - Universidade Estadual de Campinas. Graduação em física -1999-
Universidade Federal de Ouro Preto. Professora adjunta I -2013 - Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais. E-mail: vsgomide@gmail.com

resultados que permitem indicar a amostra produzida como a mais resistente entre as demais e como um ruim isolante térmico. Além disso, a amostra possuiu um alto peso específico. Pela análise dos resultados, concluiu-se que a amostra é viável para ser utilizada como um material de acabamento, podendo ser aplicado até com outra utilidade.

Palavras-chave: Cimento sorel. Bioconstrução. Projeto estrutural. Madeira de reflorestamento.

ABSTRACT

The civil construction, at present, is, more and more, exploring sustainable and economical resources to be applied so much in the constructive part, how much in the part of finish. This work aims to create a material of finish to be used like an acoustic insulating material, fitting in this new fact of the civil construction. It is the question of a material composite with wooden fibers of reforestation and with ceramic womb from cement Sorel. This cement is quite common in the Northeast region of Brazil and one bases in the mixture of Magnesium Oxide with a solution of Magnesium Chloride (40 % p/v) until there is obtained a briefcase not much viscous (wormwood seed). This work presents a comparison between an international national and different sample, also to the reforestation wooden base. Resistance tests were carried out to the impact (Charpy) and of thermal isolation, when there are obtained results that they allow to indicate the sample when the most resistant was produced how between too much and like a bad thermal insulating material. Besides, the sample had a high specific weight. For the analysis of the results, it was ended that the sample is viable to be used like a finish material, being able even to be applied with usefulness.

Keywords: Sorel cement. Bioconstruction. Structural project. Reforestation wood.

1 INTRODUÇÃO

A produção de materiais compósitos no mundo tem crescido, significativamente, devido à necessidade da construção civil por mais recursos sustentáveis e econômicos. A importância desses materiais compósitos no campo da engenharia se deve ao fato de combinar dois ou mais materiais diferentes, obtendo propriedades melhores, em alguns aspectos, às propriedades de cada um dos componentes. No presente trabalho foi feita uma combinação de madeira de reflorestamento com cimento sorel, gerando um produto com aplicação no segmento de

isolamento acústico e térmico. A importância do uso de madeiras cultivadas pelo setor da construção se apoia, principalmente, no fator hoje tão propagado chamado sustentabilidade. As árvores, únicas fábricas não poluentes do mundo, produzem a madeira, material construtivo obtido a partir de um recurso natural renovável de ciclo curto. O cimento sorel ou magnésia sorel, é um aglomerante muito resistente, obtido pela reação do óxido de magnésio e cloreto de magnésio. O preparo desse tipo de argamassa inicia-se pela obtenção do magnésio. Isso é feito em fábricas, por calcinação do carbonato de magnésio, seguido de pulverização. O produto é misturado com a solução de cloreto, obtendo-se a argamassa. Para a formação do compósito, essa argamassa é misturada à madeira a fim de se formar um painel ou placas de absorção de som e isolamento térmico.

2 METODOLOGIA

A amostra do material criado foi produzida pela mistura de palha de madeira com cimento Sorel, obtido pela mistura de Óxido de Magnésio com uma solução de Cloreto de Magnésio (40% p/v em 1000 ml de água).

Figura 1 - Palha de madeira de reflorestamento na forma



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Cimento sorel dissolvido em Solução de cloreto de magnésio



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 - compósito formado pela junção da madeira e do cimento sorel



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em seguida prensou-se a forma com o compósito em prensa uniaxial a 2 toneladas/força durante a cura, por 24 horas. Após 24 horas retirou-se a amostra da forma obtendo-se uma amostra densa e uniforme.

Figura 4 - Prensagem da amostra em uma prensa hidráulica



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a análise morfológica do material utilizou-se um microscópio óptico Carl Zeiss, modelo Axioimager A1m de alta qualidade e resolução com aumento de 500X. Placas do compósito foram então cortadas, segundo a direção de alinhamento das fibras em barras medindo 120 x 12 x 10 mm que serviram como base para confecção de corpos de prova de ensaio de impacto Charpy, de acordo com a norma ASTM D256e. Para o teste de qualidade de isolamento térmico utilizou-se como fonte de calor um maçarico a uma temperatura equivalente à 200 C° por 5 minutos de exposição à chama.

3 RESULTADOS

A barbotina preparada se mostrou homogênea e a amostra apresentou boa distribuição das palhas ao longo da mesma. O que pode ser verificado na micrografia abaixo.

Figura 5 - Micrografia do compósito

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 mostra os valores extraídos do ensaio de impacto Charpy realizado nas amostras do compósito comparadas aos painéis do mercado nacionais e importados. Em relação a esse teste, obteve-se resultados que permitiram indicar a amostra produzida como a mais resistente entre as amostras dos outros fabricantes no mercado (amostra nacional e internacional).

Tabela 1 - Resultados ensaio Charpy

Corpos de prova	Impacto Charpy (Joule)
Amostra Nacional	4
Amostra Internacional	10
Resultado Obtido	17

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o teste de isolamento térmico observou-se que os corpos de prova não ofereceram grande resistência no que se refere ao aumento da temperatura.

Figura 6 - Compósito exposto à temperatura de 200 C° por 5 minutos



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da amostra em ser empregada como um material de acabamento em um bioconstrução. A amostra produzida apresentou um desempenho excelente em relação a resistência mecânica, além de apresentar-se um material viável economicamente e de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AZAMBUJA, José Carvalho; SILVA, Zenaide C. da. Perfil analítico dos mármore e granitos. **Boletim DNPM**, v.1, n. 38, 43, 1977.

BLEDZKI, Andrzej K., GASSAN, J., Composites reinforced with cellulose-based fibres, **Progress in Polymer Science**, v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999.

CALLISTER, William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CARUSO, L.G. Pedras naturais: extração, beneficiamento e aplicação. **Rochas e Equipamentos**, n. 43, p. 98-156, 1996.

D'ALMEIDA, J.R.M., MONTEIRO, S.N., Compósitos Reforçados por fibras naturais: oportunidades e desafios. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM,58., 2003. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CAA, 2003. p. 1725-1734.

FILGUEIRA, Marcello. **Produção de Fios Diamantados In Situ**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense LAMAV/UENF, 2000.

FU, S.Y. et al., Fracture Resistance of Short-Glass-Fiber-Reinforced and Short-Carbon-Fiber-Reinforced Poly-propylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing. **Journal of Materials Processing Technologies**, v. 89/90, p. 501-507, 1999.

HERTZBERG, Richard W. **Deformation and fracture mechanics of engineering materials**. 4th ed. Nova York, EUA: John Wiley & Sons, 1996.

VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípio de ciência e tecnologia dos materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

FADIGA EM TREM DE POUSO: carregamento e avaliação

André Fioravante de Oliveira*

Paulo Rogério Granja**

RESUMO

Esse trabalho apresenta uma metodologia para avaliar a fadiga em um conjunto ou componente mecânico e, como exemplo, utilizou-se um conjunto de trem de pouso principal para as aeronaves comerciais para o qual foi levantado uma estimativa segura para a vida útil esperada. Para o conjunto escolhido, para o qual aplicam-se cargas típicas, utilizou-se o software comercial “ANSYS Fatigue Tool” que aplica métodos de elementos finitos para determinar tensões e deformações e permite análises de fadiga por método analítico aplicado após o processamento dos métodos de elementos finitos.

Palavras-chave: Elementos finitos. ANSYS Fatigue Tool. Simulação numérica.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for assessing fatigue in a mechanical assembly or component and, as an example, we use a set of main landing gear for commercial aircraft for which we raised a safe estimate for the expected useful life. For the selected set to which it applies typical loads, use commercial software “ANSYS Fatigue Tool” that use the finite element method to determine stress and strain and allows fatigue evaluation by analytical method applied after the processing the finite element method.

Key words: Finite Elements. Fatigue. ANSYS Fatigue Tool. Numerical simulation.

1 MOTIVAÇÃO

Considerando que a maior incidência de falhas mecânicas ocorre por fadiga, o objetivo

* PUC Minas, afo_bh@hotmail.com, Mestre em Engenharia Mecânica

** PUC Minas, granja.pr@gmail.com, Graduado em Engenharia Mecânica

é apresentar um roteiro que permita determinar pelo menos um meio de obter a vida útil esperada para um elemento de máquina e determinar a sua probabilidade de falha.

2 FALHA POR FADIGA

Os processos de fadiga são caracterizados pela alteração estrutural dos materiais que compõem elementos de máquinas como consequência de carregamentos; mecânicos, elétricos, térmicos ou de qualquer outra natureza; previstos para as aplicações naturais aos quais são submetidos tais elementos e de tal forma que as características de suportabilidade desses materiais se mostrem reduzidas cumulativamente com seu uso. As falhas por fadiga ocorrerão quando um material se degradar de tal modo que sua estrutura não suporte mais uma determinada sollicitação e, em virtude dessa redução, o elemento seja levado à ruptura sob uma mesma carga que, inicialmente, era bem suportada.

3 CARACTERIZAÇÃO

A determinação do processo de fadiga e a precisão dos resultados obtidos depende da precisão com que se mede ou determina um conjunto de fatores tais como:

- a) característica do material ou dos materiais que compõem o elemento de máquina avaliado;
- b) acabamento superficial dos elementos avaliados;
- c) amplitudes das sollicitações aplicadas;
- d) direções das sollicitações aplicadas ao elemento;
- e) e frequência dessas aplicações.

Como resultado, se obtém o tempo de utilização e o número de ciclos de carregamento do elemento de máquina avaliado dentro dos quais a probabilidade de falha é aceitável para a segurança funcional de todo o equipamento.

4 FERRAMENTAS

O ANSYS, abreviatura de Analysis Systems, é uma poderosa plataforma comercial de ferramentas para Engenharia Assistida por Computação (CAE), capaz de modelar e simular

incontáveis condições de carregamento em peças e conjuntos montados. Conta com uma boa variedade de pacotes para o pré-processamento, um solver experimentado e bem consolidado pelos 45 anos de evolução e apresenta pós-processamento amigável e flexível.

Sua capacidade de análise estática, transiente, espectral, de flambagem e modal, nos oferece a possibilidade de aplicação em praticamente qualquer área da engenharia. O software é produzida e comercializada pela empresa de mesmo nome sediada em Canonsburg, Pensilvânia, Estados Unidos, desde 1970.

5 CARACTERIZAÇÃO DAS TENSÕES FLUTUANTES

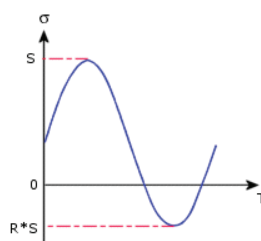
Como muitas máquinas apresentam movimentos rotativos, os carregamentos cíclicos se apresentam muito frequentemente senoidais. No entanto é sempre possível encontrar padrões dos mais variados podendo atingir níveis de complexidade elevados pela combinação de variadas solicitações, em variados sentidos, direções e intensidades.

Na avaliação de fadiga os carregamentos são classificados como:

5.1 Amplitude constante

Caracterizado por ter uma oscilação das cargas entre um valor máximo e mínimo podendo variar de forma simétrica, assimétrica, com momentos de carga nula, sempre positivas ou sempre negativas de tal modo que os valores de máximo e mínimo sempre se repetem ciclicamente conforme gráfico 1.

Gráfico 1 - Carregamento com amplitude constante



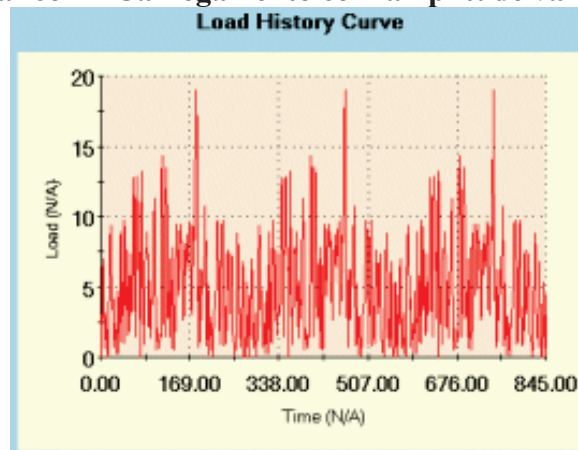
Fonte: (DASSAULT SYSTEMES, 2018).

Nesses casos, os mais simples, a prática demonstrou que a forma de onda do carregamento não interfere na fadiga e o que deve ser levado em conta é apenas os valores máximos e mínimos das cargas.

5.2 Amplitude variável

Nessas condições, os carregamentos não apresentam-se em ciclos repetitivos indefinidamente. As cargas sofrerão variações atípicas ao longo do tempo podendo ter variações de toda ordem como exemplificado na gráfico 2.

Gráfico 2 - Carregamento com amplitude variável



Fonte: (DASSAULT SYSTEMES, 2018).

Para esses casos, visivelmente mais complexos tanto na obtenção do perfil do carregamento quanto na avaliação dos danos provocados no material, uma análise de fadiga só é possível aplicando-se uma teoria de danos cumulativos que, basicamente, pressupõe que o dano provocado por um pico de tensão acima do limite de resistência é permanente e mensurável assim como pressupõe que o dano total acumulado é a soma de cada dano resultante de cada ciclo.

Matematicamente:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots \quad D = \sum \left(\frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

Observações: Ainda há uma complexidade ainda maior quando o carregamento, de amplitude constante ou variável, for aplicado em direções variáveis com o tempo chamadas de carregamentos não proporcionais.

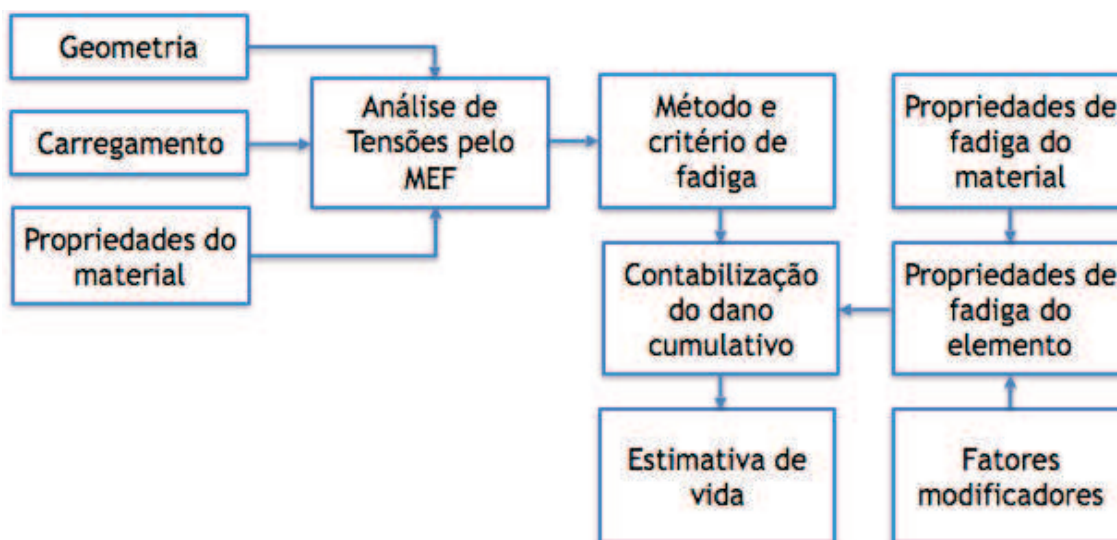
Este trabalho considera apenas o carregamento proporcional com amplitude variável, ou seja, aplicado com intensidade variáveis mas numa direção única embora o sentido possa

variar.

6 PROCEDIMENTO

Para avaliar o conjunto exemplificado, segue-se o procedimento explicitado no fluxograma 1.

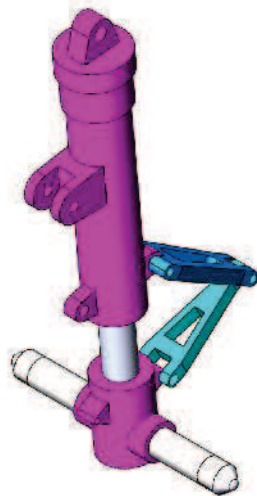
Fluxograma 1 - Fluxograma para avaliação da fadiga



Fonte: (TAKAHASHI, 2014).

7 CONJUNTO A SER AVALIADO

A montagem escolhida para avaliação foi extraída do trabalho de Tang Ani e outros por ser dedicado exatamente ao levantamento de um carregamento típico. A partir das especificações do trabalho de Tang Ani e outros reproduzimos as dimensões em 3D para chegarmos ao objeto deste estudo mostrado na figura 1.

Figura 1 - Conjunto do trem de pouso principal

Fonte: Elaborado pelos autores.

8 FATOR DE ACABAMENTO

O fator de acabamento, k_a , dos componentes a serem avaliados devem ser calculados segundo a equação:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (2)$$

S_{ut} é a resistência mínima de tração do material do componente a ser avaliado em MPa e os valores de a e b podem ser obtidos na tabela 1

Tabela 1 - Fator de acabamento

Acabamento	a	b
Retificado	1,580	-0,085
Usinado ou laminado a frio	4,510	-0,265
Laminado a quente	57,700	-0,718
Forjado	272,000	-0,995

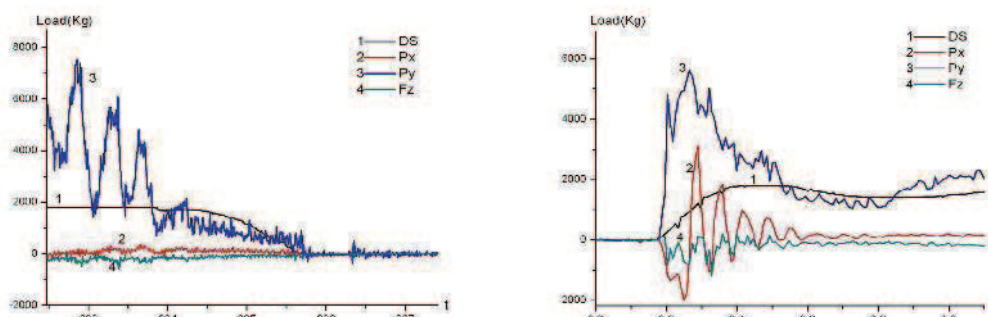
Fonte: (BUDYNAS; NISBETH, 2016).

9 CARREGAMENTOS

Os gráficos da figura 5 mostram o resultado obtido na prática conforme trabalho de Tang Ani e outros para a decolagem e para o pouso, considerados um carregamento típico para

uma aeronave no trem de pouso principal.

Gráfico 3 - Registro de carga x tempo do trem de pouso principal de uma aeronave durante decolagem e aterrissagem



Fonte: (ANI; ZHANTING; JINGTAO, 2010).

10 EXTRAÇÃO DOS DADOS A PARTIR DOS GRÁFICOS

Aplicou-se o programa MatLab GRABIT by Jiro Doke 17 Mar 2005 (Updated 01 Sep 2016)

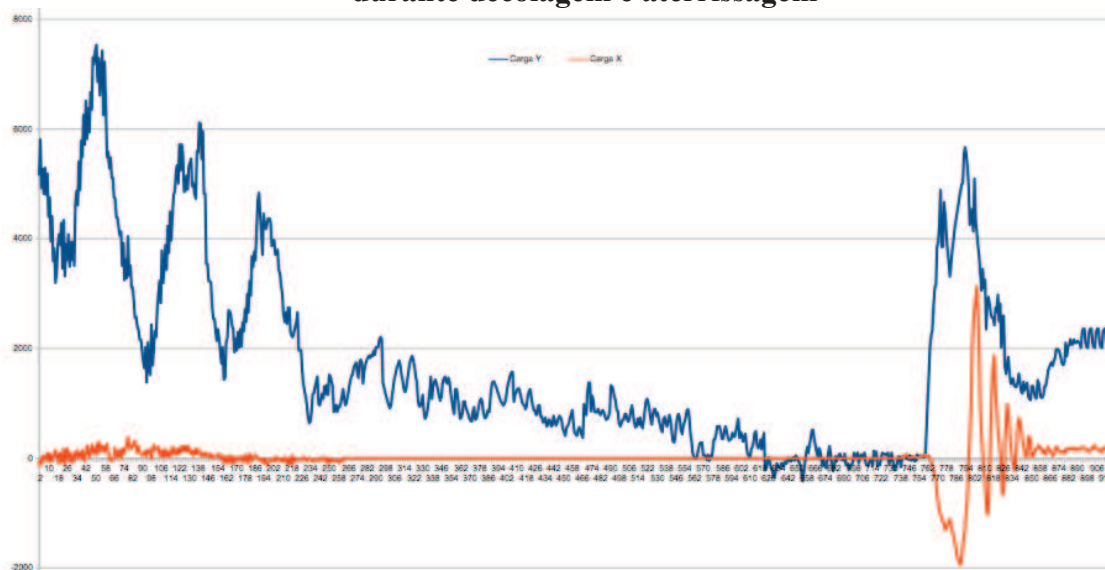
Com Grabit se extrai coordenadas e abscissas de pontos a partir de um arquivo de imagem Business Process Management (BMP), Joint Photographic Experts Group (JPG), Tagged Image File Format (TIF), Graphic Interchange Format (GIF) e Portable Network Graphics (PNG).

Adoptou-se o procedimento sugerido:

- a) abrir os arquivos gráfico 3;
- b) calibrar os eixos;
- c) clicar nos pontos, selecionamos os que comporiam nossos dados;
- d) copiar os dados obtidos e lançamos em planilha para comparar visualmente o perfil obtido com os gráficos originais.

Assim, chega-se a uma tabela de dados que, plotados formam o gráfico da gráfico 4.

