

A collage of engineering-related items: a yellow hard hat, a black rolled-up blueprint, a yellow and black measuring tape, and a blue technical drawing with various lines and numbers. A semi-transparent grey circle is centered over the image, containing the title text.

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME VI

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

6ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

6ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2021

183 f.: il

DOI: 10.37423/2021.edcl384

ISBN: 978-65-5367-028-0

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2021.edcl384>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonato

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	6
EFEITO DAS ALTERAÇÕES DE CALENDÁRIO ACADÊMICO NAS REPROVAÇÕES EM DISCIPLINAS DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UFRRJ	
Rui de Góes Casqueira	
Helio Fernandes Machado Junior	
Paulo Jansen de Oliveira	
Fabíola Oliveira da Cunha	
Dilma Alves Costa	
DOI 10.37423/211205098	
CAPÍTULO 2	17
DIAGNÓSTICO DE ENSINO PARA ENGENHARIA: ENTREVISTAS EM PROFUNDIDADE COM DOCENTES SOBRE O EMPREENDEDORISMO	
Ricardo Luiz Perez Teixeira	
Priscilla Chantal Duarte Silva	
DOI 10.37423/211205100	
CAPÍTULO 3	37
CONVOLUÇÃO DE SINAIS NO TEMPO DISCRETO - NOVO MÉTODO DE RESOLUÇÃO UTILIZANDO TABELAS	
Bianca Barros Peçanha	
Paulo Henrique Sousa Silva	
Natália Lima de Oliveira Santos	
DOI 10.37423/211205102	
CAPÍTULO 4	49
ANÁLISE DE TEMPOS NA AUTOMAÇÃO E CONTROLE NO LABORÁTORIO - CIM ATRAVÉS DO ENSINO PRESENCIAL E REMOTO - ONLINE	
Francisco de Assis Toti	
Marcos Vinicius Fernandes Pontes	
José Josimar de Oliveira	
Amilton Joaquim Cordeiro de Freitas	
DOI 10.37423/211205103	
CAPÍTULO 5	60
CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE DESGASTE MICROABRASIVO POR ESFERA ROTATIVA FIXA DE SIMPLES CONCEPÇÃO	
Paulo Lourenço Monteiro Junior	
Maria Adrina Paixão de Souza da Silva	
Thiago Antônio Paixão de Sousa Costa	
Tamires Isabela Mesquita Botelho	
Otávio Fernandes Lima da Rocha	
Antonio Luciano Seabra Moreira	
DOI 10.37423/211205115	

CAPÍTULO 6	79
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE AREIA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS E NA RESISTÊNCIA A DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE UMA MISTURA ASFÁLTICA	
Silvio Lisboa Schuster	
Chaveli Brondani	
Cléber Faccin	
Luciano Pivoto Specht	
DOI 10.37423/211205122	
CAPÍTULO 7	96
UTILIZAÇÃO DA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA DETECTAR VARIAÇÕES ANORMAIS DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	
Julio César Ferreira	
Geraldo Caixeta Guimarães	
Carlos Henrique Salerno	
Adélio José de Moraes	
DOI 10.37423/211205134	
CAPÍTULO 8	112
O CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM TRANSPORTE TERRESTRE DA UFBA, UMA EVOLUÇÃO ATRAVÉS DOS ANOS: UM ESTUDO DO PERFIL DOS DISCENTES	
José Lázaro de Carvalho Santos	
Ediana Santos Fiuza Conceição	
Elias Nasr Naim Elias	
Rebeca Silva de Sousa	
Silvia Camargo Fernandes Miranda	
DOI 10.37423/211205152	
CAPÍTULO 9	124
RESERVATÓRIOS PARA AMORTECER CHEIAS – VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NUM CAMPUS UNIVERSITÁRIO	
ANDRÉ LUIZ DE LIMA REDA	
BEATRIZ GOMES BUSSOTTI	
FRANCESCO JUNQUEIRA CASULLI	
MARCELO BETTINI DOMINGUEZ	
VICTÓRIA TAKAHASHI ALMEIDA	
DOI 10.37423/211205153	

CAPÍTULO 10 138

CONSTRUINDO UMA PONTE DE MACARRÃO

Glauceny Cirne de Medeiros
Danillo José Vieira Gonçalves
Douglas Quixabeira Freire
Gabriel Delfino Lucena
DOI 10.37423/211205157

CAPÍTULO 11 151

RESÍDUO SÓLIDO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE MOURÃO DE CONCRETO

Claudio de Jesus Souza
Leonardo Yuji Suzuki
Ricardo Vieira Santana
DOI 10.37423/211205166

CAPÍTULO 12 166

O CONTROLE DA CORROSÃO, OS BIOINIBIDORES E AS NOVAS TENDÊNCIAS PARA AS INVESTIGAÇÕES ELETROQUÍMICAS.

Jhonatan Peres de Sousa
João Vitor Rego Muniz
Bruno Duarte
Wallesson Alexandre de Sousa Lima
DOI 10.37423/211205181

Capítulo 1



10.37423/211205098

EFEITO DAS ALTERAÇÕES DE CALENDÁRIO ACADÊMICO NAS REPROVAÇÕES EM DISCIPLINAS DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UFRRJ

Rui de Góes Casqueira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Helio Fernandes Machado Junior

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Paulo Jansen de Oliveira

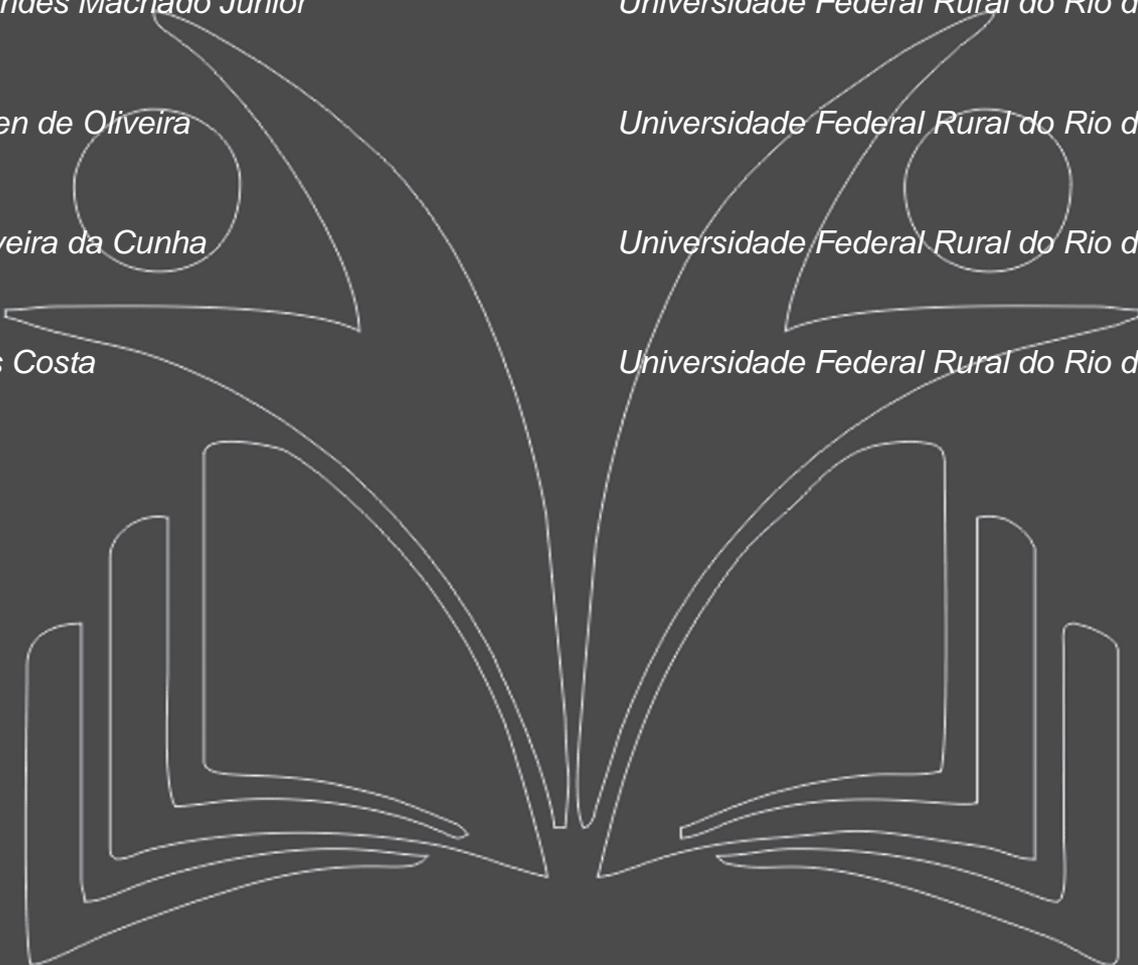
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Fabíola Oliveira da Cunha

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Dilma Alves Costa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Resumo: Este trabalho apresenta um levantamento dos percentuais de reprovação de doze disciplinas obrigatórias do curso de graduação em Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As disciplinas escolhidas ocupam desde o primeiro período até o oitavo, dando ênfase àquelas que são mais relevantes ao longo do elenco das disciplinas obrigatórias. A escolha das disciplinas foi baseada na percepção proveniente da experiência dos autores em sala de aula e na convivência diária com os discentes. A partir desse levantamento foram diagnosticadas possíveis causas que interferem no rendimento dos estudantes e realizadas soluções pontuais para reduzir os índices de reprovação em algumas disciplinas. Os dados obtidos revelaram que as interrupções dos calendários acadêmicos, especialmente para os alunos primeiro-anistas, provocadas pelas paralisações (greves) nas Instituições de Ensino Superior (IFES) apresentam impacto expressivo no desempenho dos discentes.

Palavras-chave: Retenção, Evasão, Rendimento Acadêmico.

1. INTRODUÇÃO

A grade curricular do curso de graduação em Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) é composta por um elenco disciplinas que possuem uma sequencia de pré-requisitos definidos e a reprovação em pelo menos uma dessas disciplinas, implica automaticamente no aumento do tempo de integralização do curso que atualmente é de 5 anos. O quantitativo de entrada semestral de alunos no período entre 2006 e 2012 é apresentado na Tabela 1. A principal observação é a expansão de 40 para 50 alunos por semestre em 2009 devido ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Programa REUNI).

Tabela 1 – Quantitativo de entrada de estudantes no período 2006-2013.

Período	Vestibular ou ENEM	Outras formas de acesso
2006-1	40	2
2006-2	40	4
2007-1	40	3
2007-2	39	1
2008-1	40	1
2008-2	40	6
2009-1	50	11
2009-2	50	0
2010-1	50	14
2010-2	49	6
2011-1	50	2
2011-2	51	9
2012-1	50	1
2012-2	50	12
2013-1	50	12
2013-2	50	6

Dentro da grade curricular do curso, foram escolhidas as disciplinas mostradas na Tabela 2 e sua respectiva periodização.

Tabela 2 – Disciplinas elencada para avaliar as reprovações que causam retenção.

Disciplina	Período
IC241 Cálculo I	1º
IT 382 Introdução à Engenharia Química	2º
IC242 Cálculo II	2º
IC243 Cálculo III	3º
IT 383 Métodos Matemáticos Aplicados I	4º
IT 384 Fundamentos de Engenharia de Processos	5º
IT 352 Mecânica dos Fluidos	6º
IT 387 Cálculo de Reatores I	7º
IT 360 Operações Unitárias da Indústria Química I	7º
IT 388 Transferência de Massa	7º
IT 361 Operações Unitárias da Indústria Química II	8º
IT 389 Cálculo de Reatores II	8º

2. METODOLOGIA

A partir das disciplinas escolhidas e mostradas na Tabela 2, foram identificados os quantitativos referentes aos alunos matriculados, aprovados e reprovados em cada disciplina em cada semestre letivo entre 2006 e 2013. O objetivo inicial foi identificar dentre as disciplinas escolhidas, aquelas que apresentaram o maior percentual de reprovação, confirmando ou desmentindo alguns conceitos informais. A Figura 1 mostra um fluxograma contendo as disciplinas elencadas e seu inter-relacionamento.

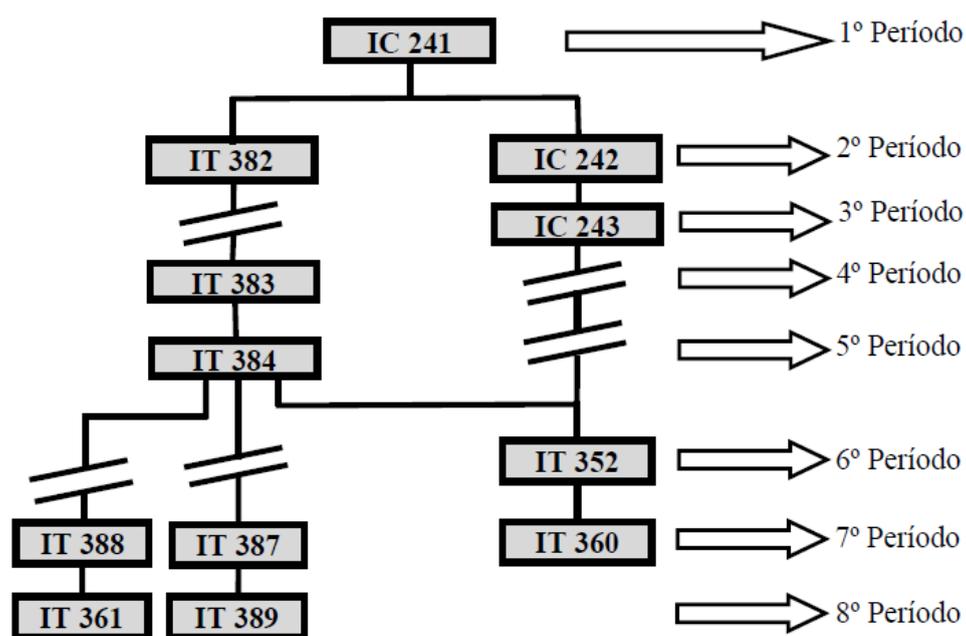


Figura 1 – Sequência das disciplinas elencadas.

Considerando que o conjunto completo de disciplinas não fornece nenhuma tendência ou indicação de informações, as discussões foram conduzidas em subconjuntos de disciplinas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A disciplina IC241 Cálculo I é tradicionalmente uma das mais desafiadoras em um curso de engenharia, seja por uma questão de base matemática, talvez pela complexidade do assunto ou pela abordagem mais aprofundada do conteúdo da disciplina de Cálculo I (IC241) quando comparada com a “Matemática” do ensino médio (GARZELLA, 2013). Dessa forma, essa dificuldade pode ser esperada nos demais cálculos II e III, no caso IC242 Cálculo II e IC243 Cálculo III. A Figura 2 ilustra a variação do percentual de reprovações nas disciplinas IC241 e IC 242.

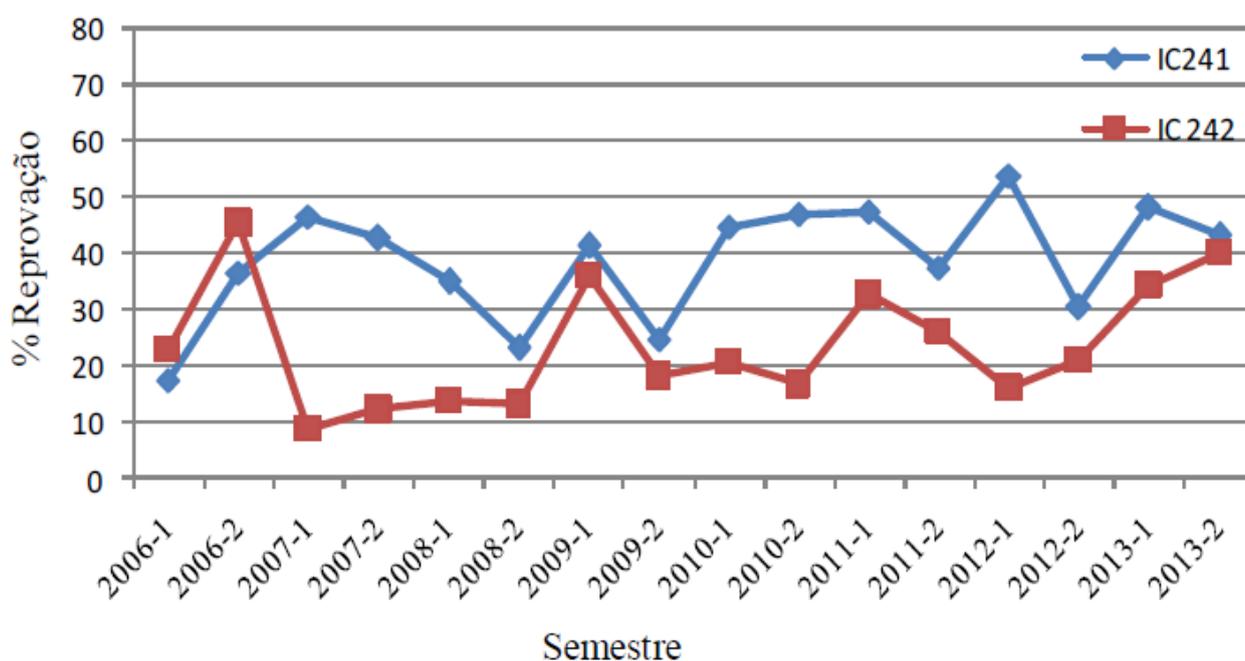


Figura 2 – Percentual de reprovações em IC241 e IC242 no período entre 2006 e 2013.

Uma análise da Figura 2 mostra que, na maioria dos semestres, os percentuais de reprovação seguem a mesma tendência de aumento ou queda. Isto sugere que as reprovações nessas disciplinas não acompanham as turmas. Algumas observações pontuais podem ser feitas sobre a Figura 2, por exemplo, o aumento dos percentuais de reprovação no semestre 2009-1. Esse semestre teve interferência de um período de greve dos servidores das IFES, o mesmo fato se repetiu no semestre 2012-1 para as turmas de IC241 Cálculo I. Ainda é possível sugerir que nos semestres 2007-2, 2009-1 e 2012-1 (pontos referentes a esses semestres) houve as maiores elevações de reprovações em IC241 Cálculo I e que esse calendário coincide com semestres que tiveram alterações de calendário por conta

de greves nas IFES, provocando, em todos eles, aulas após o que seria um calendário normal, de março a junho e de agosto a dezembro (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2007a, 2007b, 2009 e 2012).

A Figura 3 mostra uma comparação entre duas disciplinas: IC241 Cálculo I (1º período) e IT382 Introdução à Engenharia Química (2º período). De forma semelhante à análise feita para a Figura 2, as greves das IFES também produziram impacto nas reprovações nas disciplinas iniciais do curso, disciplinas que são pré-requisitos importantes de outras adiante. Também pode-se observar que, as duas disciplinas analisadas indicam uma leve tendência de aumento dos percentuais de reprovação ao longo do período analisado e para a disciplina IT382, desde 2010, observa-se um maior percentual de reprovações no primeiro semestre anual, comparando-se com o segundo.

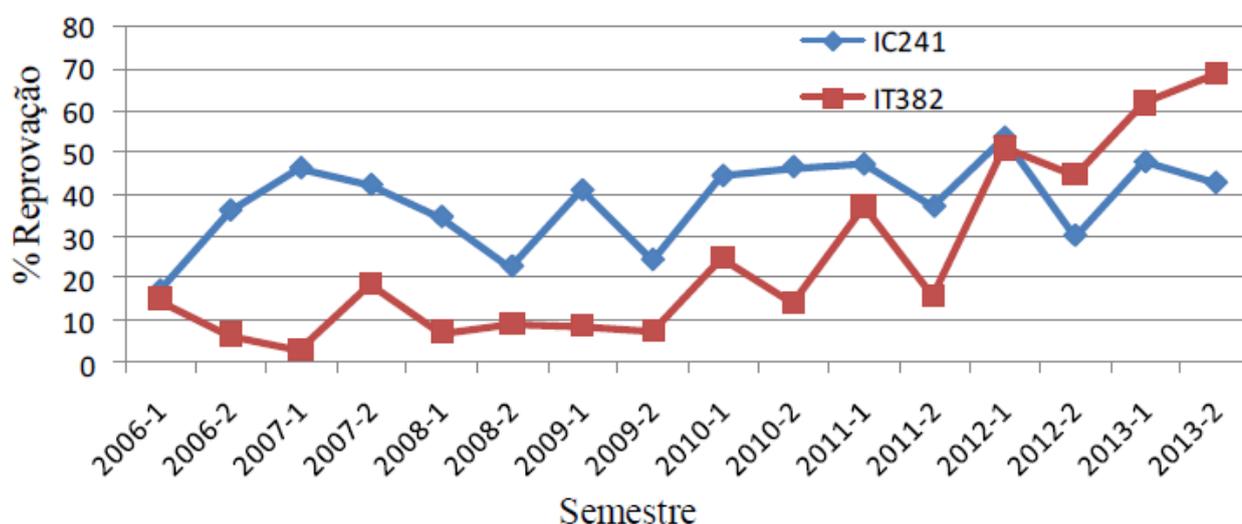


Figura 3 – Percentual de reprovações em IC241 e IT382 no período entre 2006 e 2013.

A Figura 4 mostra a variação do percentual de reprovação nas disciplinas IT384 Fundamento de Engenharia de Processos e IT352 Mecânicas dos Fluidos. A escolha desse par de disciplinas se justifica por serem componentes importantes do ciclo intermediário do curso e apresentarem conteúdos imprescindíveis para o entendimento das outras disciplinas adiante do curso. A primeira análise que pode ser feita é que não se identifica mais as possíveis influências das alterações dos calendários acadêmicos por conta de greves nas IFES. Essas alterações podem ser justificadas principalmente pela imaturidade acadêmica dos discentes na interligação dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas básicas e aplicação desses conteúdos na interpretação dos fundamentos de engenharia. Além dessa justificativa sugerem-se ainda o desprendimento dos discentes ao estudo baseado no conhecimento

proveniente do par aula/professor e a adaptação dos discentes às mudanças de rotina na Universidade.

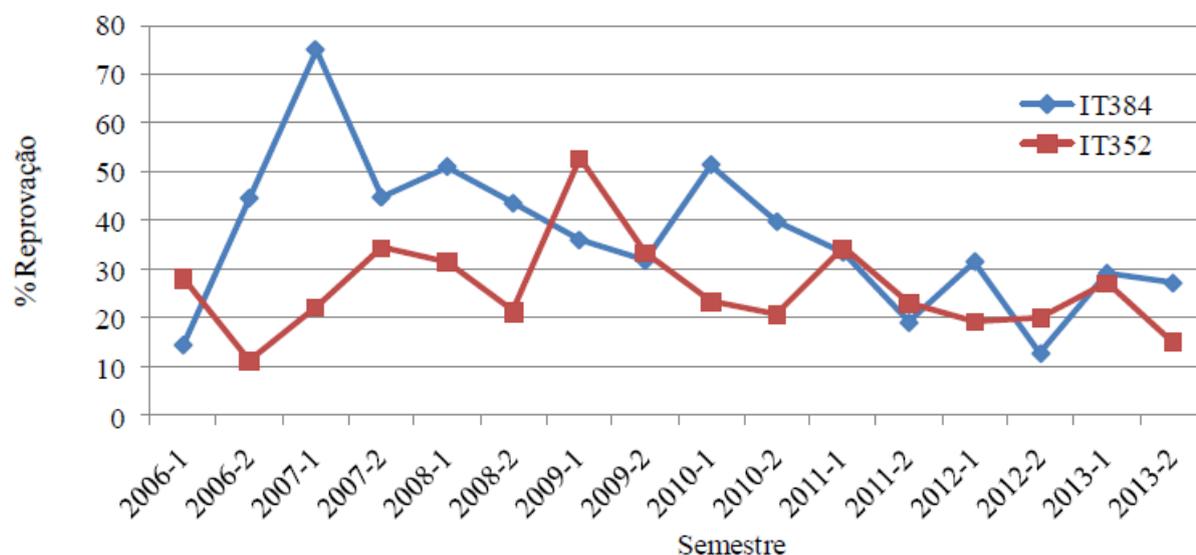


Figura 4 – Percentual de reprovações em IT384 e IT352 no período entre 2006 e 2013.