Gráfico 4 - Registro de carga x tempo do trem de pouso principal de uma aeronave durante decolagem e aterrissagem



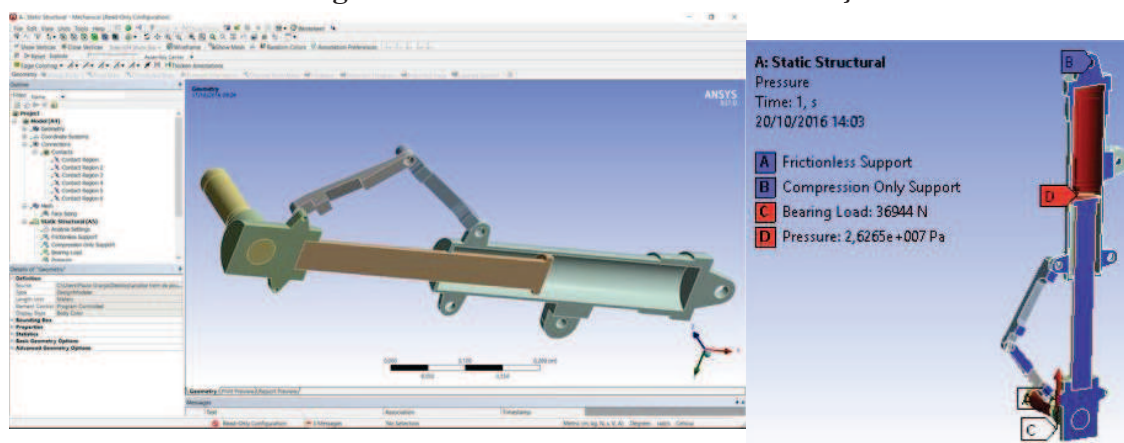
Fonte: Elaborada pelos autores.

Aplicou-se, na ferramenta, apenas as cargas Y representadas no gráfico 4 para considerar que o carregamento é proporcional conforme descrito no capítulo 5.

11 ENTRADA DE DADOS

A figura 2, mostra a geometria do conjunto, restrições e o carregamento já introduzidos na ferramenta escolhida. Observe-se o aproveitamento da condição de simetria do conjunto para reduzir os tempos de resolução pelo método dos elementos finitos que, nos exigiu a consideração simétrica do carregamento que foi dividido pela metade para ser aplicado na metade do conjunto.

Figura 2 - Geometria simétrica e restrições

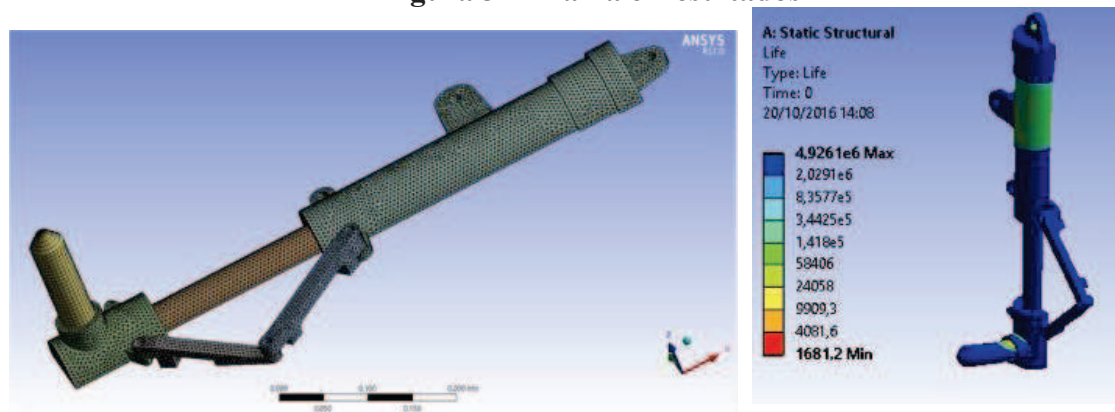


Fonte: Elaborada pelos autores

12 DEFINIÇÃO DE MALHA E RESULTADOS

A figura 3 mostra a malha definida e, após a sua resolução e o processamento pelo Fatigue Tool, os ciclos de vida esperados:

Figura 3 - Malha e Resultados



Fonte: Elaborada pelos autores.

A vida determinada corresponde ao número de ciclos de carregamento especificado no gráfico 4 repetido no mesmo conjunto. Em outras palavras, o conjunto avaliado tem vida útil esperada, em seu ponto mais crítico localizado no engastamento do eixo das rodas, de 1681 voos.

13 CONCLUSÃO

O valor do fator de acabamento possui influência muito significativa no resultado.

A ferramenta Fatigue Tool do ANSYS não é capaz de simular o caso mais generalizado de fadiga.

Para resultados confiáveis, é importante a parametrização da simulação com dados experimentais obtidos em situações mais próximas das condições do componente a ser estudado.

REFERÊNCIAS

ANI, Tang; ZHANTING , Zhou; JINGTAO, Cao. Technique of landing gear loads calibration with strain gages. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES, 27., 2010. Nice. **Anais...** Nice: ICAS, 2010. Disponível em: <http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/042.PDF>. Acesso em: 05 fev. 2018.

BUDYNAS, Richard G; NISBETH, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. Porto Alegre: AMGH, 2016.

DASSAULT SYSTEMES. **Solidworks web help**. [S.l.]: Solidwork, 2018. Available in: <<http://help.solidworks.com/>>. Access in: 5 Jan. 2018.

BADGES, Jiro Doke's. **Grabit**: version 1.0.0.1. [S.l.]: MathWorks, 2018. Available in: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/7173-grabit>>. Access in: 5 Jan. 2018.

FIALHO, Averito Bustamante. **Cosmos**: cosmosworks, cosmosmotion e cosmosflowworks: plataforma CAE do SolidWorks. São Paulo: Érica, 2008.

LEE, Yung-li et al. **Fatigue testing and analysis**. Burlington: Elsevier, 2005.

TAKAHASHI, Bruno Ximenes. **Metodologia moderna para análise de fadiga baseada em elementos finitos de componentes sujeitos a fadiga uni e multi axial**. 2014. 338 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ESTUDO DOS AVANÇOS NAS METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA DE ANCORAGENS NO SOLO

Brenda de Souza Melo*

Bruno Augusto Fonseca Duarte Ribeiro**

Jakson Silva Correia***

Thiago Bomjardim Porto****

RESUMO

As técnicas de atirantamento começaram a ser difundidas, no Brasil, por volta da década de 1950 no Rio de Janeiro, a partir da concepção da primeira Cortina Atirantada implantada na rodovia Rio de Janeiro – Teresópolis, tornando-se, então, uma grande evolução na estabilidade de encostas e taludes. Os estudos sobre a técnica de ancoragem em solos tiveram registros em 1974, segundo Souza (2001), propondo métodos empíricos para determinação da capacidade de carga nas ancoragens e apresentando os resultados em uma análise gráfica. Desde então, outros autores divulgaram estudos propondo novos métodos para definição da capacidade de carga geotécnica de ancoragem, havendo uma evolução nos parâmetros avaliados e nas metodologias. Este trabalho tem o objetivo de fazer um estudo comparativo entre as metodologias existentes para o dimensionamento geotécnico da ancoragem.

Palavras-chave: Capacidade de carga. Ancoragem. Tirantes. Cortina atirantada. Contenções.

ABSTRACT

The bolting techniques began to be disseminated in Brazil, around the 1950s in Rio de Janeiro, from the design of the first cable-stayed Cortina located on the highway Rio de Janeiro - Teresopolis, becoming then a great evolution in stability methodology slopes and embankments. Studies on the anchoring technique in soil began records in 1974, proposing empirical methods to determine the load capacity in the anchorages and presenting the results

* Graduando da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. E-mail: brenda.melo.souza@gamil.com

** Graduando da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. E-mail: brunomezenga1010@gmail.com

*** Graduando da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. E-mail: correiajakson@gmail.com

**** Professor D.Sc adjunto IV da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. E-mail: porto@pucminas.br

in a graphical analysis. Since then, other authors reported studies proposing new methods for defining the geotechnical bearing capacity of anchor, with an increase in the evaluated parameters and methodologies adopted. This work aims to make a comparative study of existing methodologies for geotechnical design of anchorage.

Keywords: Battery capacity. Anchoring. Rods. Cable-stayed curtain. Containment.

1 INTRODUÇÃO

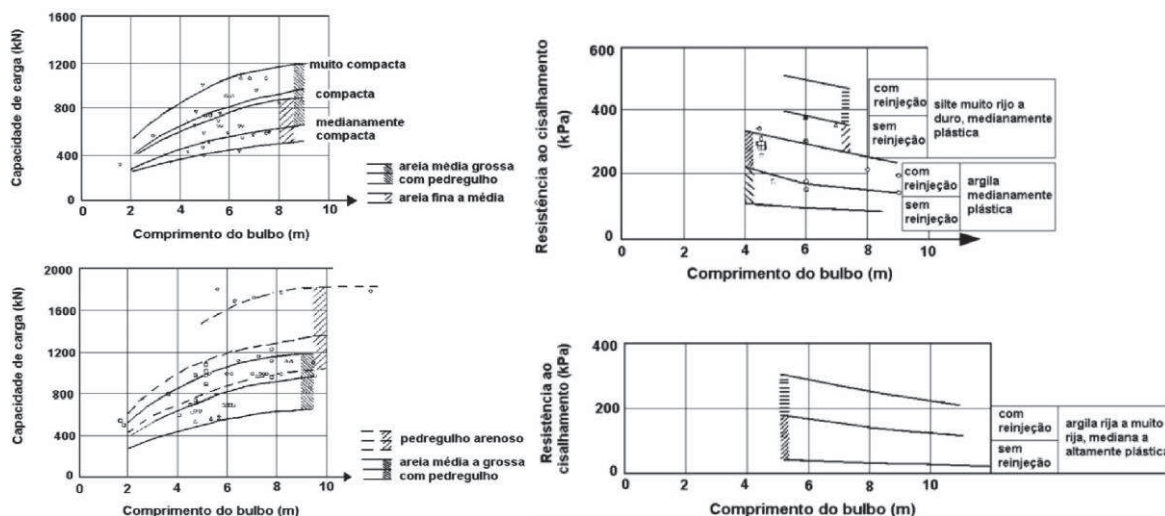
No dimensionamento da Cortina Atirantada, faz-se necessária a obtenção da capacidade de carga do bulbo de ancoragem para o correto desenvolvimento do projeto da estrutura. Para obter uma melhor representação da capacidade de carga das ancoragens nos solos, o ideal seria a realização de ensaios para determinação dos parâmetros “*in loco*”, pois estes se mostram mais eficientes devido ao fato de apresentarem características específicas do local e método de implantação da obra. Fatores como qualidade da mão de obra, processo de perfuração, processo de injeção, dentre outros, são muito importantes para determinar a capacidade de carga de ancoragem, baseando-se em cálculos fundamentados em valores absolutos da obra em questão.

Devido à inviabilidade de utilização de ensaios de laboratório, ainda, na etapa de projeto, são utilizados métodos empíricos para dimensionamento da capacidade de carga em geral. Estes métodos abrangem o conceito de que a capacidade de carga e resistência da ancoragem está, diretamente, ligada à resistência ao cisalhamento que ocorre na interface solo-bulbo, desprezando os efeitos das etapas do processo de construção. Assim, foi realizado o estudo comparativo de alguns desses métodos, considerando o efeito da capacidade de carga final para cada um deles, a partir de um projeto real de Cortina Atirantada.

2 MÉTODO DE OSTERMAYER

Ostermayer (1974), citado em Souza (2001), realizou mais de 300 experimentos na Alemanha em solos granulares e coesivos utilizando ancoragens com diâmetros de perfuração de 100 a 200 mm e altura de solo confinante superior a 4 m, relacionando os valores do comprimento do bulbo de ancoragem (L_b) com os da capacidade de carga do tirante ($T_{máx}$) e expondo estes em ábacos, conforme Figura 1.

Figura 1 – Capacidade limite de carga de ancoragem executada em solos granulares e solos coesivos



Fonte: (OSTERMAYER, 1974 apud SOUZA, 2001).

Na avaliação da capacidade de carga em solos granulares, Ostermayer (1974) dispensa critérios como a amplitude da pressão de injeção de calda de cimento e o procedimento de injeção utilizado na realização da obra. No caso de solos coesivos para estimar a oscilação da resistência ao cisalhamento do bulbo de ancoragem (q_s), na interface bulbo-solo, Ostermayer leva em consideração a influência da técnica de injeção, juntamente, com o comprimento de ancoragem do tirante (L_b).

3 MÉTODO DE BUSTAMANTE & DOIX

Bustamante e Doix (1985), citado por More (2003), propuseram e no final desenvolveram, a partir de 120 provas de cargas realizadas, um método analítico para avaliar a capacidade limite de carga de ancoragem, que leva em consideração o volume da calda de cimento injetada, a pressão de injeção e a técnicas de injeção. Desse modo, infere-se que a tensão de ancoragem é o resultado da função da tensão de cisalhamento aplicada em toda extensão longitudinal da área do bulbo de ancoragem, como expresso nas Equações 1 e 2.

$$T_L = \pi \cdot D_s \cdot L_b \cdot q_s \quad (1)$$

$$D_s = \beta D_p \quad (2)$$

Em que:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_s = diâmetro médio do bulbo (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

q_s = resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p = diâmetro perfurado do furo (m);

β = coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção.

A partir da verificação do tipo de solo, pode se determinar o coeficiente, levando em consideração as duas técnicas de injeção:

- a) injeção em estágio único (IEU) ou sem reinjeção;
- b) injeção em estágio repetitivo (IER) ou com reinjeção.

Nota: Deve-se injetar o valor mínimo de 1,5 vezes o volume perfurado de nata de cimento, para que o coeficiente β alcance o valor previsto.

Na Tabela 1, são elencados os valores do coeficiente β , de acordo com o tipo de solo.

Tabela 1 - Coeficiente de majoração β do diâmetro do bulbo resultante da injeção

Tipo de solo	Coeficiente β	
	Com reinjeção	Sem Reinjeção
Cascalho	1,8	1,3 – 1,4
Cascalho Arenoso	1,6 – 1,8	1,2 – 1,4
Areia com Cascalho	1,5 – 1,6	1,2 – 1,3
Areia Grossa	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2
Areia Média	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2
Areia Fina	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2
Areia Siltosa	1,4 – 1,5	1,1 – 1,2
Silte	1,4 – 1,6	1,1 – 1,2
Argila	1,8 – 2,0	1,2

Fonte: Adaptado de (BUSTAMANTE; DOIX, 1985 apud PORTO, 2015).

4 MÉTODO DE COSTA NUNES

O método apresentado por Costa Nunes (1987) assemelha-se à concepção do método de Bustamante e Doix (1985), ambos citados por Porto (2015), tendo como principal distinção o conceito da resistência ao cisalhamento q_s , que ocorre na interface bulbo-solo. Esta diferença

tornou possível a análise quantitativa e, não apenas, a qualitativa da pressão de injeção de calda de cimento.

Costa Nunes (1987), citado em Porto (2015) adotou o critério de ruptura de Mohr-Coulomb para definição da resistência ao cisalhamento, definida pelas Equações 3, 4 e 5, que ocorre na interface solo-bulbo, considerando que a pressão residual de injeção σ'_r representa 50% da pressão de injeção aplicada.

$$T_L = \pi \cdot D_p \cdot n_d \cdot L_b \cdot n_l \cdot q_s \quad (3)$$

$$q_s = \tau = c + (\sigma'_v \cdot \sigma'_r) \cdot tg\phi \quad (4)$$

$$q_s = c + (\gamma \cdot h \cdot n_h + \sigma'_r) \cdot tg\phi \quad (5)$$

Em que:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_p = diâmetro perfurado (m);

n_d = fator de aumento do diâmetro pela pressão de injeção;

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

n_l = fator de redução do comprimento do bulbo. Para comprimentos até 8 metros, $n_l = 1$;

$q_s = \tau$ = aderência na ruptura ou resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo;

c = aderência entre a calda e o solo; adota-se à coesão real do solo;

γ = peso específico do solo;

h = profundidade do centro do bulbo;

n_h = fator de redução da profundidade. Para valores maiores que 9 m, $n_h = 1$;

ϕ = ângulo de atrito do solo;

σ'_v = tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;

σ'_r = pressão residual efetiva de injeção no ponto médio do bulbo.

5 MÉTODO DA NORMA BRASILEIRA – NBR-5629/2006

No caso do dimensionamento da capacidade limite de carga de ancoragem, pela Norma NBR-5629/2006 Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), obtêm-se a resistência a tração de acordo com o tipo de solo.

Para solos arenosos, a capacidade de carga é dada pela Equação 6.

$$T = \sigma'_z \cdot U \cdot L_b \cdot K_f \quad (6)$$

Em que:

T = capacidade de carga limite da ancoragem (kN);

σ'_z = tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;

U = perímetro médio da seção transversal do bulbo de ancoragem;

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

K_f = coeficiente de ancoragem.

Na Tabela 2, são dispostos os valores de K_f , de acordo com o tipo de solo.

Tabela 2 - Coeficiente de ancoragem K_f de acordo com o tipo / compactidade do solo

Solo	Compactidade		
	Fofa	Compacta	Muito Compacta
Silte	0,1	0,4	1,0
Areia Fina	0,2	0,6	15
Areia Média	0,5	1,2	2,0
Areia Grossa e Pedregulho	0,1	2,0	3,0

Fonte: Adaptado de (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Para solos argilosos, a capacidade de carga é dada pela Equação 7.

$$T = \alpha \cdot U \cdot L_b \cdot S_u \quad (7)$$

Em que:

T = capacidade de carga limite da ancoragem (kN);

α = coeficiente redutor da resistência ao cisalhamento;

U = perímetro médio da seção transversal do bulbo de ancoragem;

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

S_u = resistência ao cisalhamento não drenado do solo argiloso.

Os valores de S_u são definidos por:

$\alpha = 0,75$, para $S_u \leq 40$ kPa;

$\alpha = 0,35$, para $S_u \geq 100$ kPa;

Entre estes valores, deve-se interpolar linearmente.

6 MÉTODO DE PORTO

Porto (2015) propõe um método analítico baseado em ensaios e experimentos realizados em obras executadas no estado de São Paulo, avaliando parâmetros obtidos por meio da sondagem do local da obra. Dessa forma, é possível obter a capacidade de carga dos tirantes relacionando o SPT com a resistência ao cisalhamento do solo, conforme as Equações 8, 9 e 10.

$$T_L = \pi \cdot D_s \cdot L_b \cdot q_s \quad (8)$$

$$D_s = \beta \cdot D_p \quad (9)$$

$$q_s = 10 \cdot \kappa \cdot \left(\frac{SPT}{3} + 1 \right) \quad (10)$$

Em que:

T_L = capacidade de carga do bulbo (kN);

D_s = diâmetro médio do bulbo (m);

L_b = comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

q_s = resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p = diâmetro perfurado do furo (m);

β = coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção;

κ = coeficiente de ancoragem (kN/m²), definido na Tabela 3.

Tabela 3 - Determinação do coeficiente de ancoragem (κ) e coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção de acordo com o solo predominante.

Solo Predominante	β	Valores de κ (kN/m ²)	
		Valores com 80% de confiança	Valor mais provável
Argila Siltosa	2,10	1,20 a 1,29	1,25
Argila Arenosa	2,10	0,90 a 1,01	0,95
Silte Argiloso	1,97	2,37 a 2,77	2,57
Silte*	2,11	2,04 a 2,28	2,16
Silte Arenoso	2,25	1,70 a 1,78	1,74
Areia Argilosa	2,20	2,57 a 2,77	2,67
Areia Siltosa	2,20	2,10 a 2,37	2,24

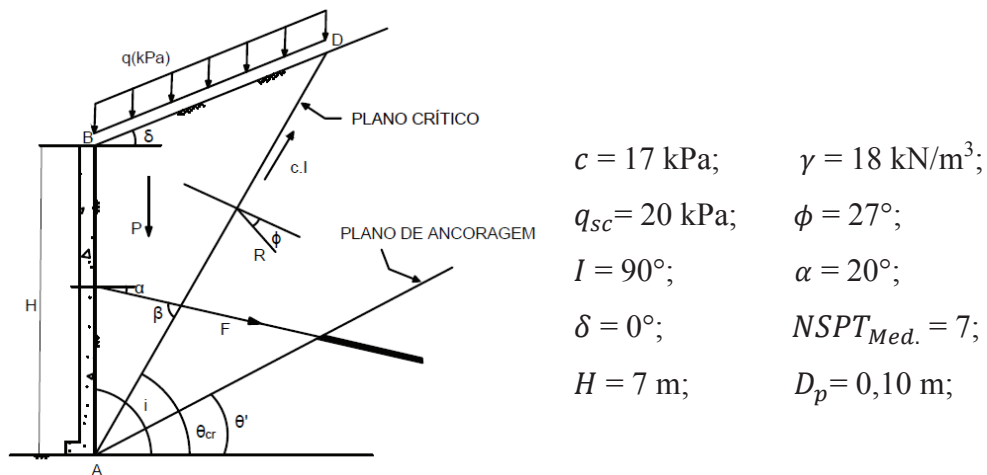
Fonte: Adaptado de (PORTO, 2015).

7 ESTUDO PRÁTICO

A partir das metodologias apresentadas nesse contexto, foi realizado um estudo comparativo dos resultados para avaliação da capacidade de carga das ancoragens, através das formulações empíricas aplicadas a um caso prático.

Dessa forma, foi possível ter acesso a todos os parâmetros necessários para verificação da capacidade de carga das ancoragens, tais como peso específico do solo, coesão, ângulo de atrito, dentre outros, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Forças atuantes no plano de ruptura



Fonte: Adaptado de (RODRIGUES, 2011).

No dimensionamento da cortina atirantada, baseada em parâmetros como dimensão do talude, tipo de solo, empuxo, peso da cunha de ruptura, sobrecarga atuante dentre outros, verificou-se a necessidade da implantação de uma cortina atirantada com altura de sete metros e comprimento de quarenta e oito metros.

O número total de tirantes na cortina atirantada será de quarenta e oito, onde a disposição dos mesmos serão duas linhas horizontais, mantendo um espaçamento interno na vertical de três metros e espaçamento horizontal de dois metros, com as seguintes características: linha superior com comprimento livre de cinco metros e comprimento ancorado de quatorze metros; linha inferior com comprimento livre de cinco metros e comprimento ancorado de dez metros.

A partir destas informações, determinou-se as tensões verticais efetivas nos pontos médios dos bulbos de ancoragem, onde tem-se: bulbo da linha superior com 109,8 kPa; e bulbo da linha inferior com 151,56 kPa.

Os resultados obtidos para a capacidade de carga das ancoragens são apresentados na

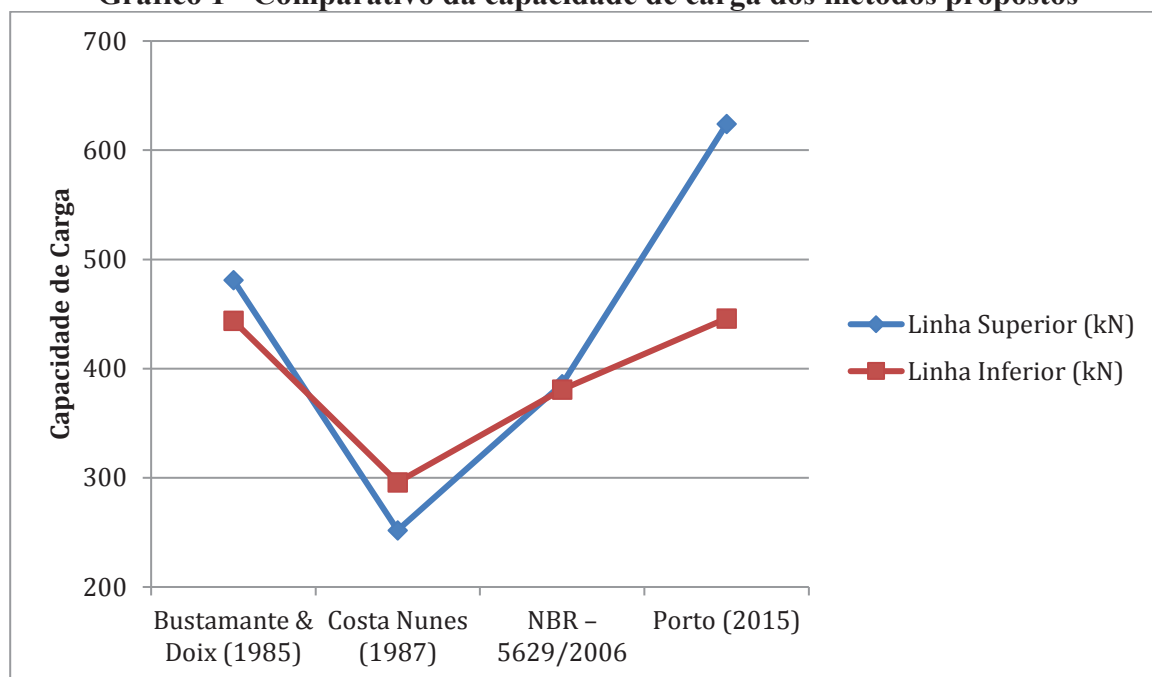
Figura 3, onde é possível observar a variação dos mesmos de acordo com cada método proposto.

Tabela 4 - Comparativo da capacidade de carga dos métodos propostos

Método	Linha Superior (kN)	Linha Inferior (kN)
Bustamante & Doix (1985)	481	444
Costa Nunes (1987)	252	296
NBR – 5629/2006	386	381
Porto (2015)	624	446

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1 - Comparativo da capacidade de carga dos métodos propostos



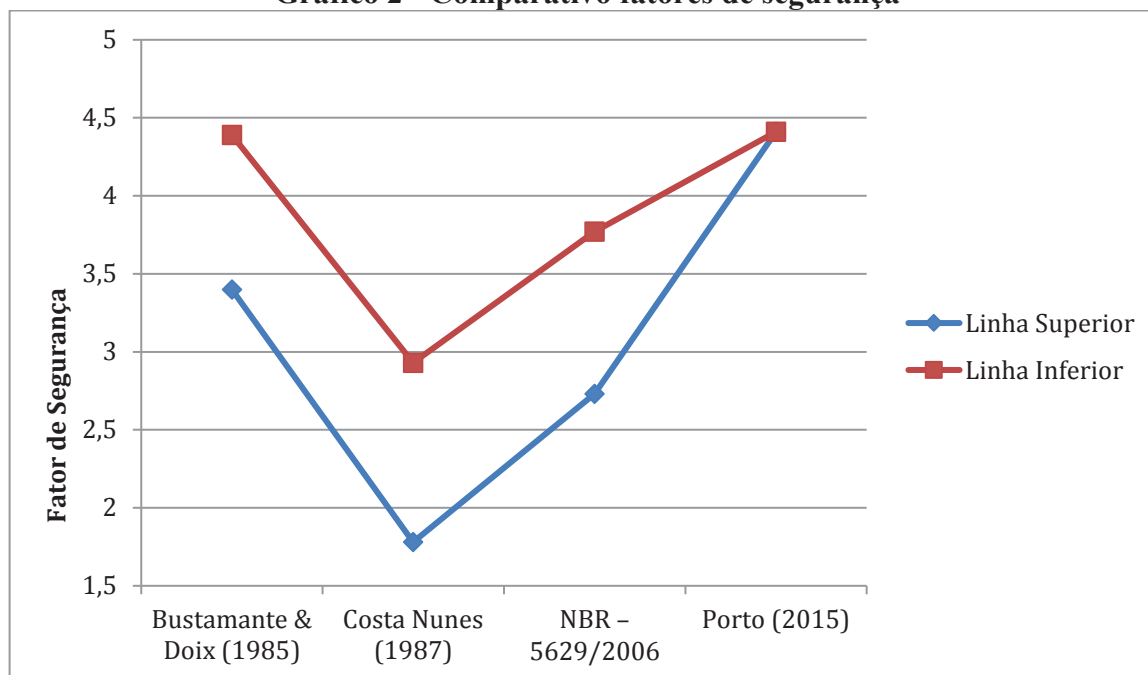
Fonte: Elaborado pelos autores.

Através da determinação da carga atuante na parede da cortina, foi possível verificar o fator de segurança resultante para cada método supracitado. O fator de segurança é obtido através da divisão da capacidade de carga de cada tirante pela carga solicitante em cada tirante, de acordo com a sua área de influência. As relações dos resultados encontrados são apresentadas na Figura 4.

Tabela 5 - Comparativo fatores de segurança

Método	Linha Superior	Linha Inferior
Bustamante & Doix (1985)	3,40	4,39
Costa Nunes (1987)	1,78	2,93
NBR – 5629/2006	2,73	3,77
Porto (2015)	4,41	4,41

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 2 - Comparativo fatores de segurança

Fonte: Elaborado pelos autores.

8 CONCLUSÃO

A análise dos resultados possibilitou observar que não existe uma variação considerável entre os valores obtidos para a capacidade de carga das ancoragens, tanto para os tirantes da linha superior quanto para os tirantes da linha inferior.

Um dos fatores para o qual se deve atentar é o coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção. Este, além de influenciar, diretamente, na capacidade de carga da ancoragem, deve ser observado por variar de acordo com o tipo de solo – suas características geotécnicas – e, também, com os métodos de injeções utilizados, desde a pressão de injeção até o efeito causado pela reinjeção, quando aplicado.

De modo geral, os estudos geotécnicos tiveram um grande avanço nos últimos anos. Porém devido a incerteza que o solo apresenta, ainda se faz necessário trabalhar com fatores de segurança acima do limite inferior, de modo a prevenir possíveis variações nos maciços que

possam comprometer a vida útil da estrutura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5629**: execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

MORE, Javier Zenobio Pérez. **Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.pucRio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=4127@1> Acesso em: 11 abr. 2016.

PORTO, Thiago Bomjardim. **Ancoragem em solos: comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle**. 2015. 202 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015. Disponível em: <<http://www.nugeo.ufop.br/discente/155/thiago-bomjardim-porto>> Acesso em: 01 abr. 2016.

RODRIGUES, José Martinho de Azevedo. **Método de Culmann: ancoragens e tirantes**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. (Apostila de Obras de Terra I). Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/73104262/Apostila-de-Culman-Tirantes>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

SOUZA, Rubenei Novais. **Ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo: previsão de comportamento e controle de execução**. 2001. 331 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS ANCORADAS

Brenda Machado de Souza Leopoldino*

Hudson Rodrigo Gonçalves Caires**

Mayra Bolina Marques***

Thiago Bomjardim Porto****

RESUMO

Para se determinar a estabilidade de um talude, é necessário conhecer alguns parâmetros do solo, como a resistência ao cisalhamento (ângulo de atrito e coesão), peso específico do solo, nível do lençol freático, entre outros. A estabilidade pode ser estudada através de análises probabilísticas, que se referem a probabilidade da ruptura ocorrer, e por métodos determinísticos, envolvendo análise do fator de segurança. Dentro dos métodos determinísticos destaca-se os Métodos de Equilíbrio Limite, que segue determinados critérios para ser aplicado, e norteia-se pelo fato do fator de segurança ser a razão da tensão resistente pela tensão mobilizada, além disso, a potencial superfície de ruptura deve ser definida ao longo do talude por cálculos iterativos, o solo deve possuir comportamento rígido-plástico e o fator de segurança deve ser considerado constante ao longo de toda a superfície, utilizando o método das fatias ou métodos das cunhas. Este artigo tem o objetivo de relatar a evolução histórica das formulações analíticas de estabilidade de taludes utilizando equilíbrio limite, desde sua fundamentação inicial com Fellenius e Bishop até sua adaptação/evolução para estruturas ancoradas, como o método de Kranz e Bromns. Por fim é feito um estudo de caso utilizando o método de Kranz.

Palavras-chave: Equilíbrio-limite. Estabilidade de taludes. Ancoragem.

* Engenheira Civil – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

** Engenheiro Civil – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

*** Engenheira Civil – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**** Doutor em Geotecnia – Universidade Federal de Ouro Preto

ABSTRACT

To determine the stability of a slope, you must know some soil parameters such as shear strength (angle of friction and cohesion), specific weight of soil, groundwater level, among others. The stability can be studied through probabilistic analysis that relate the likelihood of rupture occur, and deterministic methods involving the safety factor analysis. Within the deterministic stands out the limit equilibrium methods, following certain criteria to be applied, and is guided by the fact that the safety factor is the ratio of the resistant strain by mobilized voltage, moreover, the potential failure surface should be well defined along the slope, the soil must have hard-plastic behavior and the safety factor must be considered constant over the entire surface using the method of slices or wedges methods. This article aims to describe the historical development of analytical formulations of slope stability using limit equilibrium, since its initial foundation with Fellenius and Bishop until his adaptation / evolution for anchored structures, such as the method of Kranz and Bromns.

Keywords: Equilibrium limit. Slope stability. Anchoring.

1 INTRODUÇÃO

As causas de instabilidades das encostas podem ser externas, internas ou intermediárias, segundo Terzaghi (1943), citado por Guidicini e Nieble (1983), As causas externas causam alteração significativa na geometria, como sobrecarga na crista. As causas internas são provocadas pelo intemperismo, oscilação térmica, situações que provocam perda da resistência de cisalhamento do solo, essencial para a estabilidade. Já as causas intermediárias são aquelas que não se enquadram em nenhuma das outras duas classificações, originadas pela erosão interna (piping), pelo processo de liquefação e rebaixamento do NA.

De maneira geral a estabilidade de um talude é dada pelo seu fator de segurança, estabelecido pela razão entre a tensão de cisalhamento resistente e a mobilizada (ou atuante), dada pela Equação 1:

$$F_s = \frac{\tau_r}{\tau_d} \quad (1)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, τ_r é a tensão resistente de cisalhamento e τ_d a

tensão mobilizada ou atuante do solo. Com isso é possível observar 3 situações em que o solo está sujeito, apresentadas no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Análise do fator de segurança em taludes

Situação	Fator de Segurança	Resultado
$\tau_r > \tau_d$	$F_S > 1$	Estável
$\tau_r = \tau_d$	$F_S = 1$	Equilíbrio limite
$\tau_r < \tau_d$	$F_S < 1$	Ruptura

Fonte: Elaborado pelos autores.

A necessidade de ocupação de terrenos urbanos, decorrente do crescimento populacional, tem desafiado os engenheiros geotécnicos a buscar métodos de equilíbrio dos esforços horizontais sem ocasionar grandes deslocamentos no maciço. Assim, na década de 30, começaram a ser desenvolvidas técnicas para análise da estabilidade de encostas através dos métodos conhecidos como Teoria do Equilíbrio Limite. Essa teoria determina uma superfície de ruptura bem definida ao longo do talude, podendo ser planar, circular ou em cunha, com o fator de segurança constante ao longo de toda superfície, além de considerar o solo com comportamento rígido-plástico. Para utilização desse método é mais comum ser aplicado o Método das Fatias, que será a base de estudo do presente artigo.

A técnica de contenção por meio de cortinas ancoradas é utilizada em grande escala, devido a segurança que ela fornece, com a garantia de antecipação do comportamento das ancoragens e das perdas, e pode ser utilizada em grandes alturas e áreas restritas. Com isso, observou-se, que com o passar dos anos, os Métodos de Equilíbrio Limite começaram a ser adaptados para esse tipo de estrutura.

Por essas razões, este artigo apresenta um ótimo meio para se comparar a evolução histórica das técnicas para estabilidade de encostas. Possibilita uma análise crítica dos métodos que começa com Fellenius, utilizado para contenções usuais, até chegar no método de Broms, este já específico para estruturas ancoradas.

2 MÉTODOS DE ESTABILIDADE DE TALUDES

O método das fatias é o método mais usual de análise da estabilidade de taludes. Ele atribui ao solo uma superfície de deslizamento, circular ou não, acima dessa linha de ruptura o solo é dividido em fatias e a análise da estabilidade é feita pelo equilíbrio de cada uma das fatias.

Na literatura são encontradas várias abordagens diferentes para este método, uns considerados rigorosos, são aqueles que consideram o equilíbrio das três forças no sistema - vertical, horizontal e momentos -, e os não rigorosos, que não avalia o equilíbrio de todas as forças, apenas duas delas. Dentre os métodos rigorosos estão: Spencer, Morgenstern-Price. Os métodos não rigorosos são dados por: Fellenius, Bishop Simplificado. Neste artigo serão detalhados os métodos de Fellenius e Bishop Simplificado.

Os métodos anteriores são usados para estabilidade do talude sem medidas estruturais de contenção. Com o crescimento de obras ancoradas, foram desenvolvidos métodos específicos para cortinas atirantadas, onde não basta análise do solo, mas sim uma interação dos dois componentes (solo-estrutura). Segundo More (2003), essa interação solo-estrutura é feita pela análise global que relaciona-se com a posição que o bulbo se encontra e as alterações de tensões no solo provocadas pelos tirantes.

Várias são as causas que levam o rompimento de uma cortina atirantada, como: Ruptura dos tirantes, insuficiência de ancoragem no bulbo, insuficiência de protensão no tirante, cisalhamento. Todas elas ocorrem, sobretudo, pela falta de conhecimento geológico do terreno, projeto sem os detalhes necessário ou falta de controle das técnicas construtivas. Há métodos desenvolvidos para cortinas atirantadas: método de Kranz, método de Broms, método de Costa Nunes e Velloso. No presente trabalho serão mostrados os métodos de Kranz e Broms. (STROM ; EBELING, 2002)

Apresenta-se, na Figura 1, uma linha do tempo mostrando a evolução dos métodos de estabilidade de taludes.

Figura 1 - Linha do tempo evolucionária dos métodos de estabilidade de taludes



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1 Método de Fellenius

O primeiro método considerando fatias para o cálculo foi de Fellenius. Neste método, a superfície de ruptura é considerada circular, sendo cada fatia avaliada separadamente, baseada

no equilíbrio limite de forças. O método considera que não há interação entre as fatias e que as forças paralelas entre elas podem ser desconsideradas por serem de igual intensidade. (FIORI ;CARMIGNANI, 2013). A equação 2 apresenta a fórmula geral de Fator de Segurança para o método de Fellenius:

$$FS = \frac{\sum(c'.l) + W \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi'}{\sum W \cdot \operatorname{sen} \alpha} \quad (2)$$

Onde, c' é a coesão do solo, l é a base da fatia, W o peso da fatia, ϕ' o ângulo de atrito do solo e α o ângulo que a base da fatia faz com o plano horizontal.

2.2 Método de Bishop simplificado

Em 1955, Bishop aperfeiçoou o método de Fellenius, agora considerando relação entre as fatias, conhecido como Método de Bishop Simplificado. Este método supõe que as forças resultantes horizontais entre as fatias se anulam. A equação 3 apresenta a formulação geral de Fator de Segurança para o método de Bishop Simplificado (1955):

$$FS = \frac{\sum c'.b + [W - (u.b) \cdot \operatorname{tg} \phi']}{\sum W \cdot \operatorname{sen} \alpha} \quad (3)$$

Na qual, c' é a coesão do solo, b é a base da fatia, considerada paralela ao solo, W o peso da fatia, ϕ' o ângulo de atrito do solo, α o ângulo que a base da fatia faz com o plano horizontal, u é a poropressão na base da fatia e m_α a força de interação entre as fatias. Essa força de interação m_α é dada na equação 4:

$$m_\alpha = \cos \alpha + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \alpha}{FS} \quad (4)$$

Dadas as equações (3) e (4), nota-se que o fator de segurança está presente nos dois lados da equação. Assim, não é possível obter o fator de segurança diretamente, é necessário estimar um valor para o FS do lado esquerdo e assim obter um FS para o lado direito da equação. Repete-se o processo até obter o fator de segurança adequado.

2.3 Método de Broms

Segundo Broms (1968), citado por More (2003), a cortina é um grande muro de gravidade devido a protensão, assim a ruptura deve ser analisada pela base. A reação de ponta da cortina é dada como igual a força de ancoragem vertical e o empuxo passivo é estudado, desconsiderando o empuxo ativo e a esforço de ancoragem. Deste modo tem-se duas etapas de cálculo, a primeira cria-se um polígono de forças e calcula o empuxo necessário a partir do ângulo de atrito real do solo. Na segunda etapa de cálculo, faz-se uma redução de 30% (trinta por cento) do ângulo de atrito real do solo, criando outro polígono de forças e calculando um novo empuxo e assim um novo fator de segurança. (MORE, 2003)

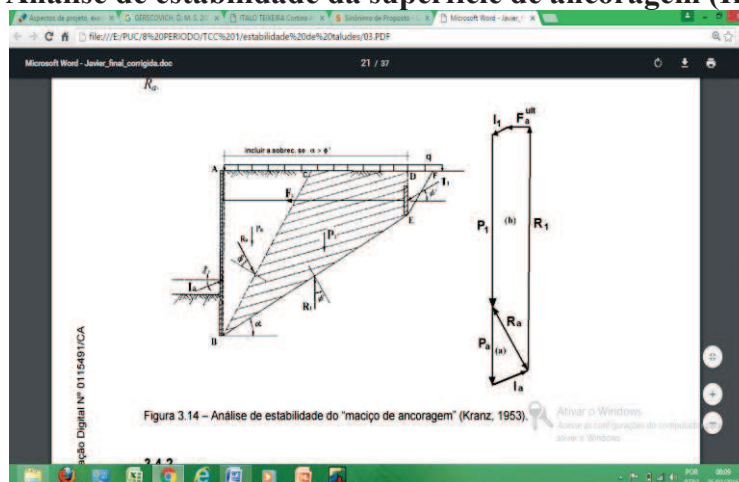
A equação 5 mostra qual a fórmula do fator de segurança para o método de Broms (1968):

$$FS = \frac{I_p^{(a)}(\text{original})}{I_p^{(b)}(\text{necessário})} \geq 1,5 \quad (5)$$

2.4 Método de Kranz

O método de Kranz considerava a análise de estabilidade da relação solo-estrutura com base em ancoragens em placas, apresentada na figura 3 (MORE, 2003).

Figura 2 - Análise de estabilidade da superfície de ancoragem (Kranz, 1953)



Fonte: More (2003)

Em que P_1 é o peso próprio do bloco, F_a a força na ancoragem, I_1 a resultante do empuxo ativo na cunha, R_1 e R_a as Forças de reação tangencial aplicada a BE e BC, P_a o peso próprio da cunha, I_a o empuxo ativo sobre a cortina e F_a^{ult} a força máxima de tração. Por meio do equilíbrio dos polígonos obtém-se a equação geral do fator de segurança, dada na equação 6, sabendo que $FS \geq 1,5$ para ancoragens provisórias e $FS \geq 1,75$ para definitivas:

$$FS = \frac{F_a^{ult}}{F_a^{tração}} \quad (6)$$

Em 1968, Ranke e Ostemayer, citado em MORE (2003), generalizaram o método de Kranz para linhas de duplas ancoragens, considerando três situações:

- ancoragem superior é menor que a inferior e considera-se que na ancoragem inferior não se origina nenhuma superfície de ruptura;
- ancoragem superior é maior que a ancoragem inferior e o centro da ancoragem superior está situada no interior da cunha de ruptura ativa da inferior;
- no terceiro caso, a ancoragem superior é maior que a inferior e situa-se fora da cunha de ruptura da ancoragem inferior.

Assim, para cada uma das ancoragens estabelece-se um polígono de forças e a partir deles o fator de segurança é calculado separadamente. Considera-se a cunha de ruptura passando pelo ponto médio do bulbo de ancoragem, para obter maior segurança no sistema. (RANKE ; OSTEMAYER, 1968, apud MORE, 2003).