A Figura 5 mostra a variação do percentual de reprovação nas disciplinas IT352 Mecânicas dos Fluidos e IT360 Operações Unitárias da Indústria Química I. A escolha desse par de disciplinas se justifica por serem componentes importantes do ciclo intermediário/profissional e a disciplina IT352 é pré-requisito direto de IT360. Da mesma forma e com a mesma justificativa, a primeira análise que pode ser feita é que não se identifica mais as possíveis influências das alterações dos calendários acadêmicos por conta de greves nas IFES nos índices de reprovação nessas disciplinas. Observa-se na Figura 5 que desde 2009 a variação dos percentuais de reprovação seguem a mesma tendência, ou seja, houve aumento ou queda dos percentuais de reprovação no mesmo semestre. Para a análise particular desse par de disciplinas levamos em consideração que a disciplina IT 352 tem duas turmas sendo oferecidas semestralmente (dois professores diferentes, um deles o mesmo de IT360) enquanto que a disciplina IT 360 tem somente uma turma oferecida semestralmente. Essa informação dificulta uma análise exige uma análise mais criteriosa que envolva a influência do professor no rendimento das turmas a cada semestre. O que é possível sugerir é uma análise mais detalhada das turmas envolvidas, especialmente a partir de 2009. De qualquer forma, ambas as disciplinas possuem uma média de reprovações mediana, dentre as demais avaliadas nesse trabalho, conforme mostrado na Figura 6.

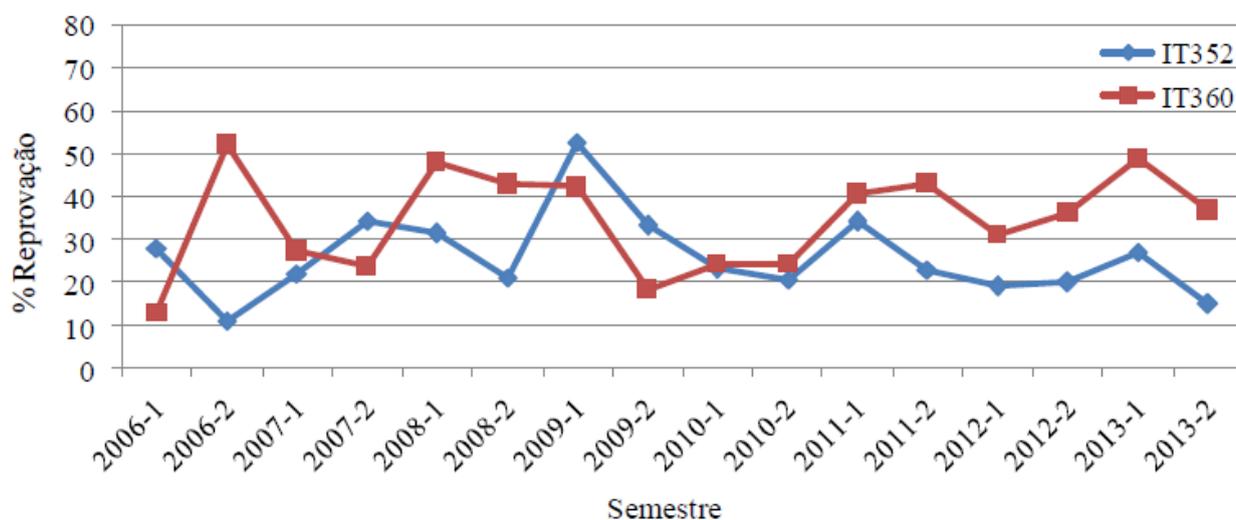


Figura 5 – Percentual de reprovações em IT352 e IT360 no período entre 2006 e 2013.

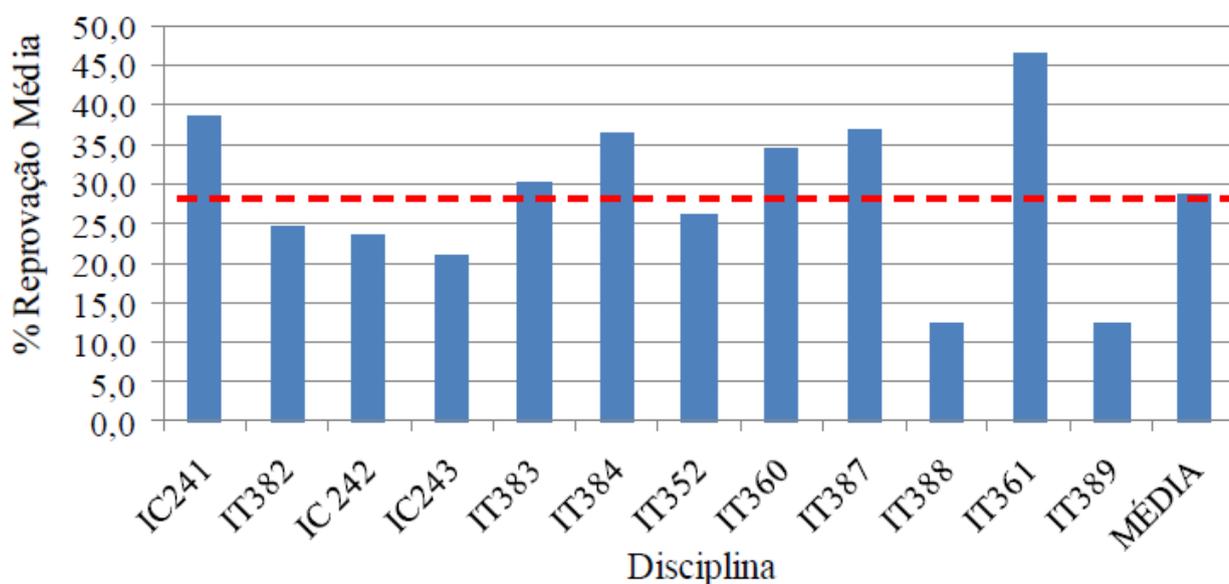


Figura 6 – Reprovação média das disciplinas estudadas (2006 a 2013).

A Figura 7 mostra a variação do percentual de reprovação nas disciplinas IT388 Transferência de Massa e IT361 Operações Unitárias da Indústria Química II. A escolha desse par de disciplinas se justifica por serem componentes importantes do ciclo profissional e a disciplina IT388 é pré-requisito direto de IT361. As duas disciplinas analisadas na Figura 7 dentro do período estudado, foram ministradas pelos mesmos professores, permitindo uma análise mais detalhada. A disciplina IT388, dentre as analisadas neste trabalho, é a que apresenta o menor percentual de reprovação (11,3%) ao longo do período estudado e em contraponto, a disciplina IT361 é a que apresenta o maior percentual (46,7%) no mesmo período.

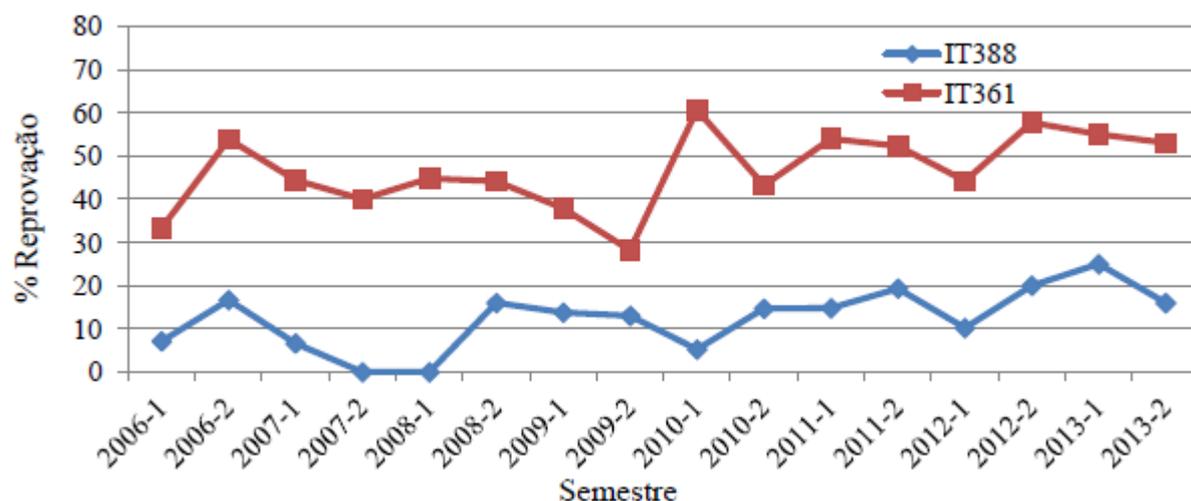


Figura 7 – Percentual de reprovações em IT388 e IT361 no período entre 2006 e 2013.

Esse patamar elevado de reprovações e até uma ligeira evolução vêm ao encontro do crescente número de discentes matriculados em IT361, o que pode ser considerado um fator que contribui para o acúmulo de discentes no curso. A Figura 8 mostra a evolução do número de discentes matriculados em IT388 e IT361 entre 2006 e 2014. A análise desse conjunto de informações sugere a urgente divisão da disciplina IT361 em turmas menores. Esse procedimento foi feito anteriormente em outras disciplinas do curso analisadas nesse trabalho (IT382, IT384 e IT352) e que de acordo com a Figura 6 apresentam percentuais de reprovação menores que os de IT361 e iguais, respectivamente, a 24,8, 36,5 e 26,0. Sugere-se também uma investigação cuidadosa dos motivos que indicam que IT361 é a disciplina, dentre as investigadas, a que apresenta o maior percentual de reprovações do curso.