As equações 7, para ancoragem superior e 8, para ancoragem inferior mostram a fórmula para o cálculo do fator de segurança do Método de Kranz, considerando a situação 1:

$$F_{BC} = \frac{F_{a1}^{ult}}{F_{a1}^{tração}} \quad (7)$$

$$F_{BF} = \frac{(F_{a1} + F_{a2})^{ult}}{(F_{a1} + F_{a2})^{tração}} \quad (8)$$

Para a situação 2 a formulação é similar da situação 1, o mesmo ocorre para ancoragem superior

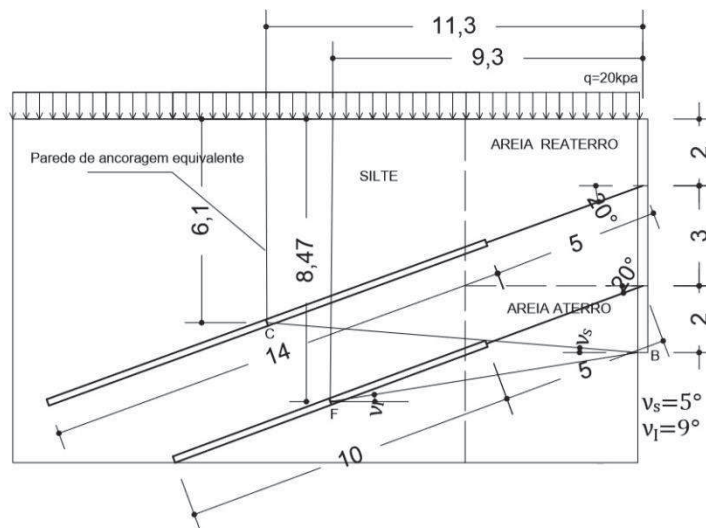
da situação 3. Já a ancoragem inferior da terceira situação utiliza-se a equação 9:

$$F_{BF} = \frac{F_{a2}^{ult}}{F_{a2}^{trabalho}} \quad (9)$$

3 ESTUDO DE CASO TEÓRICO - MÉTODO DE KRANZ

Foi realizado um estudo para uma cortina atirantada com duas ancoragens em João Monlevade/MG (figura 3), com o objetivo de se determinar o fator de segurança da estabilidade global da cortina, através do Método de Kranz. Obteve-se o fator de segurança pela divisão da força de ancoragem possível no sistema com o somatório das reações horizontais nas duas linhas de tirantes. A memória de cálculo do estudo encontra-se no ANEXO A. O resultado obtido para o Fator de Segurança de $F_s = 1,72$ foi satisfatório, segundo a NBR 5629:2006, Execução de Tirantes Ancorados no Terreno.

Figura 3 - Cortina Atirantada de Estudo de Caso



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

O presente artigo exhibe alguns dos principais métodos para análise de estabilidade de taludes. Podendo ser observado que, apesar das diferenças, eles tomam por base os mesmos fatores para estudo: coesão, resistência ao cisalhamento, ângulo de atrito, peso específico do solo. Ao passar dos anos, houve aperfeiçoamentos que melhoraram o grau de precisão dos

métodos, mas nada que impeça a utilização de métodos já consagrados, como de Fellenius. O grande avanço dos métodos de estabilidade foi a adaptação para estruturas ancoradas, uma vez que este tipo de contenção tem crescido no Brasil. Para cortinas atirantadas não leva-se em consideração apenas o solo, mas sim a interação da estrutura com o mesmo. No estudo de caso analisado obteve-se resultado satisfatório, com fator de segurança maior que 1,5 de acordo com a NBR 5629, considerando o método de Kranz para cálculo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5629**: Execução de Tirantes Ancorados no Terreno. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

FIORI, Alberto Pio; CAMIRGNANI, Luigi. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicação na estabilidade de taludes . 2.ed. Curitiba: Editora UFPR, 2013.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgar Blucher, 1983.

MORE, Javier Zenobio Pérez. **Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos**. 2003, 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em:
<http://www.maxwell.vrac.pucRio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=4127@1>
Acesso em: 11 abr. 2016.

RANKE, A. & OSTERMAYER, H. Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung Mehrfach Verankerter Baugrubenumschlie (Contribuição para a Investigação da Estabilidade de Cortinas Multiancoradas). Die Bautechnik, 45 (10). 341-350. 1968.
STROM, Ralph W.; EBELING, Robert M. **Methods used in tieback wall design and construction to prevent local anchor failure, progressive anchorage failure, and ground mass stability failure**. Washington, DC: US Army Corps of Engineers, 2002.

ANEXO A - Memória de cálculo do estudo de caso

Memória de cálculo do Fator de Segurança pelo método de Kranz, para cortina em duas ancoragens em João Monlevade/MG

Dados: $q_s = 32,33 \text{ kN}$ $q_s = 32,33 \text{ kN}/E_a = 283,15 \text{ kN}$ $E_a = 283,15 \text{ kN}/q_{sc}^* = 8,12 \text{ kPa}$

$q_{sc}^* = 8,12 \text{ kPa}$ /Sobrecarga: $20 \text{ kPa}/\delta = 0^\circ/\beta = 0^\circ/\beta = 0^\circ$

Solo na parede de ancoragem :Areia compactada

Solo no bulbo de ancoragem: Silte

Quadro 2 - Características do Solo da Cortina Atirantada

Solo	γ (kN/m ³)	ϕ	Coesão	Espessura	Ka
Areia reaterro	18	29°	0	5m	0,347
Areia aterro	17	25°	0	2m	0,406
Silte	18	27°	17	7m	0,376

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cálculo para Múltiplas Ancoragens

a) Cálculo do Empuxo na parede equivalente de ancoragem

$$E_{equi} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot d_s^2 \cdot ka \quad (10)$$

Linha Superior: $E_S = 125,92 \text{ kN}$ $E_S = 125,92 \text{ kN}/\text{Linha}$ Inferior: $E_I = 242,77 \text{ kN}$

$E_I = 242,77 \text{ kN}$

$E_{equi}^* = 242,77 \text{ kN}$

b) Cálculo do Peso do Prisma

$$G^* = \frac{(d_{sup} + d_{inf})}{2} \cdot (J_{sup} - J_{inf}) \cdot \gamma \quad (11)$$

$G^* = 262,26 \text{ kN}$ $G^* = 262,26 \text{ kN}$

c) Cálculo do ν

$$\nu = \arctan \left[\left(\frac{d_{s_{inf}} - tg\beta \cdot J_{inf}}{J_{sup} - J_{inf}} \right) - \left(\frac{d_{s_{sup}} - tg\beta \cdot J_{sup}}{d_{s_{sup}} - tg\beta \cdot J_{sup}} \right) \right] \quad (12)$$

$$\nu = 49,84^\circ \nu = 49,84^\circ$$

d) Cálculo do Erh*

$$E_{rh}^* = [G^* - (E_{s_{qui}}^* - E_S)tg\delta]tg(\phi - \nu) \quad (13)$$

$$E_{rh}^* = -110,46 \text{ kN} E_{rh}^* = -110,46 \text{ kN}$$

e) Cálculo do fator de redução da ancoragem

$$f_A^* = \frac{1}{1 + tg\alpha \cdot tg(\phi - \nu)} \quad (14)$$

$$f_A^* = 1,18 f_A^* = 1,18$$

f) Cálculo de acréscimo de ancoragem possível

$$\Delta A_{n_{poss}} = f_A^* \cdot (E_{s_{qui}}^* - E_S + E_{rh}^*) \quad (15)$$

$$\Delta A_{n_{poss}} = 7,54 \text{ kN} \Delta A_{n_{poss}} = 7,54 \text{ kN}$$

g) Cálculo de ancoragem possível

$$A_{n_{poss}} = A_{n_{poss_I}} + \Delta A_{n_{poss}} \quad (16)$$

$$A_{n_{poss}} = 417,92 \text{ kN} A_{n_{poss}} = 417,92 \text{ kN}$$

h) Cálculo do Fator de segurança

$$FS = \frac{A_{n_{poss}}}{R_1 + R_2} \quad (17)$$

Linha Superior:

$$R_S = \left(H_1 + \frac{H_2}{2}\right) * q_{s\text{total}} \quad (18)$$

$$R_S = 141,58 \text{ kN} \quad R_S = 141,58 \text{ kN}$$

Linha Superior:

$$R_I = \left(\frac{H_2}{2} + \frac{H_1}{2}\right) * q_{s\text{total}} \quad (19)$$

$$R_I = 101,13 \text{ kN} \quad R_I = 101,13 \text{ kN} / FS = 1,72 \quad FS = 1,72$$

OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM AUXÍLIO DE FERRAMENTAS WEB

Denise Christie de Oliveira Capanema*

Krizyan Vitória Gomes Franklin**

Thiago Bomjardim Porto***

RESUMO

Este artigo relata a importância das ferramentas Web no auxílio da gestão de projetos possibilitando otimização de custos em obras civis. Esse avanço tecnológico juntamente com sua popularização, possibilitará economias em altas escalas, agilizando o processo construtivo, ou seja, uma excelente ferramenta de suporte técnico ao projeto e à construção. Para a realização desse estudo a metodologia utilizada foi do tipo exploratória desenvolvida a partir de levantamentos bibliográficos e análises de exemplos. Neste presente trabalho foram utilizados como exemplo os aplicativos: Construct (software desenvolvido para otimização da construção civil) e a CsA Softwares (software desenvolvido para otimização da realização de ensaios geotécnicos, fundações e contenções). Tem-se como objetivo nesse estudo a busca dos principais avanços registrados nesta área e os reflexos do uso dessas ferramentas web na construção civil. Através do levantamento das funcionalidades desses aplicativos e suas principais aplicações, possibilitando uma otimização na sua implantação como uma eficiente ferramenta, que em tempo real possibilita o compartilhamento e discussão de ideias de diferentes projetos com seus respectivos clientes, permitindo uma inovação rápida para representação e compreensão da edificação durante a sua concepção, além de auxiliar as empresas executoras no gerenciamento das informações de campo. O sistema online agiliza o processamento de dados das atividades que passam a ser lançado diretamente no sistema e não mais em boletins de campo, gerando redução de custo, confiabilidade dos resultado e maior controle do que está acontecendo na obra para todos os níveis da empresa.

* Universidade Federal de Ouro Preto, Rua Jose Moringa, 97, Bauxita, OuroPreto/MG, CEP:35400-000, denise_capanema@hotmail.com.

** Fundação Getúlio Vargas, Rua da Bahia, 905, Sala 507, Belo Horizonte/MG, CEP: 30160-011, krizyan.gomes@gmail.com.

*** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua da Bahia, 905, Sala 507, Belo Horizonte/MG, CEP: 30160-011. porto@pucminas.br.

Palavras-chave: Construção Civil. Ferramentas Web. Otimização de Custos.

ABSTRACT

This paper describes the importance of Web tools in aid of project management enabling cost optimization in civil works. This technological breakthrough with its popularization, enable economies at high scale, speeding up the construction process, ie, an excellent technical support tool design and construction. To perform this study the methodology used was the exploratory developed from literature surveys and sample analysis. In this work we were used as example applications: Construct (software developed for optimization of construction) and CsASoftwares (software designed to optimize the performance of geotechnical testing, foundations and retaining walls). had as objective in this study the pursuit of the major advances made in this area and the consequences of using these webtools in construction. Through the survey of the features of these applications and its main applications, allowing for optimization in its implementation as an effective tool, which in real time enables the sharing and increasing discussion of different projects with their customers ideas, enabling rapid innovation for representation and understanding the building during its design, and assist the executing companies in the management of field information. The online system streamlines data processing activities that become spears directly into the system and not on field reports generating, cost reduction, reliability of results and greater control of what is happening in the work for all levels of the company.

Keywords: Construction. Web Tools. Cost Optimization.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é conhecida por conter ambientes de difícil comunicação, trazendo prejuízos ao resultado final, com isso a área de planejamento tem como objetivo garantir a eficiência da empresa, com auxílio de cronogramas físico-financeiro, mapa de suprimentos, dimensionamento de recursos, entre outras informações. O plano de ataque da obra é realizado, com base na análise realizada por esta área. Project Management Institute (PMI, 2000).

O presente artigo visa demonstrar o uso de ferramentas Web, que possam contribuir para o gerenciamento eficaz e eficiente na construção civil. Schadeck (2004) descreve que as utilizações de ferramentas computacionais podem facilitar e agilizar o planejamento e controle

de obras, através da inclusão de pacotes de trabalho e aumento da transparência de todo processo.

Com isso, as ferramentas Web contribuem para um maior controle das obras, inibindo erros humanos e possíveis fraudes que possam ocorrer durante o processo construtivo, pois possibilitará a atualização em tempo real das informações de campo, podendo ser utilizado em projetos de grande porte. (PORTO, 2015).

2 METODOLOGIA

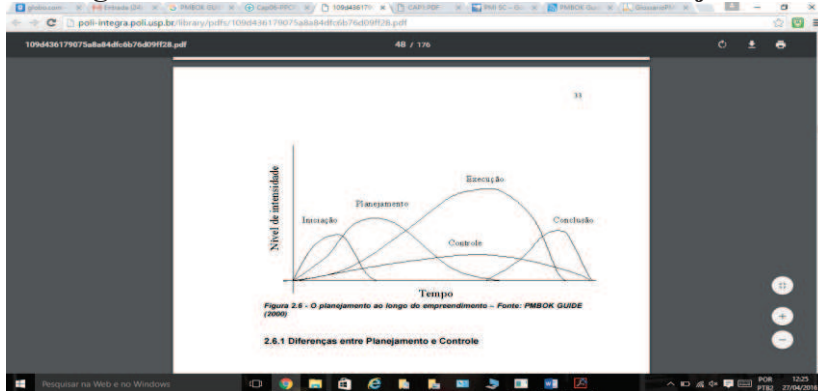
A metodologia utilizada neste trabalho foi em uma pesquisa exploratória. Segundo Gil (2010), esse tipo de estudo pode ser desenvolvido através de levantamento bibliográfico, análise de exemplos e coleta de dados, assumindo a estrutura de pesquisas bibliográficas e de estudos de caso.

Dado o objetivo desta pesquisa, foi realizado um estudo da viabilidade técnico-econômico de ferramentas Web aplicado à construção civil. Em princípio foi realizada uma revisão bibliográfica do tema em questão a partir de material publicado, tais como livros científicos, teses, dissertações, artigos de periódicos, anais de eventos, normas técnicas nacionais e outros materiais disponibilizados na internet em meios acadêmicos, o que constituirá o referencial teórico deste estudo.

3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Planejamento e controle de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas nas atividades em prol de atender os objetivos do projeto. Os processos de gerência de projetos podem ser organizados em cinco grupos, cada um deles contendo um ou mais processos: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento. (PMI, 2000). Estes processos não ocorrem separadamente ou de forma descontínua, e são compostos por atividades que se sobrepõem ao longo de cada fase do projeto, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Processos do Gerenciamento de Projetos.



Fonte: Braga, 2005.

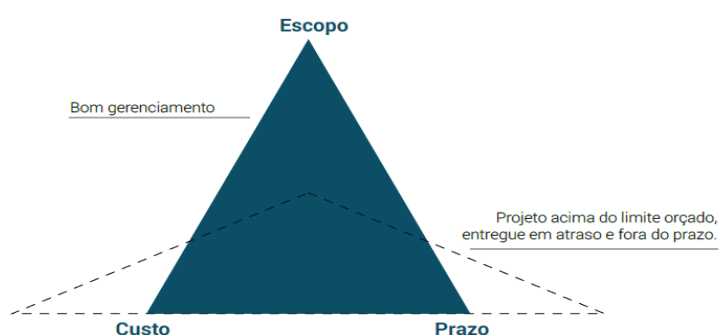
O planejamento estabelece os objetivos e o sequenciamento dos eventos para alcançá-los. A etapa de controle consiste na supervisão das atividades e realização de ações corretivas de imediato, antecipando-se aos problemas. O controle baseado em informações verbais, ou documentos informais, é uma das causas de ineficiência no processo. Já o monitoramento consiste em realizar a comparação do planejado versus executado e identificação das causas impactantes.

Segundo a Construct^B (2016),

gerenciar projetos é uma tarefa complexa e desafiadora. Por definição, projeto é um empreendimento delimitado pelo tempo (com início e fim bem definidos), cujo produto, serviço ou resultado é único, singular, algo que de alguma forma é diferente de tudo que já foi feito anteriormente.

De acordo com Carvalho e Rabechini Júnior (2011), para um projeto ser concluído dentro do orçamento estimado, no prazo determinado e de acordo com o escopo definido, deve atentar para os três aspectos principais, que compõem o chamado “triângulo de ferro”: prazo, escopo e orçamento, como ilustrado na Figura 2. Portanto, deve-se redefinir o modo como o planejamento é trabalhado dentro da empresa, com intuito de maior controle do processo. Para isso, os prazos difundidos deverão apresentar visão de atividades a serem concluídas a curto, médio e longo prazo.

Figura 2 - O triângulo do sucesso
O TRIÂNGULO DO SUCESSO



Fonte: Carvalho e Rabechini Júnior, 2011.

Para um projeto seja bem-sucedido, é essencial manter sempre as pessoas envolvidas motivando-as e tentando unir sempre a equipe. Com uma boa motivação, os profissionais demonstram mais prazer em trabalhar e tornando ainda mais eficientes. Sendo assim é ideal estabelecer metas reais, oferecendo estímulos extras, elogiando e fazendo com que todos se sintam parte do sucesso. (CONSTRUCT, 2015).

Com o atendimento aos critérios citados é possível ter maior grau de confiabilidade dos serviços de engenharia executados, permitindo a emissão de documentos técnicos confiáveis de garantia de qualidade.

4 COMUNICAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Segundo o PMI (2000), apesar da gestão da comunicação ser ignorada por alguns gerentes, nos projetos concluídos com sucesso, o gestor gasta 90% do seu tempo envolvido com algum tipo de comunicação. Por isso é necessário promover um ambiente favorável para uma comunicação clara. O plano de gerenciamento de comunicações deverá ser concebido na fase de concepção do projeto.

Deverá ser identificado e compartilhado de maneira estruturada com os demais envolvidos no projeto. Segundo a nova norma da Organização Internacional para Padronização (ISO 9001:2015), qualquer plano de comunicação deve identificar quem precisa de qual informação, quando são aplicáveis e como a informação deve ser fornecida a fim de garantir a entrega bem sucedida das mensagens entre emissores e receptores (limitando ruído e distorção).

“Os profissionais do setor de construção estão rapidamente adotando ferramentas de mensagens para o trabalho diário remoto ou no canteiro de obras, como WhatsApp, Telegram

ou Facebook Messenger.” (CONSTRUCT^B, 2016). Utilizar aplicativos móveis como esses no contexto de projetos de construção apresenta algumas vantagens e outras desvantagens, tais como:

Vantagens: gratuidade e facilidade de acesso, transmissão de informações em tempo real, enriquecendo a comunicação.

Desvantagens: não são propriamente específicas para determinado fim, com isso, não apresentam facilidade na busca de informações passadas, organização por datas, responsáveis, além de, claro, serem cheias de ruídos e um poço sem fundo de distrações. (CONSTRUCT^B, 2016).

Os profissionais do ramo da construção civil estão alocados no escritório ou no canteiro de obras, segundo a Construct^B (2016) 80% das atividades e custos de uma empresa de construção civil acontecem nos canteiros de obras, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 - 80% das atividades e custos acontecem no canteiro de obras



Fonte: CONSTRUCT^B, 2016.

Para facilitar a interação entre obra e escritório, as empresas estão adotando tecnologia, com o uso de aplicativos e dispositivos específicos para a construção civil, obtendo maior sincronização entre as equipes, diminuindo a necessidade de várias reuniões de alinhamento, reduzindo custos, atrasos nas entregas e maior capacidade produtiva. A agilidade nos processos decisórios, também aumenta significativamente, em virtude da facilidade na comunicação entre os departamentos da empresa, integrando-os em uma mesma plataforma.

Estudos do PMI Pulse of the Profession, publicado em 2013, dedicou-se a estimar em termos financeiros o custo de uma série de possíveis ineficiências ao longo de um projeto. A análise do PMI conclui que organizações com comunicação altamente eficaz terminam 80% dos projetos de acordo com os objetivos planejados, como detalhado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Objetivo planejado

Fonte: Project Management Institute, 2013.

Uma das pesquisas que evidencia bem a importância da comunicação em projetos está na edição de 2012 do PMSURVEY.ORG. O PMSURVEY.ORG é uma pesquisa anual elaborada voluntariamente por profissionais de gestão de projetos membros do PMI. A edição contou com a participação de 692 organizações no Brasil e abordou aspectos importantes para identificar o alinhamento das organizações às melhores práticas em gerenciamento de projetos, como detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Objetivo planejado

Habilidades mais necessárias e valorizadas em gestão de projetos	% de resposta	Principais deficiências dos gerentes de projetos nas organizações	% de resposta
Comunicação	58,3%	Comunicação	41,8%
Liderança	50%	Gerenciamento de conflitos	33,9%
Negociação	41,5%	Conhecimento em gestão de projetos	32,9%
Conhecimento em gestão de projetos	31,2%	Domínio de ferramentas de gestão de projetos	31,7%
Iniciativa	28,5%	Capacidade de integrar as partes	28,3%
Conhecimento técnico	25,6%	Liderança	24,6%
Capacidade de integrar as partes	25,4%	Negociação	24,3%
Gerenciamento de conflitos	24,1%	Política	22,4%
Trabalho em equipe	23,4%	Organização	17,4%
Organização	11%	Iniciativa	16,2%
Domínio de ferramentas de gestão de projetos	7,3%	Conhecimento técnico	12,5%
Política	7,1%	Trabalho em equipe	11,3%

Fonte: PMSURVEY.ORG, 2012.

De 7 de cada 10 entrevistados apontaram Problemas de Comunicação como os mais frequentes em projetos. Depois dos problemas de comunicação, os mais citados foram: não

cumprimento de prazos (66,2%) e Escopo mal definido (62,2%).

Em busca de um maior controle das atividades, as empresas precisam informatizar/padronizar seus processos. Esta informatização contribuirá para o melhor tratamento dos dados e o maior número de informações em uma só base. É neste contexto que é proposto o uso de uma nova tecnologia de controle de obras chamado de ferramenta web.

5 FERRAMENTAS WEB

Atualmente as construtoras utilizam planilha em Excel para controle tecnológico de obras com preenchimento manual, aumentando as inconformidades relacionadas ao controle tecnológico de obras. Por isso a utilização de uma ferramenta Web, com geração de relatórios instantâneos, minimiza a possibilidade de erros em campo e até mesmo “maquiagem de relatórios”. Sabe-se, lamentavelmente, que algumas empresas “ajustam” os gráficos para atender às especificações normativas. (PORTO, 2015). Com isso não é possível ficar limitados apenas aos recursos oferecidos por planilhas Excel® ou programas instaláveis. É necessário estar conectados e informados sobre tudo o que está acontecendo durante a execução de uma obra, e com a utilização de ferramentas Web que facilite nossa rotina.

As ferramentas web é um sistema online que foi criado para integrar e agilizar o processamento de dados entre a obra e ao escritório, com uma interface simples e intuitiva, o sistema se torna uma ótima ferramenta para gerenciamento de informações de qualquer lugar. Não precisa mais ficar preso em sua planilha no escritório, pois os sistemas online estão disponíveis na maioria das plataformas: celulares, tablets, notebooks e desktop, ou qualquer outra plataforma que possui acesso à internet. As principais vantagens que se destacam dessas ferramentas web são: acessibilidade, interface amigável, ambiente seguro, portabilidade e integração entre obra e escritório de forma simultânea, agilizando todo processo produtivo.

A organização dos documentos é fundamental para que a organização mantenha sua competitividade no mercado. A gestão de documentos de forma correta é essencial para ter os documentos sempre no lugar certo, para evitar prejuízos. Com o uso dessas ferramentas web é nula a possibilidade de perda e/ou extravio de documentos, pois utiliza arquivamento de dados com servidor nas “nuvens”, tornando-se uma ferramenta altamente confiável, reduzindo volume de papéis. Erros banais tais como de escrita ou ainda de interpretação de dados são evitados. (PORTO, 2015).

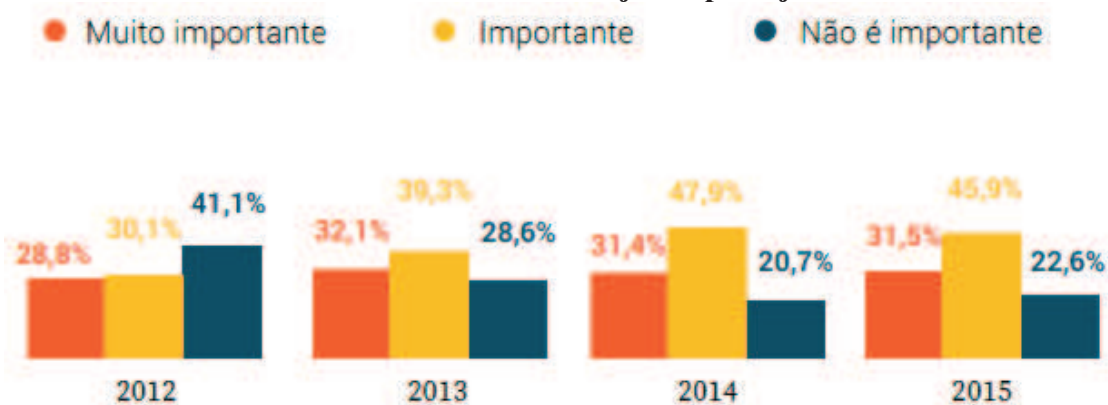
As ferramentas web realiza um acompanhamento “on time” do avanço da obra, destacando os principais acontecimentos, como o avanço físico (cronograma, dimensionamento

dos recursos e gestão das atividades. Permitindo um controle mais rigoroso e preciso da qualidade dos serviços executados in loco, com melhor interface entre executores e projetistas, que poderão acompanhar a obra através dos resultados dos ensaios realizados inseridos no programa e status das atividades. Estes benefícios contribuirão para soluções de problemas, possibilitando adaptações do projeto, quando necessário. Um dos grandes diferenciais das ferramentas web é poder ser utilizado em qualquer plataforma e em qualquer lugar. A expectativa é que as “pranchetas de campo” sejam substituídas pelos aplicativos móveis de forma gradual, à medida que uma nova geração de profissionais está cada vez mais presente no mercado de trabalho.

É possível verificar desperdícios, inclusive análise do uso de materiais por cada equipe de trabalho. A partir dessas informações em tempo real, será possível tomar ações corretivas para otimizar a produção. O controle das atividades realizado por esses softwares registra informações do andamento dos serviços, para geração de relatórios de obra diário, proporcionando a informação a todos os envolvidos com aquele projeto, evitando falhas na comunicação.

Um estudo da consultoria americana em tecnologia da informação JBKnowledge sobre o uso de tecnologia em projetos de construção (4º Anuário da Tecnologia para Construção, 2015) consultou mais de 2000 empresas de sua base de assinantes do setor de construção nos Estados Unidos. A pesquisa mostrou que mais de 75% dos profissionais do setor veem a adoção de novas tecnologias móveis como uma prioridade do negócio. Um dos motivos para adotar tecnologia móvel no canteiro de obras é a necessidade de capturar informações sobre a execução do projeto. A pesquisa da JBKnowledge mostrou que esta demanda ainda conta com poucas soluções no mercado. De acordo com o levantamento, 83% dos entrevistados afirmaram que utilizam um processo manual ou planilhas no computador para coletar informações nos canteiros de obras. “Alguns participantes mencionaram a dificuldade em encontrar soluções mais adequadas no mercado, e uma das conclusões do estudo foi que adotar novas soluções é lenta devido à curva de aprendizagem para novas tecnologias e o esforço necessário para treinar os envolvidos.” (JBKNOWLEDGE, 2016).

Gráfico 2 - Objetivo planejado



Fonte: JBKNOWLEDGE, 2016.

6 CONCLUSÃO

A partir do exposto neste estudo, verificou-se que o processo de planejamento e controle, estão fortemente ligados ao gerenciamento de uma obra. Os mecanismos de controle na construção civil contribuem para o desenvolvimento das obras, garantindo que os serviços sejam executados conforme previsto em projeto e proporcionando maior competitividade das empresas do ramo da construção civil.

Neste contexto, o desenvolvimento das ferramentas web, contempla a integração de mecanismos de controle, propiciando um melhor acompanhamento do planejamento físico, controle da qualidade e boa comunicação entre os setores envolvidos no processo construtivo. Outro benefício que foi observado é a redução da corrupção, com maior controle dos quantitativos, a adulteração no processo de medição é bastante reduzida. Os dados são registrados no momento do uso pela equipe de obra, sendo gravado no programa e disponibilizado para a equipe de medição. As informações ficam salvas e disponíveis para toda a gerência, podendo ser facilmente fiscalizadas.

Com isso pode-se dizer que um bom planejamento e com o auxílio de ferramentas web, pode-se alcançar resultados surpreendentes com maior agilidade, precisão dos dados e assim evitando custos excessivos na hora de execução da obra, já que os dados e os relatórios gerados pelas ferramentas web não permite fraudes durante a sua execução.

Em suma, a implantação dessas ferramentas web contribui para a expansão das empresas deste ramo, contribuindo de forma direta para agilidade dos serviços e otimizando os custos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 9001: Sistemas de gestão da qualidade: Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRAGA, Mariella Moreira. **O papel da comunicação na gestão de projetos: um estudo de caso.** 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Salvador, Bahia, 2005.

CARVALHO, Marly Monteiro de; RABECHINI JÚNIOR, Roque. **Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2015. 504 p.

CONSTRUCT. **Comunicação na obra: como gerenciar equipes de construção civil.** [S.l.]: CONSTRUCT, 2015. Disponível em: <<http://constructapp.io/pt/comunicacao-na-obra-como-gerenciar-equipes-de-construcao-civil/>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

CONSTRUCT^B. **Comunicação móvel em projetos: a importância da comunicação para o sucesso de projetos e o desafio da gestão de equipes.** [S.l.]: CONSTRUCT, 2016. Disponível em: <http://pages.constructapp.io/baixe-ebook-cmp?__hstc=113381208.ad04e51d07a39851daad3e62d208d114.1478129085528.1478129085528.1478129085528.1&__hssc=113381208.2.1478129085529&__hsfp=3174384520>. Acesso em: 15 jun. 2016.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

JBKNOWLEDGE. **The 3rd annual construction technology report.** Aggieland: JBKNOWLEDGE, 2016. Disponível em: <<http://jbknowledge.com/wp-content/uploads/2014-ct-report.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

PMSURVEY.ORG. **Project Management Institute Chapters.** 2012. Disponível em: <<http://www.transsolucoes.com.br/remake/32/Area%20Geral/12%20Estudo%20Benchmarking%20Brasil%202011%202012/Benchmarking%20GP%202012%20Geral.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2016.

PORTO, Thiago Bomjardim. **Ancoragens em solos: comportamento geotécnico e metodologia via web para previsão e controle.** 2015. 202f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2015.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **The high cost of low performance: the essential role of communications.** Newtown Square: PMI, 2013. Disponível em: <<http://www.pmi.org/~media/pdf/business-solutions/the-high-cost-low-performance-the-essentialrole-of-communications.ashx>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

PROJECT MANAGMENT INSTITUTE. **Vijay kumar Verma, pmp, mba, p.eng.** Newtown Square: PMI, 2000. Disponível em: <<http://www.pmi.org/about-us/fellows/vijay-kumar-verma.aspx>>. Acesso em: 05 mai. 2016.

SCHADECK, Rafael. **Desenvolvimento de um sistema de controle de empreendimentos de construção civil.** 2004. 168 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ANÁLISE QUALITATIVA DE JUNTAS DISSIMILARES DE AÇO 1020 E COBRE UNIDAS POR SOLDA A FRICÇÃO

Victor Maciel Cunha*

Leonardo Ferreira de Melo**

Luiz Carlos Figueiredo***

Ayrton Hugo de Andrade****

Leonel Dimas de Abreu*****

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar juntas dissimilares de aço 1020 e cobre eletrolítico unidas através do processo de soldagem a fricção linear rotativa, processo não convencional de soldagem que visa efetuar uma união no estado sólido através do calor gerado pelo atrito entre as superfícies. Os resultados foram analisados por meio de testes de micro dureza vickers e testes de tração com o intuito de validar e qualificar as juntas soldadas. Os resultados mostram que é possível obter juntas soldadas com propriedades mecânicas superiores ao metal base de menor resistência quando aplicado os parâmetro ideais.

Palavras-chave: Soldagem a fricção. Aço 1020 e cobre. Propriedades mecânicas. Ligas dissimilares.

ABSTRACT

The objective of this study is evaluate dissimilar joints of 1020 steel and electrolytic copper, joined by the Rotary Friction Welding process, unconventional welding process which aims to make a union in the solid state through the heat generated by the friction between surfaces. The results were analyzed by Vickers micro hardness tests and tensile tests in order to validate and qualify the welded joints. The results show that is possible obtain welded joints with superior

* Aluno de graduação, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, victormaciel2@hotmail.com

** Aluno de graduação, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, leo.ferreira94@gmail.com

*** Professor Titular, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, luizfigueiredo@pucminas.br

**** Professor Titular, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, ayrtonhugo@pucminas.br

***** Professor Titular, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, leonel@pucminas.com.br

mechanical properties of the least resistance base metal when applied optimal parameters.

Keywords: Friction Welding. 1020 steel and copper. Mechanical properties. Dissimilar alloys.

1 INTRODUÇÃO

A Soldagem a Fricção é um método não convencional de soldagem, diferenciando-se das demais técnicas de soldagem pelo fato de não necessitar da inserção de calor externo para que a soldagem ocorra. Neste método o calor necessário para a união é totalmente proveniente do atrito entre as peças ou partes que se pretende unir. Acontecendo então a conversão de energia cinética em calor (através do atrito) tornando os materiais em questão coalescentes, ou seja, suscetíveis à união.

O método de soldagem a fricção apesar de relativamente pouco difundido na sociedade acadêmica brasileira é uma prática antiga. Tendo sido realizado testes na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial, soldando-se a fricção tubos de termoplásticos (MACHADO, 1996), porém antes mesmo uma patente sobre o método já tinha sido requerida nos EUA por Bevington (1981).

Estudos científicos e experiências sobre o tema são datados somente a partir de 1956 (MACHADO, 1996), tendo sido desenvolvido na União Soviética o método de soldagem a fricção “Friction Welding of Metals” (VILL, 1962), a partir de uma patente Britânica 1939, sendo feitas posteriormente inovações nos Estados Unidos, resultando assim em dois métodos para o processo (Soviético e Americano) conforme relata (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992; WANG; LIN, 1974).

Os dois métodos diferenciam-se em relação ao modo de geração de energia, o método Soviético conhecido também como soldagem a fricção convencional tem como princípio para gerar o atrito entre as peças a rotação ininterrupta do mandril onde uma das peças a ser soldada deve esta fixada. Diferentemente o método Americano utiliza um volante de rotação que necessita apenas de uma rotação inicial que será promovida por uma unidade motora, que é desacoplada no início da solda, sendo a rotação necessária durante todo o tempo de soldagem proveniente do giro do volante devido a sua inércia.

A técnica de soldagem a Fricção contempla uma vasta gama de aplicações devido à ótima qualidade apresentada pelas juntas soldadas por este processo. Esta ótima qualidade é justificada devido ao fato de que neste método a fusão dos materiais soldados não acontece, conseqüentemente não ocorre então a contaminação com atmosfera (MOARREFZADEH,

2012) diminuindo-se a probabilidade de inúmeros defeitos (poros devido a gases, inclusões de escória, fase frágil, etc) na zona soldada. Entre as diversas aplicações da soldagem a fricção estão: peças aeroespaciais para fuselagem, tubos de perfuração usados na extração de petróleo (drill pipers) e poços de água (drill rolds) (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992), a união de partes de máquinas pesadas e automóveis (válvulas, pistões, cilindros metálicos, eixos cardan) entre outras aplicações em que a geométrica da peça (cilíndrica) permita o uso deste método. A soldagem por fricção rotativa também demonstra grande eficiência no quesito manutenção, tendo ampla aplicação nesta área.

Do ponto de vista acadêmico e científico, destaca-se a importância do tema da solda por atrito devido à ampliação de sua utilização em diversos setores da indústria em anos recentes tornando este tema um grande potencial para pesquisas. Motivando a ideia de desenvolver um trabalho relevante que abrangesse tanto a área teórica como prática.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Apesar de defeitos característicos da contaminação da zona soldada com ar atmosférico não ocorrer na soldagem a fricção alguns defeitos de outra natureza podem ocorrer nas juntas soldadas. Os defeitos mais comuns neste tipo de solda são: cisalhamento na zona afetada pelo calor decorrente de uma velocidade baixa do mandril e defeitos centrais causados por pequenos orifícios no centro de uma das peças (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992). Sendo assim alguns ensaios devem ser realizados nas juntas soldadas com objetivo de avaliar a qualidade das mesmas, dentre estes estão: ensaio de tração, flexão, impacto e fadiga. Além destes, testes de metalografia da junta soldada, como medidas de durezas ao longo da zona afetada pelo calor também são indicados para qualificar a solda (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992).

Nesse trabalho analisou-se a qualidade das amostras soldadas através de testes de tração e testes de dureza. Como não existe um padrão para os corpos de prova soldados por fricção para ensaios de tração, utilizou-se como referência a NBR 6892-1:2013.

2.1 Materiais e métodos

O material selecionado para a confecção dos corpos de prova foi o aço SAE 1020 fornecido pela empresa Aço Liver e o Cobre eletrolítico ASTM C11000 fornecidos pela empresa POLIMETAL. O certificado de composição química dos materiais foi fornecido pelas empresas. As composições das ligas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composições Químicas das ligas utilizadas

Liga ABNT	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	C (%)	Zn (%)	Ti (%)	Outros (%)
Aço 1020	-	≤ 0,100			0,300 - 0,600		0,180 - 0,230			
Cobre eletrolítico ASTM C11000	-			99,90 (mín)						

Fonte: ABNT (2000).

A geometria dos corpos de prova foi estabelecida, sendo esta 100 mm de comprimento, com diâmetro de 16mm. Os corpos de prova foram usinados em um torno mecânico convencional a partir de barras de 1 m de comprimento.

Após a realização dos testes práticos, preparou-se o corpo de prova para análise dos resultados obtidos quanto à Dureza. Para elaborar o corpo de prova, primeiramente realizou-se o corte da secção a ser analisada e em seguida o embutimento a quente das mesmas onde a amostra é embutida com baquelite e posteriormente lixada. Para realização dos testes de dureza foi utilizado o microscópio SHIMADZU com capacidade de ampliação de até 400X e para verificação das propriedades de tração foi utilizado uma máquina de ensaio universal EMIC equipada com célula de carga e software de coleta de dados PANANTEC. Todos os testes foram realizados nos laboratórios da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS).

2.2 Equipamento utilizado

Foi utilizado como equipamento para realização das soldas a fricção a adaptação de três dispositivos, sendo eles: um torno convencional NARDINI 350, um pistão hidráulico com capacidade máxima de pressão igual a 20 Mpa e uma central hidráulica FESTO, as especificações técnicas da central hidráulica e do torno convencional são mostradas na Tabela 2. Para a condução do fluido e engate dos elementos do sistema hidráulico (central hidráulica/pistão) foram utilizadas 8,0 (oito) mangueiras flexíveis com trama de aço interligadas com 2 (duas) válvulas e uma conexão em T para direcionar o fluido com as respectivas pressões. Duas válvulas hidráulicas foram utilizadas no sistema, sendo uma válvula direcional de 4/2 vias com função de selecionar a pressão e outra válvula 4/3 responsável pelo avanço/recuo. O esquema do sistema hidráulico são mostrados na Figura 1.

O Torno mecânico foi adaptado ao pistão por meio de um suporte removível, este

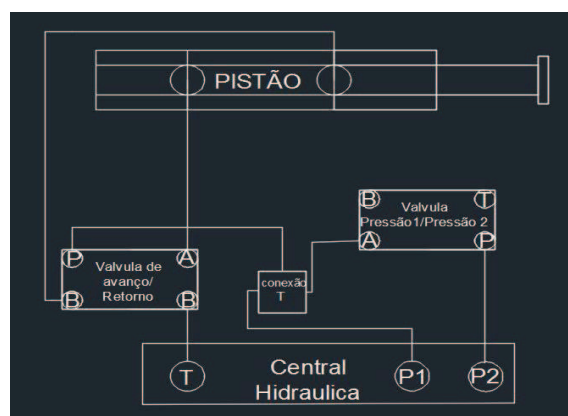
permitiu a fixação do pistão ao torno conforme Figura 2. O pistão por sua vez possui em sua haste uma "garra" centralizada com o conjunto placa e castanhas do torno, esta última e a garra são responsáveis por acoplar as amostras a serem soldadas.

Tabela 2 - Especificações Técnicas Central Hidráulica e Torno Mecânico

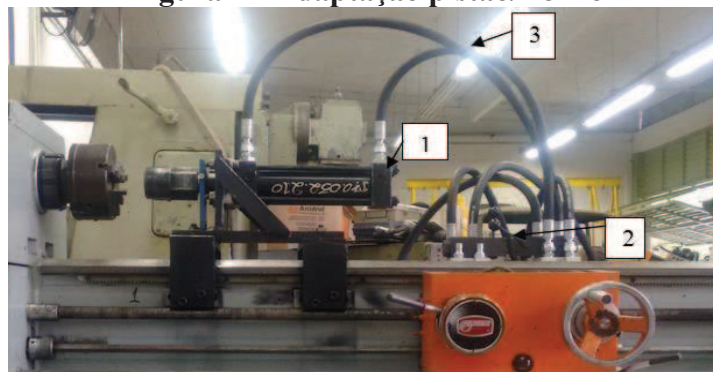
CENTRAL HIDRÁULICA FESTO		TORNO HIDRÁULICO	
Capacidade do reservatório de óleo	0,04 m ³	Modelo	MS350
Motor elétrico de acionamento	2,21 kw	Barramento	1400 mm
Vazão de cada bomba	0,000083 m ³ /s	Entre ponto	1000 mm
Vazão total	0,000167 m ³ /s	Volteio	350 mm
Pressão de operação: 0 a 80 bar	0 a 8 Mpa	Motor	380 Volts Trifásico
Pressão máxima	10 Mpa	Rotação	30/1850 rpm
Bomba dupla de engrenagens com deslocamento fixo e saída independentes			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1 - Esquema Sistema Hidráulico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Adaptação pistão/Torno

1 = Pistão Hidráulico
2 = Válvulas Controladoras
3 = Mangueiras

Fonte: Elaborado pelos autores.

As mangueiras e válvulas responsáveis por acionar as pressões estão evidentes na Figura 3 onde é possível observar os componentes do sistema hidráulico.

Figura 3 - Sistema hidráulico adaptado

4 = Torno Convencional
5 = Central Hidráulica
6 = Conexão T

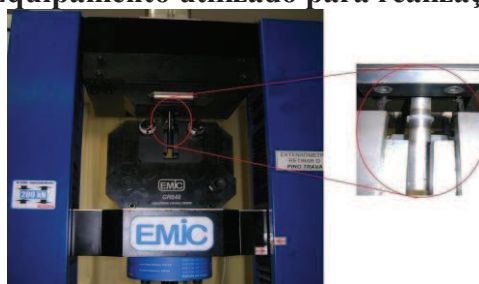
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para que a soldagem a fricção ocorra é necessário um parâmetro básico que é o atrito entre as peças a serem unidas, a união de todos estes mecanismos tornou possível a soldagem por fricção, cujo atrito é gerado pelo contato da amostra em movimento rotativo fixa ao torno com a amostra fixa ao pistão, esta última por sua vez com uma determinada pressão.

3 RESULTADOS

Para avaliar as propriedades mecânicas das juntas soldadas, as mesmas foram submetidas ao ensaio de tração realizado em uma prensa servo controlada da EMIC com capacidade máxima de 200 KN, conforme Figura 5.

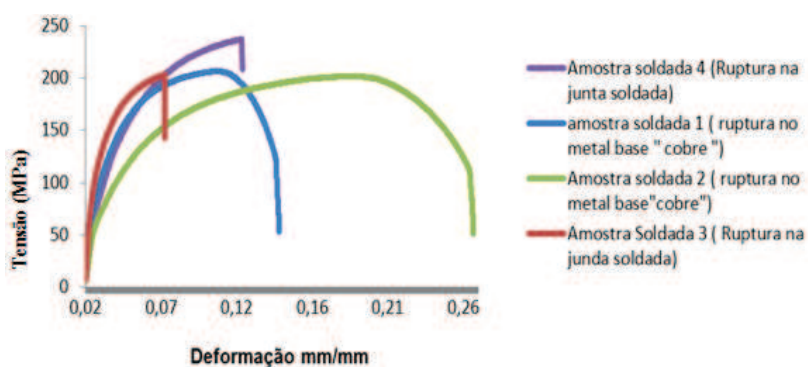
Figura 5 - Equipamento utilizado para realização dos ensaios



Fonte: Elaborado pelos autores.