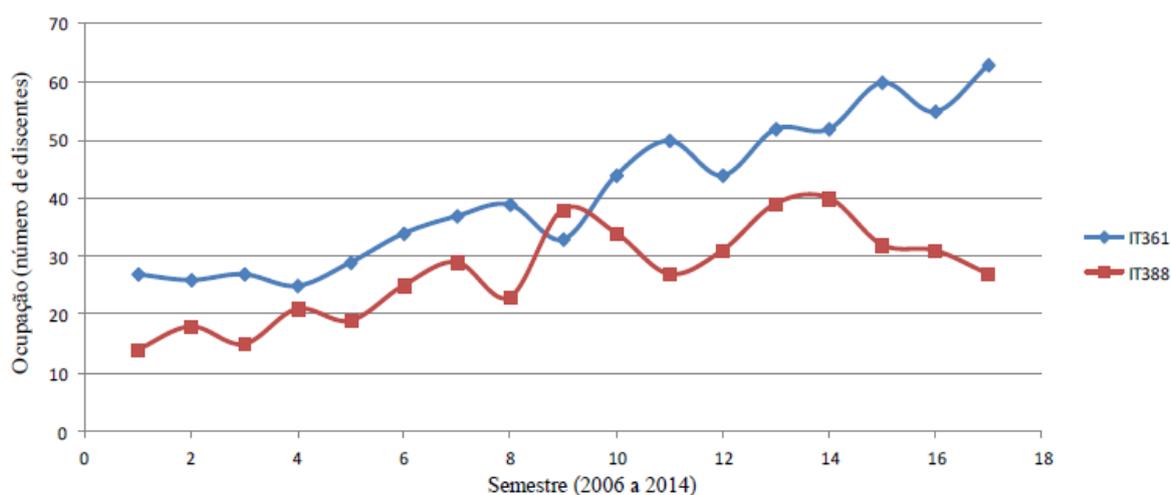


Figura 8 – Evolução do número de alunos matriculados em IT388 e IT361 no período entre 2006 e 2014.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento do currículo de um curso passa pelo conhecimento das particularidades que cada curso possui. Este trabalho apresentou um conjunto de informações basicamente sobre os percentuais de reprovação e que levaram a algumas conclusões preliminares sobre os fatores que interferem nas reprovações. Foi diagnosticado que as interrupções ou alterações no calendário acadêmico da Universidade pode ter provocado um aumento nas reprovações nas disciplinas IC241 e IT382, cursadas no 1º e 2º período do curso, majoritariamente ocupadas por alunos no primeiro ano. Essa situação não foi observada nas demais disciplinas investigadas, sugerindo que a partir de um certo ponto, os discentes se mostram mais independentes de eventuais interrupções no calendário.

Analisando as demais disciplinas investigadas, observou-se que IT361 possui o maior percentual de reprovações, superando Cálculo I. Como há enorme diferença (quatro vezes maior) entre os percentuais de reprovação de IT361 e IT388 (disciplinas sequenciais) aponta-se como possível causa o aumento do tamanho da turma (única turma) de IT361 ao passo que IT388 permanece com ocupação quase estável.

Este trabalho pretendeu então fornecer informações para subsidiar discussões sobre as causas globais e pontuais que podem provocar grandes alterações em percentuais de reprovação em disciplinas. Sugere-se mapear todas as disciplinas obrigatórias do curso identificando alterações de professores responsáveis e tamanho médio das turmas, com implicações de abertura ou fechamento de turmas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Graduação, em especial ao Professor Leonardo de Gil Torres, pela disponibilização dos dados apresentados neste trabalho. Os autores também agradecem ao Instituto de Tecnologia da UFRRJ pelo apoio dado para a participação das Coordenações de Curso nos COBENGES.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARZELLA, F. A. C. A disciplina de Cálculo I: Análise das relações entre as práticas pedagógicas do professor e seus impactos nos alunos. 2013. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Calendário Acadêmico de 2007. Disponível em: < http://www.ufrrj.br/soc/DOCS/deliberacoes/cepe/Deliberacoes_2007/Delib009CEPE2007.pdf > Acesso em: 21 mai. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Calendário Acadêmico Reformulado de 2007. Disponível em:

< www.ufrrj.br/soc/DOCS/deliberacoes/cepe/Deliberacoes_2007/Delib008CEPE2007.pdf > Acesso em: 21 mai. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Calendário Acadêmico de 2009. Disponível em: < http://r1.ufrrj.br/graduacao/arquivos/docs_calendario/calendario-2009_252-2009.pdf > Acesso em: 21 mai. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Calendário Acadêmico reformulado de 2012. Disponível em: < <http://www.ufrrj.br/portal/modulo/reitoria/getCalendario.php?arquivo=58.pdf> > Acesso em: 21 mai. 2014.

Capítulo 2



10.37423/211205100

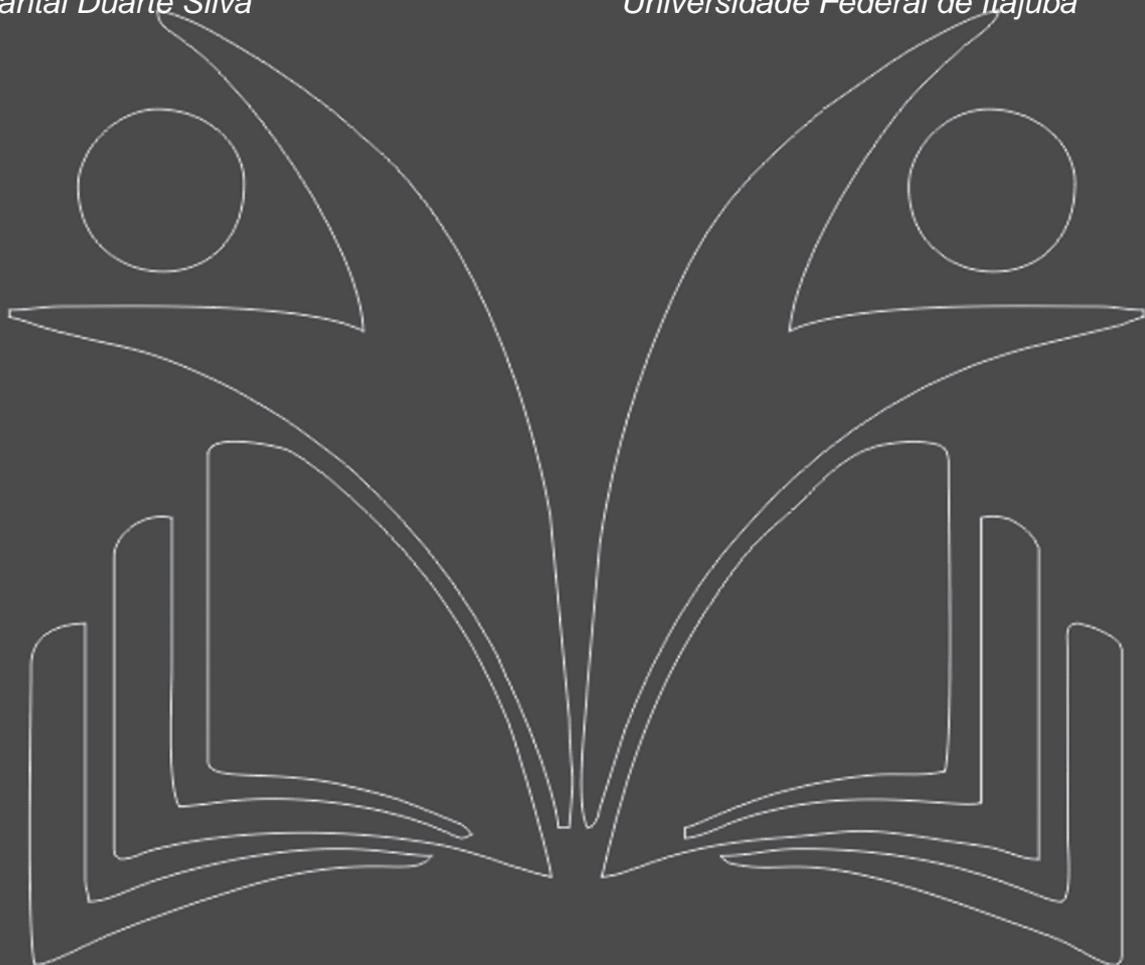
DIAGNÓSTICO DE ENSINO PARA ENGENHARIA: ENTREVISTAS EM PROFUNDIDADE COM DOCENTES SOBRE O EMPREENDEDORISMO

Ricardo Luiz Perez Teixeira

Universidade Federal de Itajubá

Priscilla Chantal Duarte Silva

Universidade Federal de Itajubá



Resumo: A abordagem do ensino do empreendedorismo no currículo da Engenharia de Materiais é uma recomendação ao perfil do egresso engenheiro pelo governo brasileiro, objetivando o estabelecimento, a promoção e a melhoria de índices diversos ligados diretamente à economia e à empregabilidade no Brasil e suas diferentes regiões pela atuação de suas instituições de ensino superior. De acordo com a Resolução CNE/CP 3 (2002), que institui as diretrizes curriculares nacionais gerais (Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia, 2019) para a organização e o funcionamento dos cursos superiores de tecnologia (resolução do Conselho Nacional de Educação), espera-se que o egresso em engenharia tenha capacidade empreendedora. O objetivo deste estudo pelas entrevistas em profundidade realizadas com docentes de engenharia é verificar como o empreendedorismo tem sido implantado na universidade. As experiências pedagógicas desses docentes são apresentadas neste trabalho na forma de relatos de suas experiências docentes, e quando eram discentes, acerca da forma de abordagem e implantação do empreendedorismo no ensino de engenharia. Como fins pedagógicos, pretende-se também: (i) apresentar as Políticas atuais de ensino públicas que têm fomentado a introdução do ensino do empreendedorismo nos cursos de engenharia; (ii) Trazer a abordagem do tema empreendedorismo no currículo do curso de Engenharia de Materiais em uma universidade pública brasileira, apresentado as iniciativas da universidade e dos docentes; (iii) Apresentar as abordagens de ensino entendidas como boas práticas pedagógicas que se adequam ao atual momento de aprendizagem; (iv) Abordar os perfis, habilidades e competências docente e discente vislumbrados para o sucesso na formação do engenheiro empreendedor. A relevância nos investimentos da formação de empreendedores no Brasil se justifica frente a atual tendência de modificação do mercado de trabalho ocasionada pela chegada da indústria 4.0 e a necessidade de crescimento socioeconômico. Novas empresas juniores e Startups têm tido um crescimento nos últimos quatro anos. No ano de 2015 eram 4.151 e em 2019 já passa de 12.727 novas empresas, o que indica um crescimento superior a 207%, segundo a Associação Brasileira de Startups (ABSTARTUPS, 2019). Alguns fatores relevantes para esse número expressivo de empresas juniores e seu crescimento deve-se, por um lado, ao perfil do empreendedor, por outro, às legislações específicas de incentivo econômicos tais como: a Lei complementar nº 155 (2016) e a Medida Provisória 881 (2019). Pelos dados da ABStartups (2019), a educação é a área mais expressiva numericamente em Startups, e, de certa forma, como ambiente de formação, pode contribuir para a formação de empreendedores. Nesse caso, o empreendedorismo no ensino está atrelado a um aprendizado transdisciplinar e prático, desenvolvido a partir de uma postura proativa do aluno. Para que se alcance essa aprendizagem prática, faz-se necessária uma estrutura curricular que trabalhe nesse perfil

discente, que já é demandado pelo governo brasileiro através das novas Diretrizes Curriculares dos Cursos de Graduação (2019) e potencialmente pelo novo mercado da indústria 4.0.

Palavras-Chaves: Diagnóstico, Empreendedorismo, Entrevista em Profundidade, Ensino para Engenharia

1 INTRODUÇÃO

Os processos de produção e serviços estão em contínua atualização na chamada quarta revolução industrial, tornando-se cada vez mais complexos e integrados. A quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 é um conceito que considera que as intensas e profundas transformações no modelo de negócios e na sociedade oriundas da automação e da Internet das Coisas (MOTA et al., 2019). Os paradigmas e desafios do setor produtivo, de serviços e da economia brasileira como um todo são grandes. Segundo os índices globais de Inovação e de Competitividade (GUIMARÃES; AZAMBUJA, 2018), o Brasil ocupa atualmente a 69ª posição em Inovação e Competitividade no mercado, sendo a 99ª posição em taxa de eficiência de inovação (média entre os resultados da inovação e os investimentos). Essa posição ruim frente a outras economias significa que o Brasil não está preparado culturalmente para as mudanças necessárias para participar ativamente da revolução da manufatura (indústria 4.0). Por outro lado, esse despreparo consiste em uma grande oportunidade para o país buscar avançar em inovação e em empreendedorismo e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento econômico (WRIGHT; SILVA; SPERS, 2010). Tal desenvolvimento pode ser dar tanto no incentivo e investimento do governo brasileiro em setores estratégicos de produção de melhor valor agregado, quanto na qualificação e aprimoramento da mão-de-obra com um ensino de viés empreendedor e inovador (VERDE; RESENDE MIRANDA, 2018).