Das amostras de soldas dissimilares de aço 1020 com cobre foram selecionadas para o ensaio 4 corpos de prova. Segundo a literatura (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992) as amostras soldadas deveriam sofrer a ruptura no metal de menor resistência a tração, neste caso o cobre. Dentre as amostras testadas foram obtidos os respectivos resultados plotados no Gráfico 1.

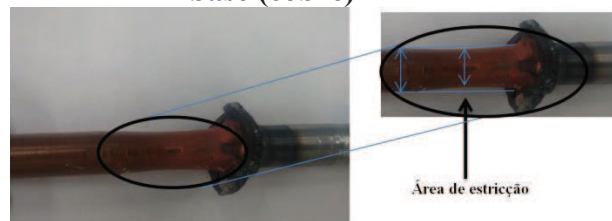
Gráfico 1 - Tensão x Deformação para a soldagem dissimilar



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme pode-se observar nas curvas tensão deformação do gráfico 1, dentre as 4 amostras selecionadas para os ensaios de tração, a primeira apresentou ruptura no metal base suportando a carga máxima de 206,1 MPa. A amostra 2 também apresentou boa qualidade da junta soldada, sofrendo a ruptura com a carga máxima de 201,6 MPa. Diferentemente das anteriores a terceira amostra sofreu ruptura na junta soldada, entretanto a carga suportada pela mesma foi de 203,17 MPa, valor de mesma grandeza de carga suportado pelas amostras anteriores, sendo assim a junta soldada apesar de sofrer a fratura apresentou resistência a tração compatível com as demais. Já a quarta amostra submetida à tração apresentou o começo do estiramento ou “empescoçamento” no metal de menor resistência a tração (cobre) conforme Figura 6, porém a junta soldada não resistiu até o fim do ensaio chegando a sua ruptura em 236,16MPa. Na Figura 7 é possível ver uma das amostras que sofreu ruptura no metal base, apresentando boa qualidade da junta soldada.

Figura 6 - Amostra de solda dissimilar com início de formação de estrição no metal base (cobre)



Fonte: Elaborado pelos autores.

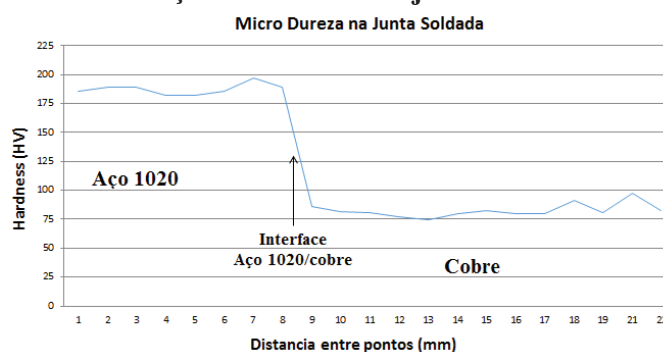
Figura 7 - Solda dissimilar de aço 1020 e cobre após o ensaio de tração



Fonte: Elaborado pelos autores.

Realizou-se testes de microdureza na junta dissimilar soldada, as medidas foram efetuadas em um microdurômetro Shimadzu com capacidade de ampliação de até 400X. Para os testes foi adotado uma carga de 98,07 mN (HV 0,01), time de 20 s, plotou-se o gráfico com os dados obtidos, conforme o Gráfico 2.

Pode-se observar no Gráfico 2 que na junta soldada não houve significativa alteração na dureza sendo as variações máximas de dureza no Aço 1020 e Cobre menor que o intervalo de 25 HV (intervalos do eixo y). Estes resultados foram conforme o descrito na literatura (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992), que justifica isto pelo fato de que na soldagem a fricção não ocorre a fusão do metal, sendo assim, não existe também contaminação com a atmosfera, o que leva as propriedades mecânicas da junta soldada ser bem próximas a do metal original. No gráfico de microdureza pode-se observar o ponto exato da interface onde os dois metais se encontram, devido à diferença de propriedades mecânicas dos mesmos existe uma grande variação entre os valores de dureza na interface de contato.

Gráfico 2 - Variação da dureza na junta dissimilar soldada

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de tração é possível obter uma junta soldada de materiais dissimilares utilizando a soldagem a fricção com propriedades mecânicas superiores ao metal base de menor resistência a tração, como relatado na literatura (BRANDI; WAINER; MELLO, 1992), entretanto a junta unida apresenta também certa fragilidade sofrendo a ruptura sem a formação de estiramento ou seja há uma perda considerável na ductilidade na junta unida.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PROBIC) / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a PUC-MINAS, a coordenação da engenharia mecânica (Prof. Gilmar Cordeiro da Silva) e a todos os professores envolvidos e técnicos do laboratório da PUC-Contagem pelo apoio.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1/D1.1. 1M:2010: código de soldagem estrutural: aço. Tradução de Structural Welding Code: steel. 22. ed. Miami: AWS, 2010. Disponível em: < https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1.1-D1.1M-2010-PR-PV.pdf >. Acesso em: 08 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6892**: materiais metálicos; ensaio de tração método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. p. 1-70.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000) Aços carbono e ligados para a construção mecânica – Designação e composição química ABNT NBR NM87, Rio de Janeiro, Brasil

BEVINGTON, James H. **The new process welding and spinning Co.:** mode od welding the end of Wire, rods, etc.: US Patent 463134A, 17 Nov. 1891.

BRANDI, Sérgio Duarte; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt Homem de (Coord.). **Soldagem: processos e metalurgia** . São Paulo: Edgard blucher, p.317-494, 1992.

MOARREFZADEH, Ali. Study of Heat Affected Zone (HAZ) in friction welding process. **Journal of Mechanical Engineering**, v. 1, n. 1, p. 11-17, Jan. 2012.

MACHADO, I.G. Soldagem e técnicas conexas: processos. Porto Alegre: Editora Livraria Conceitual,1996.

WANG, K.K.; LIN, Wen. Flywheel friction welding research. **Welding Research Council**, p. 233-s to 241-s, June 1974. Available in: <
http://files.aws.org/wj/supplement/WJ_1974_06_s233.pdf>. Access in: 08 Feb.2018.

VILL, V. I. **Friction Welding of Metals**. New York: American Welding Society, 1962.

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS TÉRMICOS

Paulo César Gesualdo Júnior*

Mara Nilza Estanislau Reis**

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo facilitar o projeto de máquinas eficientes de aquecimento, refrigeração e geração de energia, além de permitir a análise de sistemas já existentes para melhorar sua eficiência energética e simplificar o aprendizado dos conceitos de termodinâmica. A simulação computacional de sistemas térmicos é uma importante aliada na busca de maior eficiência na geração e utilização de energia, pois disponibiliza um sólido conjunto de propriedades analíticas e fundamentos necessários para isto. Utilizando a simulação computacional é possível projetar e analisar determinado sistema testando facilmente uma enorme quantidade de condições que culminarão com o desenvolvimento de um projeto que tenha o menor custo operacional e de investimento. Portanto, neste trabalho foi desenvolvido um software de simulação para sistemas térmicos cujos principais diferenciais são seu fácil manuseio e permitir a personalização do programa pelo usuário. Para isto ele foi elaborado utilizando uma planilha Excel com cálculos automáticos realizados através do recurso de Macro e linguagem de programação VBA (Visual Basic for Applications). O resultado é que o manuseio do programa é tão fácil quanto a utilização de uma planilha comum do Excel, tarefa que o usuário típico deste tipo de software já está habituado. A personalização do programa é possível através da utilização das fórmulas prontas do mesmo em qualquer célula de uma planilha ou quando o usuário cria suas próprias fórmulas utilizando a linguagem de programação VBA e as tabelas de propriedades termodinâmicas do programa. Desta maneira, o usuário ou empresa que utilizará o software poderá customizar o mesmo de acordo com suas necessidades.

Palavras-chave: Simulação computacional. Sistemas térmicos.

* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, gesualdo.paulo@gmail.com, Engenheiro Mecânico

** Orientadora, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, mara.nilza@terra.com.br, Doutora

ABSTRACT

This work has as an objective to make easier the development of heating, cooling and energy generation efficient machines, besides allowing the already existent systems analysis to improve their energetic efficiency and simplify the learning of thermodynamics concepts. The thermal systems computational simulation is an important ally in the search for greater efficiency in the energy generation and usage, because it provides a solid set of analytic properties and fundamentals necessary for it. Using the computational simulation, it is possible to develop and analyze certain system testing easily a huge quantity of conditions that culminate in the developing of a project that has the less operational cost and investment. Therefore, in this work a thermal systems simulation software was developed whose main differentials are its easy operation and to allow the software customization by the user. For this it was elaborated using an Excel spreadsheet with automatic calculations done using the Macro feature and VBA (Visual Basic for Applications) programming language. The result is that the program operation is as easy as using a common Excel spreadsheet, a task that the typical user of this kind of software is already habituated. The software customization is possible through the usage of ready formulas of it at any cell of a worksheet or when the user develops his/her own formulas using the VBA programming language or the software thermodynamic tables. In this way, the user or company that will use the software will be able to personalize it according to its needs.

Keywords: Computational simulation. Thermal systems.

1 INTRODUÇÃO

A termodinâmica e os sistemas térmicos são fundamentais para suprir as necessidades e aumentar a qualidade de vida da sociedade humana do século XXI (MORAN; SHAPIRO, 2013). Eles fornecem conceitos e métodos essenciais para permitir o projeto, análise e funcionamento de aplicações importantes da engenharia como sistemas de aquecimento e refrigeração e geração de energia em termelétricas.

Os sistemas de refrigeração são amplamente utilizados para a conservação de alimentos e para condicionamento do ar em ambientes fechados, além de separação de gases e produção de gelo. As bombas de calor também são utilizadas para aquecimento de ambientes e geração de calor em processos da indústria. Práticas mais eficientes aplicadas a estes equipamentos podem melhorar significativamente a nossa postura energética (MORAN; SHAPIRO, 2013).

O consumo de energia é um dos indicadores mais importantes para mostrar o nível de desenvolvimento e os padrões de vida de uma sociedade (KAUSHIK; REDDY; TYAGI, 2011). O futuro aponta para a maior eficiência os equipamentos elétricos como eletrodomésticos, sistemas de ar condicionado e aquecimento, reduzindo a energia consumida por eles (MORAN; SHAPIRO, 2013). Porém também é esperado um crescimento da necessidade de energia devido ao aumento populacional, urbanização, industrialização e desenvolvimento tecnológico, pois estes resultam diretamente no aumento do consumo energético. Atualmente, 80% da eletricidade produzida no mundo provém usinas movidas à queima de combustíveis fósseis (KAUSHIK; REDDY; TYAGI, 2011). No futuro, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural mais raros e mais caros, portanto estas usinas representarão uma menor, porém ainda significativa parcela da energia consumida devido a maior utilização de fontes de energia como o vento, solar e geotérmica (MORAN; SHAPIRO, 2013).

Portanto existe um desafio que é o suprimento das necessidades da sociedade aliado ao consumo consciente da energia, devido aos vários riscos à saúde humana e ao meio ambiente que surgem com a sua utilização. (MORAN; SHAPIRO, 2013). Como o aumento da necessidade de energia é uma realidade inevitável, faz-se necessário o desenvolvimento de processos mais eficientes para fornecer e utilizar a energia gerada.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo desenvolver um programa computacional de simulação de sistemas térmicos que facilite o projeto de máquinas eficientes de aquecimento, refrigeração e geração de energia, além de permitir a análise de sistemas já existentes para melhorar sua eficiência energética.

A simulação computacional de sistemas térmicos é uma importante aliada na busca de maior eficiência na geração e utilização de energia, pois disponibiliza um sólido conjunto de propriedades analíticas e fundamentos necessários para isto. Utilizando a simulação computacional é possível projetar e analisar determinado sistema testando facilmente uma enorme quantidade de condições que culminarão com o desenvolvimento de um projeto que tenha o menor custo operacional e de investimento.

Os programas de computador disponíveis atualmente no mercado além de terem alto custo de aquisição, exigem várias horas de estudo para aprendizado do funcionamento do mesmo, para que só então se possa ter os benefícios da sua utilização. Portanto a aquisição de um programa e contratação de um profissional treinado pode representar um grande investimento financeiro, o que talvez inviabilize a sua realização.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um software de simulação de sistemas térmicos voltado para refrigeração, aquecimento e geração de energia, que seja de fácil

manuseio e ao mesmo tempo assertivo para ser utilizado no meio acadêmico e profissional. Para cumprir este objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) desenvolver um programa didático, de linguagem acessível, que utilize as mesmas técnicas de livros-texto utilizados na graduação das engenharias;
- b) reduzir os custos do programa, tanto de aquisição quanto de treinamento;
- c) facilitar o manuseio do programa para que o mesmo se adeque às necessidades do usuário;
- d) permitir a personalização do programa pelo usuário para possibilitar a melhoria contínua do mesmo, tanto com novas funções quanto com aprimoramentos das funções existentes;
- e) permitir através do programa uma consulta rápida à bibliografia para confirmação dos conceitos utilizados em determinada operação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Kotowicz e outros (2011) analisaram e validaram um modelo de planta de geração de energia criado através do programa comercial GateCycle, desenvolvido pela empresa General Electric. Os autores destacaram que uso de softwares para modelagem de plantas de potência, uma vez que isto pode reduzir o tempo necessário para detecção de problemas de eficiência na planta.

Musa e Adam (2015) analisaram as perdas energéticas dos componentes de uma planta de geração de energia a vapor utilizando o programa Aspen Hysys, desenvolvido pela empresa Aspentech, além do Autocad e Excel. A simulação computacional foi necessária para fornecer dados fundamentais para o estudo como temperatura, pressão, taxa de escoamento, entalpia e entropia. Os autores concluíram que a realização periódica deste estudo é importante para tomada de decisões de manutenção e substituição de componentes, e a simulação computacional é fundamental para permitir a repetição frequente desta análise.

Elsner, Kowalczyk e Maciej (2012) realizaram uma simulação computacional para estudar a aplicação de uma nova tecnologia para uma planta de geração de energia movida a carvão. Os autores verificaram que o programa IPSEpro, desenvolvido pela empresa Simtech, apresentou-se bastante limitado pois o alto número de parâmetros testados pelo mesmo tornava o cálculo lento. Desenvolveram então uma solução integrada entre o IPSEpro, o Matlab e o Excel. Foi verificado que os resultados obtidos foram praticamente idênticos, porém o tempo de cálculo foi muito menor para solução integrada.

Jamel, Rahman e Shamsuddin (2013) conduziram um estudo de performance termodinâmica da planta de geração de energia a vapor AL-Hartha, localizada em Basra, no Iraque. O estudo foi realizado através de simulação computacional utilizando o programa Cycle-Tempo, desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda. Os autores concluíram que o combustor possuía o maior percentual de perda energética (23,4%) e, portanto, necessitava de modificação para reduzir estas perdas e aumentar a performance termodinâmica da planta.

Ahmadi e Toghraie (2016) realizaram uma avaliação completa da eficiência energética de cada componente da planta de geração de energia a vapor Shahid Montazeri em Isfahan, Irã. Os autores informam que 80% da energia produzida no mundo é obtida a partir de combustíveis fósseis, portanto são necessárias pesquisas para otimizar os ciclos destas plantas. Para realizar os cálculos, os parâmetros de cada um dos 50 pontos estudados do ciclo foram extraídos de um histórico da planta, e através da aplicação das equações de conservação de massa e energia foi possível determinar o status de cada equipamento e calcular os parâmetros não conhecidos, tudo isso utilizando o programa Engineering Equation Solver (EES).

Moran e Shapiro (2013) apresentam o programa “Interactive Thermodynamics: (IT)” utilizado para simulação e análise de sistemas térmicos, além de fornecer propriedades de estados específicos. Segundo os autores, este e outros programas semelhantes podem ser utilizados para resolver problemas e facilitar o aprendizado da termodinâmica aplicada a engenharia. O sistema trabalha através de linhas de código, semelhantes ao programa EES, sendo que é possível obter linhas de código prontas a partir da seleção de cenários pré determinados no menu do programa.

Kaushik, Reddy e Tyagi (2011) fizeram uma comparação entre performances de uma usina a vapor utilizando a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica. Os autores realizaram uma revisão que indicou que a maioria das plantas de geração de energia são projetadas através de critérios de performance baseados unicamente na Primeira Lei da Termodinâmica (balanço de energia). A análise energética em conjunto com a exérgica pode oferecer representação ainda mais completa das características de um sistema, pois a exérgia diferencia entre a quantidade e a qualidade da energia.

3 METODOLOGIA

O programa que desenvolvido neste trabalho tem como principais diferenciais seu fácil manuseio e permitir a personalização do programa pelo usuário. Para isto ele foi elaborado

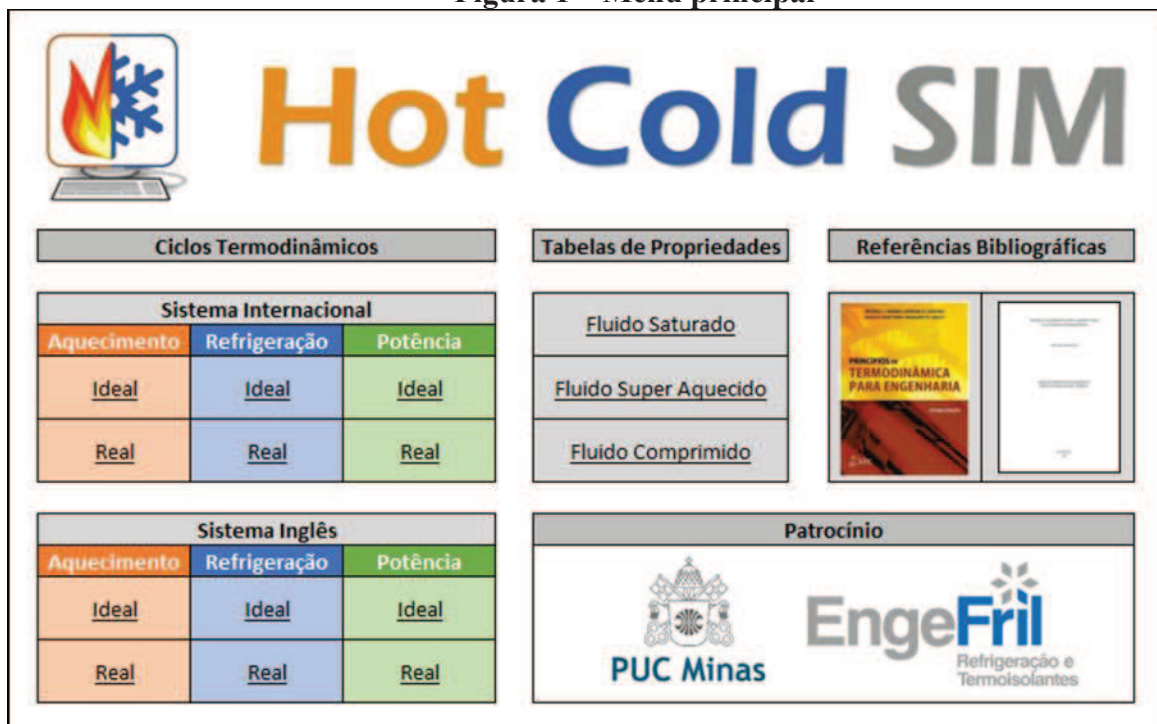
utilizando uma planilha Excel com cálculos automáticos realizados utilizando o recurso de Macro e linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA).

O resultado disso é que o manuseio do programa será tão fácil quando a utilização de uma planilha comum do Excel, tarefa que o usuário típico deste tipo de software já está habituado. A personalização do programa é possível através da utilização das fórmulas prontas do mesmo em qualquer célula de uma planilha ou quando o usuário cria suas próprias fórmulas utilizando a linguagem de programação VBA e as tabelas de propriedades termodinâmicas do programa. Desta maneira, o usuário ou empresa que utilizará o software poderá customizar o mesmo de acordo com suas necessidades.

4 RESULTADOS

A seguir são mostradas as principais telas do programa e seus recursos. Na Fig. (1) tem-se o menu principal do programa, de onde podem acessadas todas as telas do mesmo.

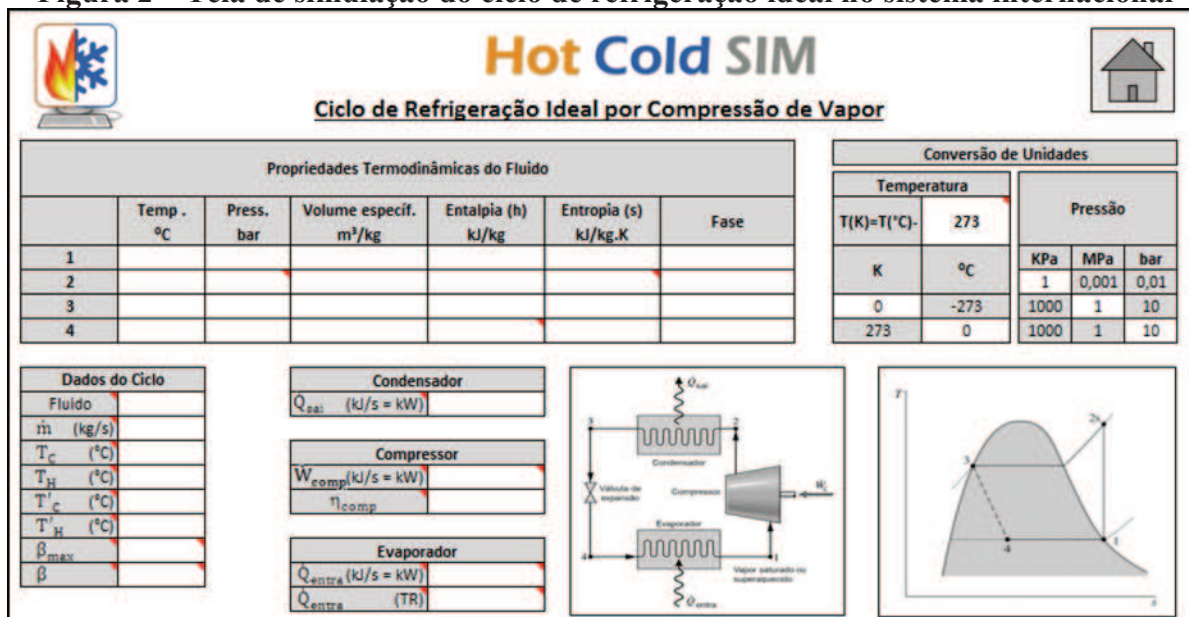
Figura 1 – Menu principal



Fonte: Elaborada pelos autores.

À esquerda do menu principal Fig. (1), tem-se links para acessar as telas de cálculo dos ciclos termodinâmicos os quais o programa pode simular. Ao clicar, por exemplo, sobre o link de refrigeração ideal no sistema internacional, o usuário acessará a tela de simulação deste ciclo, conforme mostrado na Fig. (2).

Figura 2 – Tela de simulação do ciclo de refrigeração ideal no sistema internacional

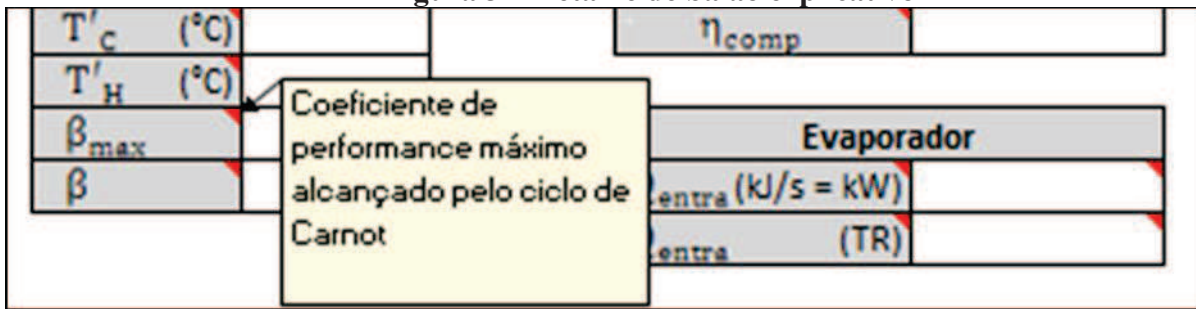


Fonte: Elaborada pelos autores.

O programa poderá ser personalizado de acordo com as necessidades do usuário, que poderá criar novos ciclos com base nestes existentes, adicionando novos componentes e funções. Esta tela é composta por tabelas de propriedades termodinâmicas do fluido de trabalho e do ciclo, onde o usuário informará as propriedades conhecidas do fluido e o programa calculará automaticamente as outras propriedades que forem possíveis a partir dos dados informados. Aqui encontram-se também um desenho esquemático do ciclo com todos os componentes, o gráfico de temperatura-entropia do mesmo e uma tabela para conversão de unidades de temperatura e pressão.

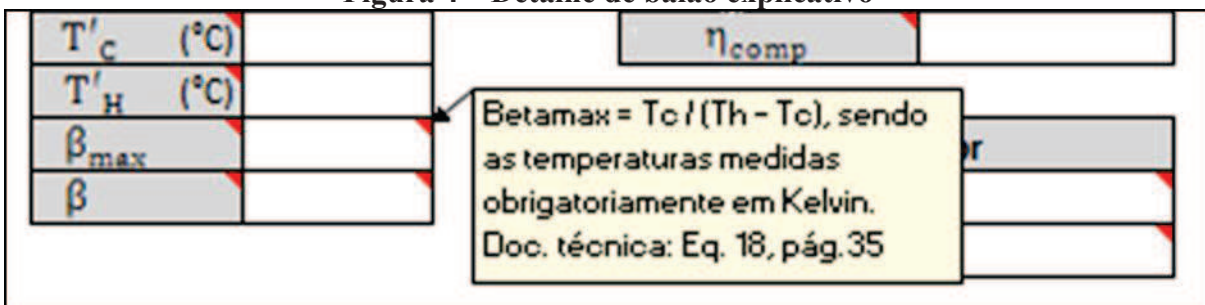
Ao passar o mouse sobre as células que possuem uma seta vermelha indicativa, o usuário verá balões contendo o conceito daquela propriedade ou os detalhes do cálculo da mesma, podendo constar inclusive a página da referência bibliográfica onde o conceito é explicado. Nas Fig. (3) e (4), pode-se ver o que acontece quando o usuário passa o mouse sobre as células da propriedade “coeficiente de performance máximo”.

Figura 3 – Detalhe de balão explicativo



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 – Detalhe de balão explicativo



Fonte: Elaborada pelos autores.

Note que a Fig. (4) orienta o usuário a consultar a Eq. 18 na página 35 da referência bibliográfica, que disponível à direita no menu principal. Ao acessar esta documentação técnica, o usuário verá a explicação para o conceito de “coeficiente de performance máximo” conforme mostra a Fig. (5).

Figura 5 – Detalhe da documentação técnica anexa ao programa

35

O coeficiente de performance máximo que qualquer ciclo de refrigeração reversível pode ter é descrita pela Eq. (18). (MORAN; SHAPIRO, 2013)

$$\beta_{max} = \frac{T_c}{T_H - T_c} \quad (18)$$

Onde:

β_{max} = coeficiente de performance máximo alcançado pelo ciclo de refrigeração de Carnot, adimensional;

T_c = temperatura do reservatório frio, em K;

T_H = temperatura do reservatório quente, em K.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na parte central do menu principal conforme mostrado na Fig. (1) tem-se links para acessar as tabelas de propriedades termodinâmicas dos fluidos cujas tabelas estão cadastradas

no programa. Ao clicar, por exemplo, sobre o link de tabela de propriedades de fluido saturado, o usuário acessará a tabela contendo as propriedades de diversos fluidos, conforme mostrado na Fig. (6).

Figura 6 – Acesso da tabela de propriedades de fluido saturado através do programa

Propriedades de Fluido Saturado (Líquido-Vapor)															
Tabela	Fluido	Ref.	Press. bar	Temp. °C	Volume Específico m³/kg		Energia Interna kJ/kg		Entalpia kJ/kg		Entropia kJ/kg.K				
					Líquido Sat. v _f x 10³	Vapor Sat. v _g	Líquido Sat. u _f	Vapor Sat. u _g	Líquido Sat. h _f	Vapor Sat. h _g	Líquido Sat. s _f	Vapor Sat. s _g	Temp. °C		
A-2	Água	Temp.	0,0061	0,01	1,0002	206,14	0,00	2,375,3	0,01	2,501,3	2,501,4	0,0000	9,1562	0,01	
7	A-2	Água	Temp.	0,0081	4,00	1,0001	157,23	16,77	2,380,9	16,78	2,491,9	2,508,7	0,0610	9,0514	4,00
8	A-2	Água	Temp.	0,0087	5,00	1,0001	147,12	20,97	2,382,3	20,98	2,489,6	2,510,6	0,0761	9,0257	5,00
9	A-2	Água	Temp.	0,0094	6,00	1,0001	137,73	25,19	2,383,6	25,20	2,487,2	2,512,4	0,0912	9,0003	6,00
10	A-2	Água	Temp.	0,0107	8,00	1,0002	120,92	33,59	2,386,4	33,60	2,482,5	2,516,1	0,1212	8,9501	8,00
11	A-2	Água	Temp.	0,0123	10,00	1,0004	106,38	42,00	2,389,2	42,01	2,477,7	2,519,8	0,1510	8,9008	10,00
12	A-2	Água	Temp.	0,0131	11,00	1,0004	99,86	46,20	2,390,5	46,20	2,475,4	2,521,6	0,1658	8,8765	11,00
13	A-2	Água	Temp.	0,0140	12,00	1,0005	93,78	50,41	2,391,9	50,41	2,473,0	2,523,4	0,1806	8,8524	12,00
14	A-2	Água	Temp.	0,0150	13,00	1,0007	88,12	54,60	2,393,3	54,60	2,470,7	2,525,3	0,1953	8,8285	13,00
15	A-2	Água	Temp.	0,0160	14,00	1,0008	82,85	58,79	2,394,7	58,80	2,468,3	2,527,1	0,2099	8,8048	14,00
16	A-2	Água	Temp.	0,0171	15,00	1,0009	77,93	62,99	2,396,1	62,99	2,465,9	2,528,9	0,2245	8,7814	15,00
17	A-2	Água	Temp.	0,0182	16,00	1,0011	73,33	67,18	2,397,4	67,19	2,463,6	2,530,8	0,2390	8,7582	16,00
18	A-2	Água	Temp.	0,0194	17,00	1,0012	69,04	71,38	2,398,8	71,38	2,461,2	2,532,6	0,2535	8,7351	17,00
19	A-2	Água	Temp.	0,0206	18,00	1,0014	65,04	75,57	2,400,2	75,58	2,458,8	2,534,4	0,2679	8,7123	18,00
20	A-2	Água	Temp.	0,0220	19,00	1,0016	61,29	79,76	2,401,6	79,77	2,456,5	2,536,2	0,2822	8,6897	19,00
21	A-2	Água	Temp.	0,0234	20,00	1,0018	57,79	83,95	2,402,9	83,96	2,454,1	2,538,1	0,2966	8,6672	20,00
22	A-2	Água	Temp.	0,0249	21,00	1,0020	54,51	88,14	2,404,3	88,14	2,451,8	2,539,9	0,3109	8,6450	21,00
23	A-2	Água	Temp.	0,0265	22,00	1,0022	51,45	92,32	2,405,7	92,33	2,449,4	2,541,7	0,3251	8,6229	22,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

O programa já virá carregado com as tabelas de propriedades termodinâmicas disponíveis no livro-texto de Moran e Shapiro (2013), porém é importante destacar que o usuário poderá personalizar estas tabelas facilmente, adicionando novos fluidos ou adicionando intervalos de temperatura ou pressão que não foram cobertos pelas tabelas pré-carregadas no programa. Esta tabela utilizada automaticamente pelo programa para realizar os cálculos, mas também poderá ser acessada de forma independente pelo usuário quando ele desejar realizar um cálculo de maneira manual. Note que existem filtros aplicados nestas tabelas de maneira a facilitar a busca de algum dado específico pelo usuário.

5 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível perceber a importância da simulação computacional de sistemas térmicos para o projeto e dimensionamento, estudos de melhorias, detecção de perdas térmicas e manutenção preditiva, no sentido de aumentar a eficiência energética destes sistemas, tanto na geração de energia quanto na utilização da mesma.

O software de simulação para sistemas térmicos desenvolvido neste trabalho mostra-se forte com os diferenciais de ser de fácil manuseio, alta personalização, didático, de baixo custo e permitir rápida consulta à fundamentação teórica durante a utilização do mesmo. Atingiu-se, portanto, o objetivo geral e os objetivos específicos que foram propostos.

Como próxima etapa tem-se a transformação deste software em um negócio rentável para garantir a sua distribuição aos usuários e seu constante aprimoramento com novos recursos, ciclos e fluidos. Desta maneira o programa pode se tornar uma das melhores opções entre os softwares já existentes no mundo, permitindo que um grande número de usuários, empresas e instituições possa obter os benefícios relacionados a simulação computacional e que os sistemas térmicos sejam cada vez mais eficientes.

REFERÊNCIAS

AHMADI, Gholam Reza; TOGHRAIE, Davood. Energy and exergy analysis of Montazeri Steam power plant in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 454-463, 2016.

ELSNER, Witold; KOWALCZYK, Łukasz; MACIEJ, Marek. Numerical thermodynamic optimization of supercritical coal fired power plant with support of IPSEpro software. **Archives of thermodynamics**, v. 33, p. 101-110, 2012.

JAMEL, Mahmood S; RAHMAN, Adlan; SHAMSUDDIN, Abd Halim. Simulation of existing gas-fuelled conventional steam power plant using Cycle Tempo. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 16, n. 1, 2013.

KAUSHIK, S.C.; REDDY, V. Siva; TYAGI, S.K.; Energy and exergy analyses of thermal power plants: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 1857-1872, 2011.

KOTOWICZ, Janusz et al. Validation of a program for supercritical power plant calculations. **Archives of Thermodynamics**, v. 32, n. 4, p. 81-89, 2011.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MUSA N. A., ADAM M. S. Analysis of Steam power plant at kaduna refining and petrochemical company from exergetic perspective. **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 8, n. 6, p. 558-566, 2015.

BLICK: leitor de livros digitais em braille

Juscelino Junior de Oliveira*

RESUMO

A inclusão social de deficientes visuais é um desafio para a sociedade atual. Soluções que utilizam o sistema Braille existem, mas elas não são acessíveis a todos devido ao custo elevado. Para disponibilizar uma solução acessível a todos, foi criado o Blick: um dispositivo eletromecânico, de baixo custo, que exibe palavras em Braille. Ele é composto por uma superfície com furos e pinos que formam as palavras, as quais são armazenadas na memória do próprio dispositivo. O Blick utiliza o mesmo mecanismo presente em canetas *click*, o que simplifica o projeto e diminui o custo. O usuário pode ler o conteúdo passando a mão sobre a superfície e sentindo os pinos que estarão expostos. Ao terminar a leitura, basta pressionar um botão e novas palavras serão exibidas no lugar das antigas, dando continuidade à leitura. A utilização do Blick é simples e independente, não necessitando estar conectado a um computador para ser utilizado. Ele tem como objetivo auxiliar as pessoas com deficiência visual com a leitura e o aprendizado do Braille. O dispositivo possui um modo de operação que utiliza um teclado para inserção das letras, além de um *display* que permite que outra pessoa sem conhecimento da linguagem acompanhe a leitura. Novos textos, e até mesmo livros completos, podem ser gravados na memória do dispositivo.

Palavras-chave: Blick. Braille. Acessibilidade. Tecnologia assistiva. Inclusão de deficientes visuais.

ABSTRACT

The social inclusion of blind people is a challenge for the actual society. There are solutions using the Braille system, but they aren't accessible for everybody because their high cost. To provide a solution accessible to everybody, it was created the Blick: an electromechanical and low cost device that displays words in Braille. It has a surface with holes and pins that form the words, which are stored in the device's memory. The Blick uses the same mechanism present

* Engenheiro de Controle e Automação. E-mail: juscelinooliveira@gmail.com

in click pens, what makes the project simple and decreases the cost. The user can read the content running his hand over the surface and feeling the pins which will be exposed. After the user finishes reading, it is just necessary to press a button and new words will be displayed over the older ones, continuing the reading. Using the Blick is simple and it is independent, don't being necessary to be connected to a computer to be used. It has the objective of helping blind people with reading and Braille learning. The device has an operation mode that uses a keyboard as input of the words, besides a display that allows another person follows the reading, even don't knowing the Braille language. New texts, and even full books, can be stored in the memory of the device.

Keywords: Blick. Braille. Accessibility. Assistive technology. Inclusion of blind people.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 6,5 milhões deficientes visuais, dos quais aproximadamente 580 mil são cegos. Dispositivos em Braille já vem sendo desenvolvidos há muito tempo. Porém, mesmo com um longo tempo de desenvolvimento, ainda não foi criado um dispositivo vendido a um preço acessível.

Os produtos mais comuns disponíveis no mercado são fabricados no exterior, e o custo de importação faz com que eles cheguem ao mercado brasileiro a um preço elevado. Eles trabalham em conjunto com um computador e um software que faz a leitura da tela e transcreve em Braille. É a famosa linha Braille. Um dos fabricantes é a empresa americana *Freedom Scientific*. Ela desenvolve vários produtos voltados para o mercado de acessibilidade, e possui uma linha de dispositivos em Braille com preços a partir de 1295 dólares, com 14 células, de acordo com o site da própria empresa, no dia 05 de Novembro de 2016.

Um produto está sendo desenvolvido por uma *Startup* austríaca: BLITAB. Com o mesmo nome da empresa, o produto é um *tablet* que utiliza uma tecnologia nova. A empresa ainda não fabrica o produto em grande escala e o preço girará em torno de 2500 euros, segundo informações do site *Tecnoblog*.

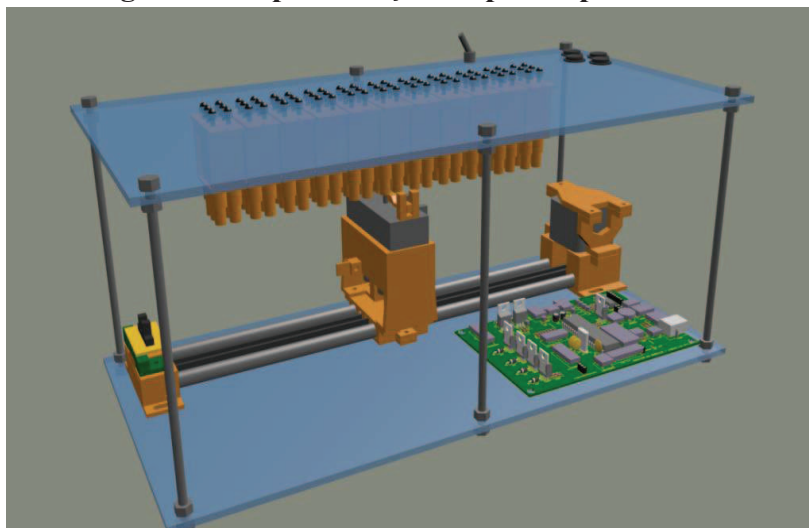
Com base nesse cenário, foi desenvolvido um protótipo de um dispositivo, de baixo custo, capaz de representar letras em Braille, formando palavras e pequenas frases. O Blick é um leitor de livros digitais que exhibe o conteúdo na linguagem Braille. O objetivo do Blick é

substituir os atuais livros impressos, que são pesados, volumosos e de difícil acesso devido ao custo e baixa disponibilidade no mercado. A maioria dos livros em Braille é fabricada por encomenda. Com isso, o Blick seria um instrumento de leitura para os deficientes visuais, tanto no dia a dia, como durante o aprendizado da linguagem, em escolas e instituições, auxiliando e incentivando o desenvolvimento do sentido do tato e aprendizado do sistema Braille para alfabetização.

2 DESENVOLVIMENTO

O Blick é um dispositivo constituído de uma superfície com vários furos por onde saem os pinos que formarão os caracteres em Braille. Esses pinos podem ficar retraídos ou expostos. Um conjunto de seis desses pinos pode representar uma letra, algarismo ou símbolo em Braille. Esse conjunto recebe o nome de célula. A Figura 1 mostra uma representação do protótipo do Blick desenvolvido e apresentado na 10ª Mostra Tecnológica do Instituto Politécnico (IPUC), na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas).

Figura 1 - Representação do protótipo do Blick



Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento do protótipo pode ser dividido em três partes: sistema mecânico, sistema de acionamento e sistema de controle.

2.1 Sistema mecânico

O sistema mecânico é composto pelas células e pela estrutura do equipamento. Cada célula contém seis pinos, que podem estar expostos ou retraídos. Um mecanismo interno é capaz de controlar cada pino independentemente, realizando a função de retrain e expor os pinos. O mecanismo utilizado é o mesmo encontrado em canetas. É um mecanismo simples, de fácil operação e de baixo custo. Utiliza o princípio de came. Um ponto forte é que o próprio mecanismo mantém o pino exposto, sem consumo de energia, e seu acionamento é feito aplicando uma força na forma de impulso na parte inferior da caneta.

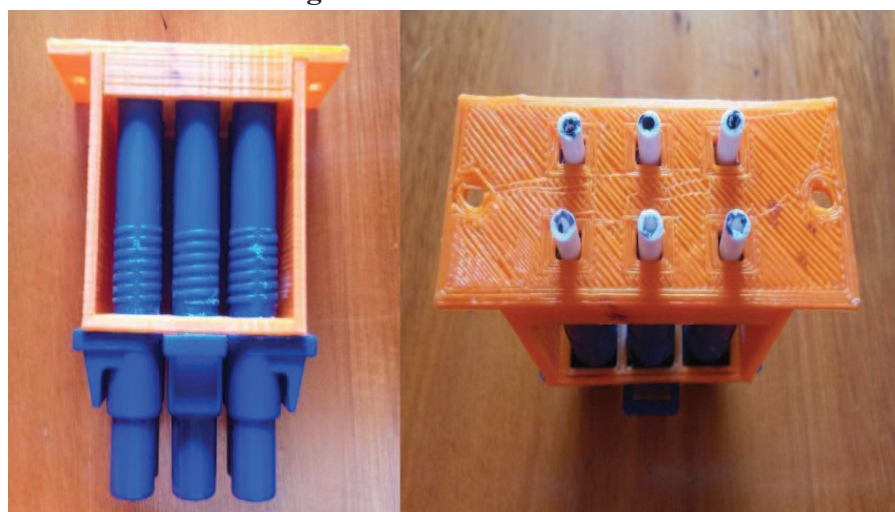
As peças utilizadas na construção do protótipo foram extraídas de canetas comuns, o que reduziu o custo de desenvolvimento. A Figura 2 mostra as peças utilizadas.

Figura 2 - Partes do mecanismo das células



Fonte: Elaborado pelo autor.

As células são construídas e montadas independentes uma das outras. Isso facilita a manutenção em caso de defeito, porque apenas a célula defeituosa precisará ser trocada. A Figura 3 mostra uma célula montada.

Figura 3 - Célula montada

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Sistema de acionamento

Para que os pinos sejam atuados é preciso que uma força seja aplicada na parte inferior das células. Isso é feito pelo sistema de acionamento. O acionador é montado em uma plataforma que se desloca no interior do equipamento através de um eixo. Os atuadores são solenoides do tipo push.

2.3 Sistema de controle

A placa de controle do protótipo contém um microcontrolador que é o responsável por armazenar as informações que serão exibidas e controlar todo o sistema, coletando informações dos sensores e enviando comandos para os atuadores. O sistema de controle utiliza um microcontrolador da família PIC 18F4550, que oferece suporte à comunicação Universal Serial Bus (USB) e diversas outras funcionalidades.

3 CONCLUSÃO

O protótipo do Blick se mostrou funcional e conta com três modos de operação: Modo Leitura, Modo Programação e Modo Teclado.

No Modo Leitura, o dispositivo consegue exibir textos e palavras guardadas na memória do equipamento. Os botões fazem a comunicação com o usuário que consegue navegar pelo texto. Para enviar novos textos para a memória do dispositivo é utilizado o Modo Programação.