A introdução do ensino do empreendedorismo nos currículos pode ter um impacto positivo tanto social quanto econômico, a partir do momento em que o egresso tem embasamento teórico e, de certo modo em sua formação prática, pela vivência em incubadora de empresas ou pelo contacto com o setor privado, para a criação de novas empresas ou negócios exitosos (ROCHA; FREITAS, 2014; LOPES; ALMEIDA; LIMA, 2019). Para tanto, o ensino do empreendedorismo deve oferecer uma aprendizagem ativa (prática) aos discentes que possibilitem a eles: (i) identificar, criar novos e melhores empreendimentos e negócios; (ii) um ferramental assertivo para o desenvolvimento e exploração sustentáveis; (iii) a criação de estratégias campeãs para a sobrevivência em um mercado de negócios dinâmico, agressivo, competitivo e globalizado (HENRIQUE; CUNHA, 2008; ARAÚJO SILVA; REATEGUI; DE OLIVEIRA, 2019).

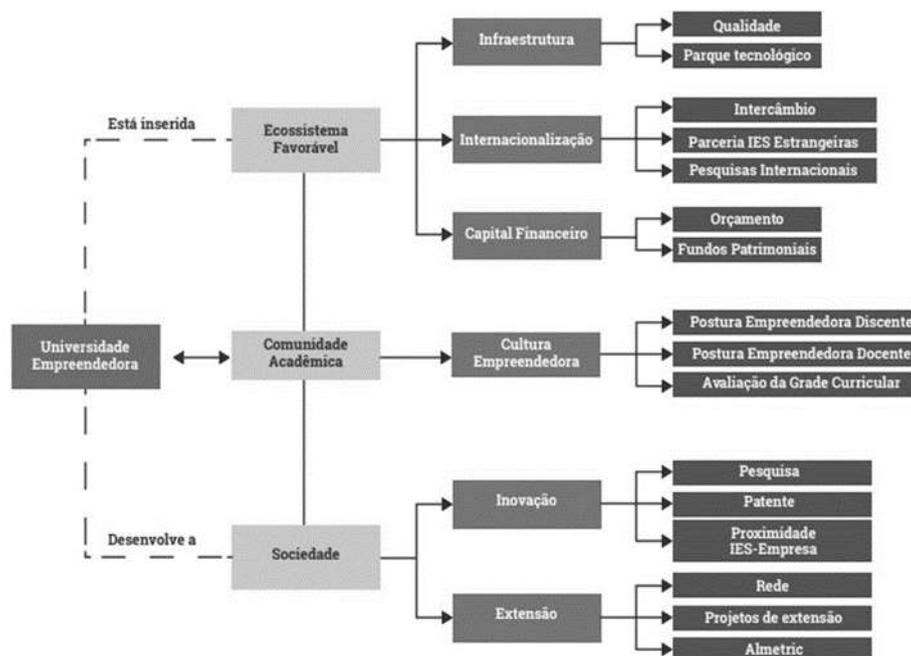
A abordagem do ensino do empreendedorismo no currículo da Engenharia de Materiais é uma recomendação ao perfil do egresso engenheiro pelo governo brasileiro, objetivando o estabelecimento, a promoção e a melhoria de índices diversos ligados diretamente à economia e à empregabilidade no Brasil e suas diferentes regiões pela atuação de suas instituições de ensino

superior. De acordo com a Resolução CNE/CP 3 (2002), que institui as diretrizes curriculares nacionais gerais (Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia, 2019) para a organização e o funcionamento dos cursos superiores de tecnologia (resolução do Conselho Nacional de Educação), espera-se que o egresso em engenharia tenha capacidade empreendedora.

Outra iniciativa é apresentada pela Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior pela sua resolução nº 2, de 24 de abril de 2019, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, fortalecendo o entendimento de que o egresso deve ter uma atitude profissional inovadora e empreendedora. Esse perfil egresso do empreendedor responde a uma exigência do Ministério da Educação brasileiro para todas as instituições de ensino superior. Contudo, quando se trata de ensino de empreendedorismo teórico e prático na formação de engenheiros, é preciso definir quais são as perspectivas nos níveis pessoais, social e contextual.

As Instituições de ensino superior brasileiras foram recentemente avaliadas pelo Movimento Empresa Júnior (MEJ, 2019), quanto ao empreendedorismo e ao incentivo à inovação do ensino. O processo de coleta de dados realizou-se entre os meses de junho a agosto de 2019. Como fonte de dados, consultaram-se os canais de transparência pública para a obtenção de informações suficientes para o mínimo de 75% dos indicadores, mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Indicadores para o Ranking de Empreendedorismo 2019.



Fonte: Brasil Jr (2019).

Elencaram-se os indicadores utilizando-se o Diagrama Case da Figura 1, 123 IES de todos os estados do Brasil em um Ranking de Empreendedorismo, Tabela 1.

Tabela 1. Ranking de empreendedorismo 2019.

Ranking 2019	IES	UF	Cultura Empreendedora	Inovação	Extensão	Infraestrutura	Internacionalização	Capital Financeiro	Nota
1°	USP	SP	75°	1°	1°	17°	1°	2°	7,36
2°	UNICAMP	SP	48°	2°	2°	19°	5°	3°	6,71
3°	UFMG	MG	77°	6°	4°	13°	6°	12°	5,83
4°	UFRGS	RS	112°	4°	3°	39°	9°	18°	5,47
5°	UNIFEI	MG	6°	7°	16°	9°	37°	52°	5,41

Fonte: Brasil Jr (2019)

Pela Tabela 1, tem-se que a Brasil Jr (2019) elencou dimensões ligadas ao que se espera de uma Universidade Empreendedora, como: Cultura Empreendedora, Inovação, Extensão, Infraestrutura, Internacionalização, Capital Financeiro. As dimensões de Cultura Empreendedora, Inovação e Extensão representam o grau de empreendedorismo, quanto a Internacionalização, a Infraestrutura e o Capital Financeiro, eles possibilitam melhores condições para o desenvolvimento do protagonismo acadêmico.

A dimensão de cultura empreendedora é a que o Empreendedorismo no ensino pode atuar mais diretamente em sua aprendizagem. A aprendizagem discente corresponde ao desenvolvimento durante a sua formação de uma Postura Empreendedora, proativa e ética e inovadora. Para a implementação desse ensino, tem-se que trabalhar em iniciativas que respeitem as diretrizes do MEC (Diretrizes Curriculares dos Cursos de Graduação, 2019) nas estruturas curriculares e possibilitem perfil e competências de um profissional empreendedor. O profissional empreendedor deve apresentar autonomia, criatividade e visão dentro da cultura empreendedora desenvolvida na instituição de ensino superior.

O empreendedorismo apresenta um importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país e tem despertado grande interesse como alternativa na busca do emprego e do crescimento econômico (ROCHA; FREITAS, 2014). A universidade, nesse aspecto, pode desempenhar uma importante função de levar alternativas ao discente diante de um mercado em que faltam oportunidades.

Segundo Silva, Lima e Silva (2015), o ensino do empreendedorismo deve considerar além dos cursos de gestão, demais cursos que possam se beneficiar desse aprendizado, pois abre novas possibilidades de atuação nos mercados exigentes dos tempos atuais. Por outro lado, as instituições precisam se

adequar em seus planejamentos e estruturas frente as metodologias de ensino necessárias (RIBEIRO; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2014).

A educação empreendedora no curso de Engenharia de Materiais objetiva não apenas ensinar sobre o empreendedorismo, mas formar indivíduos que poderão atuar como empreendedores. Assim é preciso abrandar a interface entre conhecimento, pesquisa, inovação, oportunidade de trabalho/emprego, gestão de negócios e desenvolvimento econômico.

O ensino do empreendedorismo deve focar em três pontos principais, são eles: obter conhecimentos, desenvolver habilidades e desenvolver competências. Sob o aspecto metodológico, a escolha de métodos adequados é importante, haja vista que a aprendizagem pode ocorrer de diferentes formas, tais como: atividades isoladas de informação desse mercado; de maneira formal através de disciplinas específicas de formação; por meio da criação de uma cultura empreendedora através do direcionamento de atividades que estimulem esse comportamento ou por meio da vivência em algum centro de empreendedorismo, como é caso de incubadoras de empresas ou empresas juniores, as quais possibilitam aos discentes experimentarem na prática o empreendedorismo (OLIVEIRA; MELO; MUYLDER, 2016; SILVA; PATRUS, 2017).

A formação do Engenheiro de Materiais é tradicionalmente focada em preparar o egresso para o mercado de trabalho em empresas de grande porte. Com isso, quando se busca uma formação voltada para o empreendedorismo, a metodologia pedagógica deve ser em consonância com as habilidades do perfil que se deseja desenvolver (ROCHA; FREITAS, 2014). A aprendizagem através de experiências práticas, aprendizagem baseada em problemas (SILVA; PATRUS, 2017) são exemplos de recursos pedagógicos que podem ser utilizados para esse fim, pois atuam na capacitação do aluno para buscar caminhos e soluções de forma ativa. Em geral, os mecanismos de caráter passivo são: aulas expositivas, palestras, leituras, estudos de caso, acesso a informações de experiências com o empreendedorismo, filmes, entre outros. Os recursos de caráter ativo são eles: oficinas, dinâmicas, visita e contatos com empreendedores, brainstorming, projetos em grupo, construção de planos de negócio, jogos e simulações empresariais, entrevistas com empreendedores, incubadora de empresas, empresa júnior, projetos de pesquisa e extensão (SILVA; PATRUS, 2017; TEIXEIRA; SILVA; DE ARAÚJO BRITO, 2019).

Do estudo sobre os objetivos curriculares e da seleção de conteúdos emergem vários modelos de perfil, competências e habilidades multidisciplinares necessárias para o engenheiro. Porém, a demanda principal são as abordagens de ensino que apresentem boas práticas pedagógicas. Nessa

perspectiva, espera-se a implantação da transversalidade como metodologia pedagógica. A pedagogia aplicada ao ensino de empreendedorismo, para que o processo de aprendizagem seja bem-sucedido, necessita da compreensão e do envolvimento por parte de todos os atores na formação do engenheiro para o alcance dos objetivos e metas esperados pelas Diretrizes Curriculares dos Cursos de Graduação (2019).

O que se espera para o egresso é uma formação mais prática e orientada para a geração de negócios e empreendimento. A utilização de metodologias ativas híbridas, bem como aprendizagem online (EAD) são particularmente úteis ao aprendizado integral discente em engenharia. As instituições de ensino de superior públicas têm investido neste sentido, com parcerias externas e nacionais, no desenvolvimento de projetos com uso de metodologias ativas, pautados na experimentação, como sugerido para educação empreendedora. O uso de Design Thinking, Gamificação, Modelo Canvas, Aprendizado Baseado em Projetos (PBL), dentre outras iniciativas, são práticas e metodologias ativas que têm apresentado resultados significativos e que podem ser aplicados à formação do profissional empreendedor, desde que haja o acompanhamento adequado do rendimento acadêmico, motivação e satisfação discente no processo (PINTO, 2016; BUENO et al., 2017; TEIXEIRA; SILVA; DE ARAÚJO BRITO, 2019).