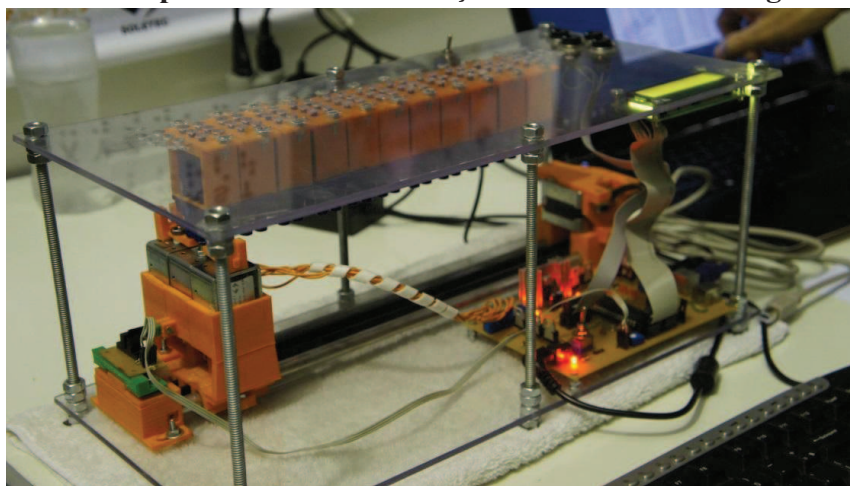
No Modo Teclado, o Blick se comunica com um teclado tradicional, recebendo informações das teclas pressionadas e exibindo-as em formato Braille.

Por se tratar de um protótipo, as dimensões e espaçamento dos pinos excede o tamanho convencional do sistema Braille. No entanto, o desenvolvimento de um modelo comercial, com produção industrial das peças adaptará o produto ao mercado, permitindo a leitura normalmente. A interação do equipamento com um teclado possibilita a utilização do Blick do processo de aprendizado da linguagem para crianças e adultos. O display permite o acompanhamento por alguém que não tenha conhecimento do Braille. A portabilidade e independência de um computador fornecem ao usuário a liberdade de transportá-lo e utilizá-lo em qualquer lugar.

Sobre o custo do projeto, tendo em vista os produtos disponíveis no mercado, o Blick se mostra uma excelente opção para leitura e aprendizado. Atualmente, o projeto possui apenas um protótipo, mas a previsão é de que uma versão comercial do Blick chegue ao mercado até 2018, com valor estimado em torno de R\$1.000,00.

A Figura 4 mostra o protótipo do Blick durante apresentação na 10ª edição da Mostra Tecnológica do IPUC, na PUC Minas. O projeto conquistou o primeiro lugar na sua categoria.

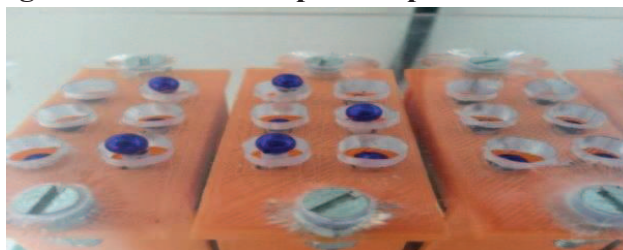
Figura 4 – Protótipo do Blick na 10ª edição da Mostra Tecnológica do IPUC



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5 mostra detalhe dos pinos expostos formando uma letra.

Figura 5 - Detalhe dos pinos expostos e retraídos



Fonte: Elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS

FREEDOM SCIENTIFIC. Disponível em:

<<https://www.freedomscientific.com/Products/Blindness/Focus14BrailleDisplay>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

PORTAL BRASIL. **Braile aumenta inclusão de cegos na sociedade.** Brasília: Governo do Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2015/01/braile-aumenta-inclusao-de-cegos-na-sociedade>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

PRADO, Jean. **Blitab é um tablet que exhibe conteúdo em braile:** tecnologia permite que cegos possam navegar por arquivos e páginas da web em um tablet especial. [S.l.]:

Tecnoblog, 2015. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/180531/blitab-tablet-braille/>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

A INFLUÊNCIA DO USO DE POLÍMERO TERMOPLÁSTICO COMO AGREGADO DE CONCRETO

André Luiz Bastos Pessoa*

Lorena Alves da Silva Machado*

Priscila Alves da Silva Machado*

Tadeu Henrique de Lima**

RESUMO

O poli(tereftalato de etileno) (PET) é um polímero termoplástico utilizado por, praticamente, todas as pessoas, em forma de embalagens para refrigerantes, tornando-se, assim, uma grande preocupação para a sociedade uma vez que este material acaba se acumulando na natureza em forma de resíduo. Pelo exposto, há um grande interesse tanto na área tecnológica quanto na do meio ambiente no reaproveitamento destes materiais passíveis de reciclagem, com alto valor agregado e baixo custo. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação das características mecânicas de concretos de cimento *Portland* produzidos com agregados de PET conforme NBR 5739 (2007), resistência à tração por compressão diametral, conforme NBR 7222 (2011), resistência à tração na flexão conforme NBR 12142 (2010) e módulo de elasticidade estático, conforme NBR 8522(2008). Todos os ensaios atenderam a requisitos mínimos para concretos não estruturais com resistência mínima de 20 MPa e foi observado um aumento de resistência à compressão em concreto produzido com agregados de poli(tereftalato de etileno). O estudo demonstrou que a utilização do polímero termoplástico em questão atuou como um aliado no que se refere ao benefício ambiental uma vez que contribui diretamente para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Concreto sustentável. Meio ambiente. Poli(tereftalato de etileno).

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate (PET) is a thermoplastic polymer used by practically all persons in

* Alunos de graduação - Engenharia Civil - Universidade do Estado de Minas Gerais

** Doutor, Professor orientador - Universidade do Estado de Minas Gerais

the form of packaging for soft drinks becoming therefore a major concern to society since this material accumulates in nature in the form of residue. For this reason, there is a great interest for the technological area and for the environment in the reuse of these materials suitable for recycling, with high added value and low cost. Therefore, this study aimed to evaluate the mechanical properties of Portland cement concrete produced from PET aggregates according to NBR 5739 (2007), tensile strength by diametral compression, according to NBR 7222 (2011), tensile strength in bending according to NBR 12142 (2010) and the static modulus of elasticity according to NBR 8522 (2008). All assays followed the minimum requirements for non structural concrete with minimum resistance of 20 MPa and was observed an increase of the compressive strength of concrete made from aggregates of poly(ethylene terephthalate). The study showed that the use of thermoplastic polymer in question served as an ally for the benefit of the environment because it directly contributes to the sustainable development of the construction industry.

Keywords: Sustainability. Sustainable concrete. Environment. Poly (ethylene terephthalate).

1 INTRODUÇÃO

O concreto de cimento *Portland* é o material mais utilizado em construções, sendo adequado às estruturas devido a sua facilidade de moldagem e, também, por possuir custo acessível. Os materiais utilizados como agregados para a produção do concreto de cimento *Portland* são provenientes de fontes naturais não renováveis e possuem utilização mundial em volumes extremamente elevados. Tal consumo poderá levar à escassez de fontes destes materiais.

Para a eliminação de uma parte desse resíduo acumulado na natureza. Com isso, constitui-se fator de extrema relevância a busca por engenheiros e pesquisadores por materiais que apresentem bom desempenho com custo relativamente baixo e que favoreçam a preservação do meio ambiente.

O Poli(tereftalato de etileno) (PET) é um material polimérico, termoplástico e utilizado por, praticamente, todas as pessoas, em forma de embalagens para refrigerantes, tornando-se, assim, uma grande preocupação para a sociedade uma vez que este material acaba se acumulando na natureza.

A família dos poliésteres é constituída por materiais produzidos pela polimerização de um ácido dicarboxílico e um glicol ou bifenol. A fibra de PET é, portanto, o polímero formado

pela reação do ácido tereftálico e o etilenoglicol. Por sua vez, o ácido tereftálico é obtido pela oxidação do p-xileno, enquanto o etilenoglicol é sintetizado a partir do eteno, sendo ambos, no Brasil, produzidos pela indústria petroquímica [2].

O PET proveniente das embalagens de garrafas plásticas é um material que possui um longo tempo de decomposição e seu consumo na confecção de argamassas e concretos auxilia na preservação do meio ambiente. Vale ressaltar que a produção de PET no Brasil é de 360 mil toneladas, sendo que o consumo é equivalente a 270 mil toneladas e a reciclagem a 89 mil toneladas, segundo a Associação Brasileira de Embalagens PET (2015) [2].

O concreto de cimento *Portland* é o material mais utilizado em construções, adequado às estruturas devido sua facilidade de moldagem e também considerado um material com custo acessível [4].

Neste contexto, o estudo da utilização de resíduos de PET pós-consumo torna-se bastante interessante como substituto de agregados minerais em concreto de cimento *Portland*. O proposto estudo teve como objetivo avaliar concretos de cimento *Portland* fabricados com diferentes proporções de poli(tereftalato de etileno), atuando como agregado miúdo e substituindo, parcialmente, o agregado miúdo padrão (areia).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Após longa pesquisa bibliográfica sobre os materiais que constituem o foco da pesquisa, a parte experimental foi realizada no Centro Tecnológico da Faculdade de Engenharia (FaEnge), da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Campus João Monlevade-MG, sendo que a confecção dos corpos-de-prova e suas respectivas análises seguiram a determinação da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Tanto na dosagem dos corpos de prova sem adição quanto nos corpos de prova com adição dos resíduos de PET foi determinado um traço, diferenciado apenas pela quantidade de resíduos utilizados na substituição do agregado. Todas as amostras foram lavadas, secadas e caracterizadas anteriormente à realização dos experimentos.

2.1 Caracterização dos materiais

2.1.1 Cimento Portland

O cimento *Portland* CP-IV 32 RS foi utilizado como aglomerante para mistura do concreto, conforme NBR 5736. A tabela 1 apresenta as características físicas do mesmo.

Tabela 1 - Caracterização do cimento

Tipo de cimento <i>Portland</i>	Classe	Finura		Tempo de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão
		Resíduo na peneira de 75 mm (%)	Água específica (m ³ /Kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	28 dias (Mpa)
CPIV	25	≤8	-	≥1	≤12	≤5	≤5	≥25,0
	32							≤32,0

Fonte: Associação Brasileira de Cimento *Portland*.

2.1.2 Agregado miúdo: Areia

A areia quartzosa utilizada neste estudo foi proveniente do Rio Piracicaba- MG. Através de ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, na tabela 2, podem-se visualizar características físicas da mesma [3].

Tabela 2 - Características do agregado miúdo (areia)

Característica	Valores
Módulo de finura	2,5
Massa específica	2,67 g/cm ³
Massa unitária	1,28 g/cm ³

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1.3 Agregado graúdo: Brita

O agregado graúdo utilizado neste trabalho é de origem metamórfica (brita de gnaíse). A tabela 3 mostra a caracterização da brita utilizada neste trabalho [3].

Tabela 3 - Características do agregado graúdo (brita)

Característica	Valores
Dimensão máxima característica	12,5mm
Massa específica	2,78 g/cm ³
Massa unitária	1,80 g/cm ³

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1.4 Poli(tereftalato de etileno) – PET

Os agregados de poli(tereftalato de etileno) utilizados nesse trabalho foram provenientes de embalagens descartáveis pós uso. Anteriormente à etapa de incorporação ao concreto as embalagens passaram pelo processo de beneficiamento: Foram lavadas com água corrente e secadas a (100,0°C ± 0,5°C) por 24 horas. Posteriormente, passaram por processo de trituração, a partir do qual apresentaram comprimento médio de (1 cm ± 0,2 cm) [3].

Tabela 4 - Características de agregados de poli(tereftalato de etileno)

Característica	Valores
Dimensão máxima característica	1,2 mm
Massa específica	1,41 g/cm ³
Massa unitária	3,11 g/cm ³

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Produção do concreto e moldagem dos corpos de prova

Com o objetivo de estudar a resistência mecânica do concreto reforçado com agregados de poli(tereftalato de etileno) foram substituídos, parcialmente, por agregados de poli(tereftalato de etileno) o agregado miúdo (areia) nas proporções de 0%, 5%, 10% e 15% m/m. Para o cálculo do traço, foi utilizado o método do ABCP, a partir do qual calculou-se um traço de 1: 1,93: 2,44: 0,74 a/c, conforme a NBR7215 para um concreto de 25MPa à 27 MPa, em 28 dias [1]. A confecção do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira de queda livre, sendo que os agregados de concretos foram os últimos componentes a serem adicionados à mistura.

Posteriormente, foram confeccionados 36 corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, conforme a figura 2. Os ensaios foram realizados aos 28 dias de cura, conforme determinação da NBR 7215. Para a caracterização mecânica, os corpos

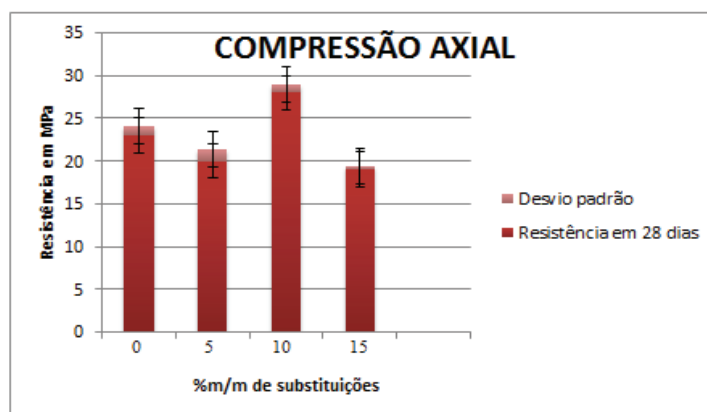
de prova foram capeados e, posteriormente, submetidos à ensaios mecânicos, que foram realizados em uma máquina de ensaios da marca Instron. Este equipamento fornece a força máxima de ruptura e a curva tensão-deformação, as quais foram utilizadas para calcular a resistência mecânica e o módulo de elasticidade estático. Amostras também foram submetidas a ensaios de absorção de água, de acordo com a NBR NM53, com o objetivo de monitorar poros permeáveis nos agregados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios mecânicos mencionados anteriormente. Estes dados permitem avaliar as propriedades de resistência do concreto de cimento *Portland* com agregados de poli(tereftalato de etileno).

A figura 1 mostra os dados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial. Pode ser observado que o menor valor de resistência à compressão ocorreu no corpo de prova de concreto de 15% m/m substituição de agregado miúdo por poli(tereftalato de etileno), e o maior valor ocorreu no concreto com substituição parcial de 10% adição de agregado miúdo por agregado de poli(tereftalato de etileno).

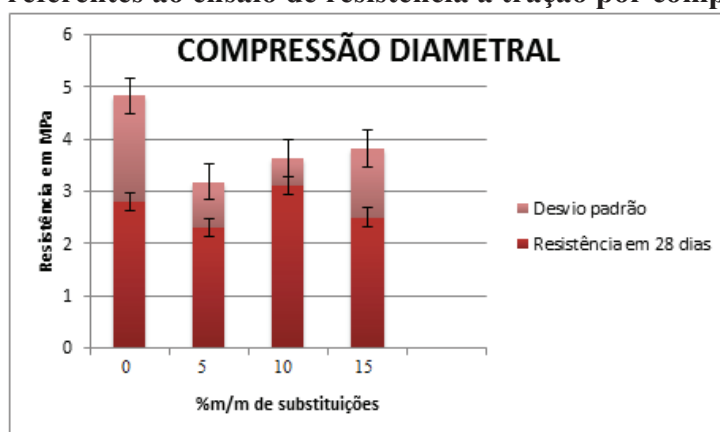
Figura 1 - Dados referentes ao ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 2, referente ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, pode ser observado que o menor valor de resistência também ocorreu no bloco de concreto de 15% de substituição de agregado miúdo por agregados de poli(tereftalato de etileno) e o maior valor ocorreu no concreto no qual houve a substituição de agregados miúdos por agregados de poli(tereftalato de etileno).

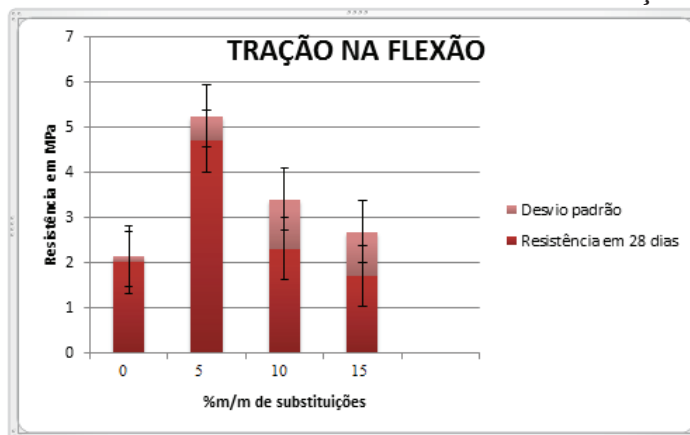
Figura 2 - Dados referentes ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 3 apresenta os dados referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão. Pode ser observado que o menor valor de resistência ocorreu no bloco de concreto produzido sem substituições de poli(tereftalato de etileno) e o maior valor ocorreu no concreto fabricado com substituição parcial de agregado miúdo por agregado de poli(tereftalato de etileno) 5% m/m.

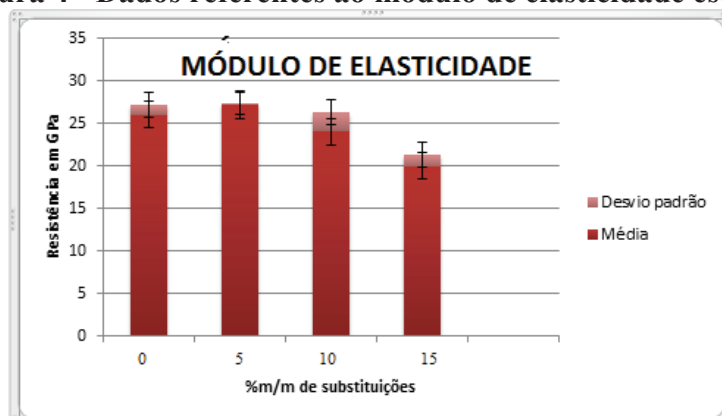
Figura 3 - Dados referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 4 apresenta os dados referentes ao módulo de elasticidade estático. Pode ser observado no gráfico que os valores estão bem equiparados. O maior valor ocorreu com 5% de substituição parcial do agregado miúdo por agregados de poli(tereftalato de etileno) e o menor valor ocorreu na substituição parcial de 15% de agregado miúdo por agregado de poli(tereftalato de etileno).

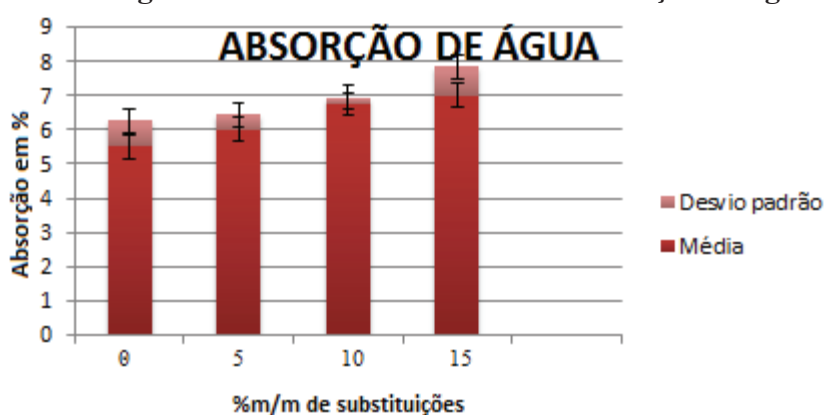
Figura 4 - Dados referentes ao módulo de elasticidade estática



Fonte: Elaborado pelos autores.

A figura 5 apresenta os dados referentes à absorção de água. Pode ser observado no gráfico que os valores estão bem equiparados e que não houve variação significativa entre os percentuais obtidos e o desvio padrão foi o mesmo para cada percentual.

Figura 5 - Resultados referentes à absorção de água



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Segundo testes realizados em laboratório com 36 corpos de prova nas condições de substituição: 0% de poli(tereftalato de etileno), 5% poli(tereftalato de etileno), 10% poli(tereftalato de etileno) e 15% poli(tereftalato de etileno), o emprego de poli(tereftalato de etileno) à formulação de concretos é tecnicamente viável. Sendo que o concreto com substituição de 10% de poli(tereftalato de etileno) apresentou a melhor resistência, não variando muito do corpo de prova usado como referência.

Do ponto de vista de aplicação e considerando os resultados obtidos, em particular com relação à resistência mecânica, os traços obtidos com a substituição de agregados minerais

por resíduos de poli(tereftalato de etileno) podem ser aplicados na indústria da construção civil para a fabricação de artefatos não estruturais, isto é, não limitados por normas específicas, sobretudo referentes à resistência mecânica. Neste caso, exemplos potenciais de utilização são: alvenaria interna de fechamento, capas para lajes nervuradas, capas para lajes pré-moldadas, material de enchimento (em escadas, rebaixos de nível, base de enchimento para pisos térreos de edificações). Para trabalhos futuros, torna-se interessante o estudo do concreto em longo tempo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CONCRETO. **Portland**. [S. l.]: ABCP, 2016. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>> Acesso em: 15 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET. [S. l.]: ABEPET, 2016. Disponível em: < www.abepet.com.br > Acesso em: 22 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: concreto - determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. Cap. 27, p. 905-944. v.2.

JELIDI, A. Conception d'un materiau composite a matrice cimentaire renforcee par des fibres de polyester. 1991. 170f. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais)- Devant L'Institut National des Sciences Appliquees de Lyon, França.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S. P. **O cimento portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. VI. Cap. 10, pp. 295-321.

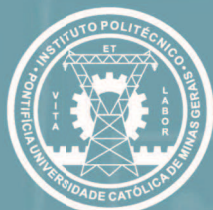
OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K. Development of recycled PET fiber and its application as concrete reinforced fiber. **Cement and Concrete Composites**, v.29, n.6, pp. 448-455, 2007.

ISBN: 978-85-8239-057-3

II CIPUC

Congresso do Instituto Politécnico da PUC Minas
Engenharia, Inovação, Sustentabilidade

2ª Edição
IPUC - PUC Minas
Belo Horizonte
2016



PUC Minas