Segundo Silva e Patrus (2017), o motivo mais forte para empreender citado em suas pesquisas seria a alta necessidade de realização, característica que faz com que essas pessoas dediquem mais tempo a tarefas mais desafiadoras, mais arriscadas e dependam mais das próprias habilidades para obter resultados. Para os autores, o empreendedorismo pode ser desenvolvido e o seu sucesso depende de fatores internos e externos ao negócio. Portanto, o ensino de empreendedorismo funciona como uma maneira de formar melhores empreendedores, empresas e gerar riquezas para o país.

Diversas habilidades e competências caracterizam o perfil empreendedor, conforme será apresentado a seguir. No entanto, é preciso lembrar que todas as características são importantes não havendo uma que se sobressaia perante outra (ROCHA; FREITAS, 2014; SILVA; LIMA; SILVA, 2015; OLIVEIRA; MELO; MUYLDER, 2016). Na lista de habilidades e competências do empreendedor podem-se citar: ter consciência plena sobre o que é o empreendedorismo; ser criativo; inovador; proativo; persistente; visionário; ter iniciativa; ser autônomo; empolgado; autoconfiante; determinado; otimista; persuasivo; dedicado; ser líder; pragmático; comprometido; desenvolver visão de mercado; desenvolver o pensamento crítico; descobrir uma oportunidade; saber explorar oportunidades; planejar e abrir um novo negócio; fazer previsões; calcular e assumir riscos; lidar com conflitos;

adquirir autocontrole; aprender com a tomada de decisão; erros e acertos; trabalhar em equipe; formar uma rede de contatos e administrar o negócio de forma sustentável (SCHAEFER; MINELLO, 2016).

A experimentação prática conduz o discente ao desenvolvimento das habilidades e competências empreendedoras e possivelmente prepara o indivíduo para futuras atividades de sucesso (TEIXEIRA; FORTES, 2018). O trabalho visionário desenvolvido por Peiris Akoorie e Sinha (2012) deslumbra um pouco do que são as competências empreendedoras (Figura 2).

Figura 2 - Competências empreendedoras.



Fonte: adaptado de Silva, Reategui e Oliveira, 2019.

Pela Figura 2, tem-se uma demanda de mercado empreendedora principalmente para profissionais com foco, visão globalizada e que arriscam de forma calculada, inovadores e com capacidade de administrar socialmente o conhecimento (Capacidade de Rede). A metodologia pedagógica de ensino para responder a essa demanda de profissionais empreendedores vai além da aula tradicional expositiva, seja para a compreensão de aspectos teóricos do tema, seja pela utilização de recursos dinâmicos para a compreensão dos aspectos práticos (ROCHA; FREITAS, 2014; SILVA, LIMA; SILVA, 2015).

As características empreendedoras podem ser inatas, mas podem também ser desenvolvidas. É um mito pensar que o empreendedor nasce com o perfil pronto. Conhecer as características empreendedoras e o próprio perfil pode ser o primeiro passo para conhecer seus pontos fortes e

buscar o desenvolvimento de outras características necessárias (SILVA; LIMA; SILVA, 2015). Ademais, o mercado de trabalho demanda profissionais com capacidade de adaptação às mudanças, flexível, multifuncional e com disposição para aprender (OLIVEIRA; MELO; MUYLDER, 2016).

Na educação empreendedora, as habilidades do docente e o uso de métodos de ensino apropriados são um importante aspecto a se considerar (SILVA; PATRUS, 2017). O docente atua, conforme Figura 3, como incentivador, facilitador e ao mesmo tempo condutor do processo de aprendizagem (SILVA; LIMA; SILVA, 2015).

Figura 3 - Atuação do docente para o empreendedorismo no ensino.



Fonte: dados do autor

Outro aspecto importante, no êxito do ensino de empreendedorismo, é o perfil docente adequado que deve atuar como facilitador e com visão dinâmica e socioeconômica. Em princípio, a motivação e proatividade discente ao aprendizado prático e teórico é essencial para a taxa de sucesso na formação do engenheiro empreendedor (KRÜGER, 2016).

Esse ambiente já pode ser visto em determinados cursos, como nas áreas de Engenharia e Administração, que oferecem disciplinas relacionadas ao empreendedorismo. Como vivência, os estudantes são colocados em contato com empresas consideradas empreendedoras, além de participarem de projetos e feiras voltadas para a fomentação de negócios (BESSANT; TIDD, 2009; LOPES, 2017).

A característica metodológica deste estudo consiste na técnica de pesquisa qualitativa entrevista de profundidade, semiestruturada individual com 40 docentes que lecionam para diversos cursos de Engenharia, sendo que 12 desses docentes lecionam diretamente para o curso de Engenharia de Materiais e de Produção. A escolha da técnica se deve em função da liberdade atribuída ao

entrevistado em expor suas opiniões sobre o tema “Empreendedorismo no Ensino de Engenharia” além da possibilidade de ampliação das respostas. Trata-se da realização de perguntas baseadas em um roteiro semiestruturado aos entrevistados. A escolha dos docentes para a entrevista se deu a partir de uma seleção de docentes que já tiveram alguma atuação com projetos ou ensino envolvendo empreendedorismo ou inovação. Esta pesquisa teve como objetivo levantar informações e reflexões docentes sobre as formas de desenvolvimento estabelecidas ou esperadas de empreendedorismo no ensino.

A escolha pela técnica qualitativa de entrevista em profundidade, no formato individual semiaberto e com questões semiestruturadas objetiva explorar o assunto Empreendedorismo no Ensino a partir da busca de informações, percepções e experiências dos docentes entrevistados (DUARTE, 2005). Na entrevista, procurou-se com um roteiro de 2 questões obter a intensidade nas respostas de cada docente sobre o assunto, sem buscar a quantificação ou representação estatística, para analisá-las e apresentá-las de forma estruturada (SOARES; DIEHL; VILVERT, 2016).

As perguntas na entrevista com profundidade foram duas, são elas: questão 1- “Qual a sua expectativa ou vivência docente ou discente de empreendedorismo para engenharia?”; questão 2- “empreendedorismo já se encontra como componente na estrutura curricular do curso de engenharia ao qual você se encontra vinculado?”.

2 RELATO DA EXPERIÊNCIA

As respostas das entrevistas em profundidade com os docentes apresentaram muitos pontos em comum, são eles: “há um forte vínculo entre o desenvolvimento socioeconômico e a cultura empreendedora”; “a cultura empreendedora é fortalecida quando se aborda o empreendedorismo no ensino, não somente como um componente curricular”; “quanto à estrutura curricular em empreendedorismo, há a necessidade de haver uma abordagem piloto de empreendedorismo em projetos práticos em conjunto às incubadoras de empresas ligadas à universidade pública e ao setor privado”. Para os docentes que lecionam para o curso de engenharia de materiais e de produção (12 docentes), o ensino de empreendedorismo demandará uma abordagem mais prática orientada das demandas atuais e potenciais de inovação de produtos e processos em engenharia apresentados pela Indústria 4.0.

Das respostas à entrevista, destacamos 5 diferentes visões apresentadas pelos docentes para cada uma das perguntas. Os dados desses docentes foram ocultados por questões de sigilo e ética de

Empreendedorismo

pesquisa. Como categorização, as respostas foram elencadas e distinguidas por letras correspondentes a cada resposta dos docentes participantes da pesquisa. Utilizou-se a Análise do Discurso para auxiliar na interpretação das respostas. Na análise, as respostas foram estudadas individual e coletivamente usando o critério comparativo entre os informantes para verificar como o empreendedorismo tem sido implantado na universidade pelos docentes. As experiências pedagógicas desses docentes foram apresentadas neste trabalho na forma de relatos docentes.

Questão 1: Qual a sua expectativa ou vivência docente ou discente de Empreendedorismo voltado para a Engenharia?

Informante A: “Como expectativa vejo que deve ser discutido mais esse tema com os professores das universidades porque são eles que irão formar os alunos.”

Informante B: “A vivência é praticamente nula, uma vez que, na atual matriz curricular das universidades no Brasil, sendo que tenho experiência em ter lecionado em duas universidades particulares e uma faculdade estadual em São Paulo, elas são extremamente conteudistas dificultando a intercambialidade de disciplinas, habilidades e competências e soma-se ao fato também das escolas superiores no Brasil valorizar a pesquisa ao invés da formação acadêmica do discente”.

Informante C: “Eu, como docente, não tenho vivência como empreendedor, apenas sou filho de pais que foram comerciantes. (...) Nesse tempo vi vários trabalhos que poderiam se tornar negócios, mas não foram para a frente. Nesse ambiente de tecnologia de ponta e acessível as pessoas parece ser um mundo extremamente interessante para se empreender. Aqui no curso, estou tentando montar a primeira Empresa Jr da universidade para fazer com que os alunos tenham um primeiro contato nesse sentido. A partir daqui, pode-se ter a possibilidade de se criar algo. (...) Sempre reforço nas aulas a importância do empreendedorismo no mundo e cenários atuais.”

Informante D: “Minha expectativa é que nossos discentes tenham condições de entender que a lógica empreendedora não está ligada somente à constituição de empresas e correspondente gestão. O empreendedorismo precisa ser apresentado como parte da constituição do propósito profissional de nossos discentes, que certamente será fundamental para o enquadramento deste no mercado de trabalho, no desenvolvimento de sua carreira e, por que não, para que tenha melhores condições e parâmetros para identificar oportunidades, tomar decisões e ter uma postura ativa como agente de uma comunidade.”

Informante E: “Empreendedorismo é um conjunto de coisas que levam as pessoas a terem iniciativa, autonomia, busca por algum objetivo e para o sucesso na para a vida. Ele é importante para todas as atividades e todos os projetos de na vida e em todas as áreas do saber. Desta forma, na engenharia temos um pequeno universo ou subconjunto de algo bem maior. Está relacionado de modo indissolúvel com outros aspectos: autonomia, atitude, interesse, metodologias ativas, incentivos, inteligência etc. (...)”

Na visão da informante A, observa-se que ela espera que o tema seja mais discutido no meio acadêmico, o que implica afirmar que não só é uma necessidade de que o empreendedorismo seja mais abordado, pois ainda não é muito trabalhado como enfoque de ensino, como também a visão do informante de que a preocupação do docente deve ser a formação. De fato, se não há discussão e preparação docente para o empreendedorismo nas universidades, não pode haver também formação empreendedora. Urge, nesse sentido, uma política de ensino voltada para esse fim. Em “porque são eles que irão formar os alunos”, pode-se perceber que a formação do aluno coincide com a visão do professor sobre o papel do educador, isto é, a orientação de formar, no sentido de preparar o aluno para as exigências do mercado e formação profissional.

Para o informante B, a expectativa e a vivência não são positivas. O informante ressalta a ideia de que as universidades não investem nesse tipo de ensino, isto é, são voltadas para um currículo conteudista, focado nas disciplinas técnicas e específicas. Com efeito, observa-se uma semelhança com o informante A, no sentido de reforçar a necessidade de mudança curricular nas universidades. Isso pode ser destacado por meio da análise da argumentação do discurso do informante B ao dizer que as escolas superiores no Brasil valorizam a pesquisa ao invés da formação acadêmica do discente. Sob esse aspecto, o informante B alega que pesquisa e formação acadêmica são coisas distintas e que o empreendedorismo se enquadra melhor no segundo. E indiretamente afirma que os currículos das universidades não estão preocupados com essa orientação metodológica. Pode-se observar também que a política de ensino ainda se centra no conteúdo das disciplinas específicas, sendo o Empreendedorismo algo complementar à formação. Contudo, uma vez que se espera do egresso das Engenharias que este tenha habilidades empreendedoras, faz-se necessário, pois, que as universidades voltem os seus currículos para a formação empreendedora, não só para o discente, mas com a preparação do próprio docente. Afinal, tendências apontam que a geração em formação consiste em uma geração sem emprego, voltada para profissões que desenvolvam seus próprios empregos e negócios. Gehringer (2008) destaca que a profissão do futuro é a de chefe. Em outros termos, o empreendedorismo deve fazer parte da formação curricular nas universidades.

O informante C alega que, embora não tenha tido vivência como empreendedor, a sua experiência pessoal como filho de comerciantes e desenvolvimento de trabalhos com gestão fizeram com que obtivesse uma visão aberta sobre o empreendedorismo, sobretudo no que concerne à possibilidade de empreendimentos pela pesquisa, afirmando que “faziam várias pesquisas que poderia se tornar algum empreendimento se alguém animasse”. Relata sua experiência em incentivos ao

empreendedorismo e destaca pelo seu discurso que tem discutido no ensino de Engenharia a importância do empreendedorismo em: “Sempre reforço nas aulas a importância do empreendedorismo no mundo e cenários atuais.”

O informante D defende a ideia de que o empreendedorismo não é apenas para criar empresas, permite que o aluno tenha uma visão mais ampla sobre o mercado, na tomada de decisões e na postura ativa nas empresas, além da capacidade de identificar oportunidades. Assim como os demais informantes, ressalta a importância da implantação do empreendedorismo no ensino. Nesse contexto, pode-se observar que os docentes não estão preocupados com a possibilidade de implantação e abertura de novas empresas em si, mas com a formação do discente voltando-o para a política de ensino empreendedora, no que tange ao ensino das ferramentas que possibilitem uma educação com esse perfil.

Por último, o informante E relaciona o empreendedorismo com a habilidade de autonomia e atribui a metodologia ativa a capacidade de favorecer a aprendizagem dessa habilidade. Smith (2005) lembra que o termo empreendedorismo está relacionado ao sujeito que assume a responsabilidade por algo referindo-se ao autoemprego ou a ocupação. Na visão do informante E, o termo pode ser usado também na vida pessoal quando se relaciona com a iniciativa. Com efeito, pode-se observar que todos os informantes consideram relevantes os estudos sobre empreendedorismo aplicado às engenharias pelo fato de esta trabalhar com a criação de produtos ou serviços, bem como resolução de problemas técnicos. E o empreendedorismo, como afirma Bryant (2015), consiste na identificação e exploração de novas oportunidades de valor, criação e captura, que podem ser não apenas em termos comerciais, mas também social, institucional ou cultural. Assim como enfatizado pelos informantes, sobretudo o informante C, faz-se necessário rever a forma de ensino do empreendedorismo aprimorando como defende Bryant (2015) as habilidades empreendedoras a fim de que isso seja parte da formação do engenheiro. Como bem lembra o autor, o arquétipo da atividade empreendedora é a capacidade de criação a partir da visão de uma oportunidade tornando-a uma realidade de empreendimento, isto é, aproveitar a oportunidade a partir de uma visão de mercado, criando-se uma organização. Para isso, é necessário que o discente aprenda empreender e utilizar os recursos disponíveis.

Empreendedorismo

<p>Questão 2: “Empreendedorismo” já se encontra como componente na estrutura curricular do curso de engenharia ao qual você se encontra vinculado?</p>
<p>Informante A: “Sim, isolado numa disciplina do curso.”</p>
<p>Informante B: “O ensino de ‘empreendedorismo’ não está contemplado na atual matriz curricular do curso que leciono as minhas aulas”.</p>
<p>Informante C: “temos uma disciplina de Projetos. Nessa disciplina o professor monta empresas e ensina a se fazer algum tipo de gestão, mas não sei maiores detalhes.”</p>
<p>Informante D: “Sim, se encontra”.</p>
<p>Informante E: “Ainda não, mas não acredito que todas as pessoas sejam tão empreendedoras. (...) Acho então que não é qualquer pessoa que consegue trabalhar essa disciplina, mas acima de tudo é preciso ter pessoas que tenham de fato construído algo que seja empreendedor e que possa mostrar o caminho das pedras para os estudantes.”</p>

Na questão 2, a maioria dos informantes alegam que o empreendedorismo não está presente na estrutura curricular do curso de Engenharia da instituição estudada. Encontra-se isolada em uma disciplina e outra, mas nada articulado e plenamente definido como parte da política de ensino da Instituição, embora o empreendedorismo seja cobrado como uma capacidade e habilidade do egresso. Nesse sentido, observa-se que a instituição deveria repensar as formas de ensino do empreendedorismo já que este faz parte de um dos objetivos centrais da expectativa que se tem do egresso. O informante C é o que mais destaca a presença do ensino do empreendedorismo quando afirma que ele está presente na disciplina de Projetos e que esta orienta o discente para a gestão.

Já o informante E relata a importância de o empreendedorismo ser ensinado a partir da experiência do próprio docente quando afirma “é preciso ter pessoas que tenham de fato construído algo que seja empreendedor e que possa mostrar o caminho das pedras para os estudantes”. Nesse relato, pode-se observar que indiretamente o informante afirmou que se faz necessário ter tido alguma experiência com o empreendedorismo para este seja posteriormente ensinado. Ensinar o “caminho das pedras”, como ressalta o informante E, consiste numa expressão metafórica clássica de representar o modo como se aprendeu, isto é, ensinar o que se sabe demonstrando o mesmo caminho de aprendizagem. De fato, é uma questão polêmica se é necessário ter criado algum empreendimento anteriormente para então ter a habilidade e capacidade de ensinar o empreendedorismo.

Criar uma mentalidade empreendedora, bem como voltar a formação científica para isso implica uma mudança de pensamento e na própria reformulação do currículo. A Universidade de um modo geral tem uma visão de formar o profissional para o mercado de trabalho com uma preocupação científica, no sentido de ensinar a Engenharia, no caso, com o perfil científico para que o discente tenha a preparação de buscar na Ciência por meio do conhecimento científico e da pesquisa científica as respostas e soluções para os mais diversos problemas.

Em outros contextos de outros cursos, não tem sido diferente, pois, em princípio, a Universidade tem o papel de fazer Ciência e busca se diferenciar do ensino tecnicista. O que se acredita, nesse caso, é que a orientação do empreendedorismo seja rediscutida nas universidades. Se não é possível ter profissionais docentes com experiência em já ter sido empreendedor anteriormente com abertura de negócios, que se estimule a criação de empresas Júnior na Universidade, como lembrado pelo informante C, na primeira questão. Ademais, o empreendedorismo também pode ser estimulado com a mudança de concepção de que se formam os discentes somente para serem futuros empregados nas indústrias que precisam de engenheiros, mas de uma preparação de engenheiros para a inovação e a criação de empreendimentos. Shane e Venkataraman (2000) consideram que o empreendedorismo está atrelado tanto à percepção de oportunidades que podem ser transformadas em negócios lucrativos quanto à característica empreendedora. Esta última consiste na mudança de mentalidade e ao tipo de formação nas universidades.

Karim (2016) defende que criatividade e inovação são questões importantes no momento da identificação de oportunidades, sobretudo nas fases iniciais do processo de implantação do empreendedorismo e liderança, confiança e capacidade de gerenciamento de recursos nos últimos estágios. O autor orienta que essas habilidades devem ser preocupações constantes durante a formação em Engenharia. Desse modo, o empreendedorismo envolve junto com ele uma série de habilidades que devem ser coordenadas entre si para a formação do perfil empreendedor. Afinal, só é possível ter a visão de possibilidade de novos negócios quando se tem criatividade e inovação. Assim, todas as habilidades se complementam. Destaca-se que engenheiros com mentalidade empreendedora podem assumir papéis de liderança, tornando-se um intraempreendedor ou se tornar empresários abrindo o seu próprio negócio. Assume-se que muitos engenheiros acabam, infelizmente, aprendendo o empreendedorismo depois da graduação ou ainda por conta própria e não durante o curso. Logo, nota-se que não é uma abordagem para todos, muito menos uma preocupação das universidades.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A entrevista em profundidade revela como diagnóstico, pela análise do discurso dos informantes, que há uma consciência por parte dos docentes sobre a necessidade de reformulação ou adaptação das grades curriculares dos cursos de Engenharia para que estes voltem as políticas de ensino para a criação efetiva do perfil empreendedor ao longo do curso de Engenharia. Contudo, é notória a inexperiência dos docentes com o ensino do empreendedorismo, embora haja alguns esforços nesse sentido. O resultado do estudo aponta que a educação para o empreendedorismo deve ser incorporada aos programas acadêmicos das Engenharias. Nesse sentido, urge uma formação de Empreendedorismo aplicado às Engenharias para o profissional docente, para que este seja capaz de desenvolver a habilidade empreendedora nos discentes no âmbito das atividades acadêmicas.

A visão de empreendedorismo abre novas possibilidades ao futuro engenheiro perante um mercado de trabalho dinâmico e competitivo. O ensino do empreendedorismo no ensino superior compreende o desenvolvimento de competências e habilidades.

O papel do docente se destaca como fomentador e facilitador do processo de empreender abordando nas estruturas curriculares tópicos que abordem projetos técnicos acadêmicos e de extensão com inovação, tecnologia e análise de dados de forma estratégica. No caso de projetos técnicos de extensão, o aprendizado nas empresas juniores ou Startups são formas práticas de se trabalhar com o empreendedorismo de um negócio.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Engenharias Integradas da Universidade Federal de Itajubá, ao grupo de pesquisa em metais Metals Group da Unifei, ao CEGE FACE UFMG e ao PPGEM UNIFEI MP.

REFERÊNCIAS

- ABSTARTUPS. Encontre todas as startups do Brasil. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://startupbase.com.br/home/stats>>. Acesso em: 28 dez 2019.
- ARAÚJO SILVA, M. A. A de.; REATEGUI, B. A.; OLIVEIRA, C. B. Z. de. Características empreendedoras do discente do curso de Engenharia de Produção na Indústria 4.0. Revista Gestão em Análise, v. 8, n.1, p.150-163, 2019.
- BESSANT, J.; TIDD, J. Inovação e empreendedorismo. Bookman Editora, 2009.
- BRASIL Jr (2019). Ranking de Universidades Empreendedoras. São Paulo. 2019, Disponível em: <<https://universidadesempreendedoras.org/wp-content/uploads/2019/10/ranking-2019.pdf>>. Acesso em: 28 dez 2019.
- BRYANT, P.T. Entrepreneurship and Organizations. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 2ª edição, v. 7, p.681-685, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.73006-6>>. Acesso em: 28 dez 2019.
- BUENO, F. M. et al. Fábricas inteligentes e os novos desafios na formação dos engenheiros: os impactos da indústria 4.0. Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 2, n.2, 2017.
- DIRETRIZES CURRICULARES DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO. Ministério da Educação, Diretrizes Curriculares - Cursos de Graduação. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12991>>. Acesso em: 28 dez. 2019.
- DIRETRIZES CURRICULARES NACIONAIS DOS CURSOS DE ENGENHARIA. Ministério da Educação, PARECER CNE/CES 1.362/2001. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2019.
- DUARTE, J. Entrevista em profundidade. Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação. São Paulo: Atlas, v.1, p. 62-83, 2005.
- GEHRINGER, M. Emprego de A Z. São Paulo: Globo, 2008.
- GUIMARÃES, S. K.; AZAMBUJA, L. R. Internacionalização de Micro, Pequenas e Médias Empresas Inovadoras no Brasil: desafios do novo paradigma de desenvolvimento. Revista Brasileira de Ciências Sociais, v. 33, n. 97, p. 1-20, 2018.
- HENRIQUE, D. C.; CUNHA, S. K. da. Práticas didático-pedagógicas no ensino de empreendedorismo em cursos de graduação e pós-graduação nacionais e internacionais. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 9, n. 5, p. 112-136, 2008.
- KARIM, M.S.A. Entrepreneurship education in an engineering curriculum. Procedia Economics and Finance, v. 35, p. 379-387, 2016.
- LOPES, R. M. A. Ensino de empreendedorismo no Brasil: panorama, tendências e melhores práticas. Alta Books Editora, 2017.

LOPES, R.; ALMEIDA, M.; Lima, E. Desafios atuais e caminhos promissores para a pesquisa em empreendedorismo. *Revista de Administração de Empresas*, v. 59, n.4, p. 284-292, 2019.

MEJ (2019). Movimento Empresa Júnior. Brasil Júnior, 2019. Disponível em: <<https://brasiljunior.org.br/conheca-o-mej>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

MOTA, D. M. P. et al. O guindaste: uma metodologia ativa para as engenharias compatível com a indústria 4.0/Crane: an active methodology for engineers compatible with industry 4.0. *Brazilian Journal of Development*, v.5, n.10, p. 19686-19696, 2019.

OLIVEIRA, A. G. M. de; MELO, M. C. D. O. L.; MUYLDER, C. F. de. Educação empreendedora: O desenvolvimento do empreendedorismo e inovação social em Instituições de Ensino Superior. *Revista Administração em Diálogo-RAD*, v.18, n.1, p. 29-56, 2016.

PEIRIS, I. K.; AKOORIE, M. E.; SINHA, P. International entrepreneurship: A critical analysis of studies in the past two decades and future directions for research. *Journal of International Entrepreneurship*, v.10, n.4, p. 279-324, 2012.

PINTO, R. B. W. S. (2016). Empreendedorismo e gamificação no desenvolvimento profissional. *Linha D'Água*, v.29, n.1, p.167-179, 2016.

RESOLUÇÃO CNE/CP 3. CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CONSELHO PLENO, RESOLUÇÃO CNE/CP 3, DE 18 DE DEZEMBRO DE 2002. Brasília, 2002. Disponível em:

<<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CP032002.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

RIBEIRO, R. L. de; OLIVEIRA, E. A. D. A. Q.; ARAUJO, E. A. S. de. A contribuição das instituições de ensino superior para a educação empreendedora. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.10, n.3, 2014.

ROCHA, E. L. C. de.; FREITAS, A. A. F. Avaliação do ensino de empreendedorismo entre estudantes universitários por meio do perfil empreendedor. *Revista de administração contemporânea*, v.18, n.4, p. 465-486, 2014.

SCHAEFER, R.; MINELLO, I. F. Educação Empreendedora: premissas, objetivos e metodologias. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, v.10, n.3, p. 60-81, 2016.

SHANE, S.; VENKATARAMAN, S. The promise of entrepreneurship as a field of research. *Academy of Management Review*, v. 25, n.1, p.217–226, 2000.

SMITH, A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. State College: Jim Manis Editor, 2005.

SILVA, F. F.; LIMA, H. C. R. de; SILVA, M. F. B. F. Experiências exitosas no ensino universitário de empreendedorismo. *Veredas Favip-Revista Eletrônica de Ciências*, v. 8, n. 2, p. 36-50, 2016.

SILVA, M. A. A de.; REATEGUI, B. A.; OLIVEIRA, C. B. Z. de. Características empreendedoras do discente do curso de Engenharia de Produção na Indústria 4.0. *Revista Gestão em Análise*, v. 8, n.1, p.150-163, 2019.

SILVA, J. F. da; PATRUS, R. O “bê-á-bá” do ensino em empreendedorismo: uma revisão da literatura sobre os métodos e práticas da educação empreendedora. Revista de Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas, v.6, n. 2, p. 372-401, 2017.

SOARES, L.; DIEHL, E. E.; VILVERT, A. F. Módulo 6-Metodologia da pesquisa. UNA-SUS, 2016. Disponível em: <<https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/3482>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

TEIXEIRA, D. M.; SANTOS, J. M.; FORTES, G. P. Por uma sala de aula mais interessante! senão for isso o que será? a educação empreendedora abrindo portas para o futuro da educação e da economia. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 3, p.130-163, 2018.

TEIXEIRA, R. L. P.; SILVA, P. C. D.; BRITO, M. L. de A. Aplicabilidade de metodologias ativas de aprendizagem baseada em problemas em cursos de graduação em engenharia. Humanidades & Inovação, v. 6, n.8, p.138-147, 2019.

VERDE, L. H. L.; MIRANDA, J. I. R de. Uma análise econômica dos resultados brasileiros no Índice Global de Eficiência em Inovação, frente ao novo Marco da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei n. 13.243/2016). Economic Analysis of Law Review, v. 9, n.2, p.308-337, 2018.

WRIGHT, J. T. C.; SILVA, A. T. B.; SPERS, R. G. O mercado de trabalho no futuro: uma discussão sobre profissões inovadoras, empreendedorismo e tendências para 2020. RAI-Revista de Administração e Inovação, v. 7, n.3, p.174-197, 2010.

Capítulo 3



10.37423/211205102

CONVOLUÇÃO DE SINAIS NO TEMPO DISCRETO - NOVO MÉTODO DE RESOLUÇÃO UTILIZANDO TABELAS

Bianca Barros Peçanha

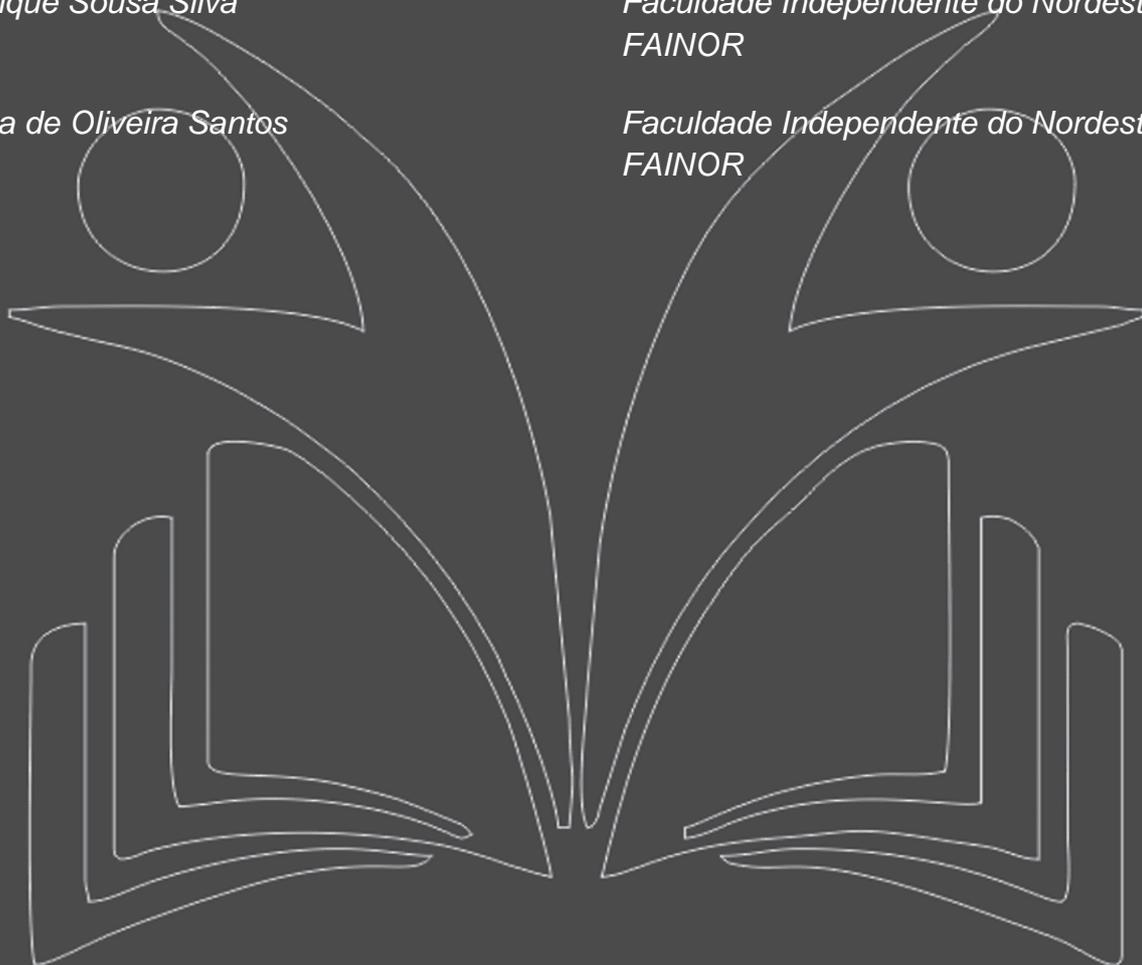
*Faculdade Independente do Nordeste –
FAINOR*

Paulo Henrique Sousa Silva

*Faculdade Independente do Nordeste –
FAINOR*

Natália Lima de Oliveira Santos

*Faculdade Independente do Nordeste –
FAINOR*



Resumo: *O uso de novas metodologias de ensino é uma alternativa para o desenvolvimento do aluno quanto à questão de absorção do conhecimento, o ensino na área da engenharia pode se tornar uma árdua tarefa em diversos momentos devido à complexidade dos assuntos e também a dificuldade de relacionar os conteúdos estudados com a prática. Dentre um dos desafios encontrados no processo de formação do engenheiro existe a operação matemática da convolução a qual serve de base para diversas áreas. Diante desse cenário o presente artigo tem como objetivo apresentar um novo método de resolução da soma de convolução para pontos finitos, visando um melhoramento no aprendizado e absorção desse conhecimento que é base para diversos estudos como processamento digitais de sinais e de controle. Os resultados obtidos com o uso desse método foram satisfatórios visto que os alunos se capacitaram a resolver os problemas com um menor tempo e uma melhor taxa de desempenho.*

Palavras-chave: *Metodologias de ensino. Engenharia. Soma de convolução.*

1 INTRODUÇÃO

As constantes mudanças ocorridas no ensino devido à evolução tecnológica vêm gerando um questionamento sobre novos métodos de educação principalmente no nível superior, uma vez que antigas técnicas demonstram pouca eficiência em determinados momentos.

De acordo com Diesel (2017) as metodologias ativas devem ser estimuladas entre os discentes, visto que há uma ineficácia no sistema atual utilizado em boa parte das instituições de ensino. Para Bastos (2006 apud BERBEL, 2011, p. 29) entende-se por métodos ativos para o ensino “processos interativos de conhecimento, análise, estudos, pesquisas e decisões individuais ou coletivas, com a finalidade de encontrar soluções para um problema”.

De acordo com os autores citados, entende-se que os métodos ativos de ensino não refutam o atual sistema de aprendizagem, e sim auxiliam os alunos para que consigam um maior sucesso ao realizar atividades que envolvam simulações reais em relação ao conteúdo. Comumente as metodologias ativas são confundidas com a prática deliberada dos alunos com experimentos, entretanto os métodos ativos apresentam-se de forma bem mais complexa.

Com base em Rech (2016) os métodos ativos de ensino são feitos no contexto “*Learning by doing*” que significa aprender na prática com conceitos e problemas reais nas disciplinas que estão sendo apresentadas, a fim de aumentar a capacidade crítica e lógica do aluno acerca dos conteúdos estudados.

Haykin (2001) define análise de sinais e sistemas como uma disciplina básica para a engenharia elétrica em todos seus níveis, por suas diversas aplicações. O entendimento da disciplina é fundamental para a aplicação e entendimento de partes essenciais da engenharia como: processamento de sinais, sistemas de comunicação e também de controle linear.

A soma de convolução é considerada a saída entre a resposta de um dado sinal a um impulso no tempo discreto, de acordo com Haykin (2001) a saída de qualquer sistema de tempo discreto de uma resposta a um impulso de duração finita é dada pela soma ponderada dos sinais de entrada, sabendo que os efeitos do sistema dependerão diretamente dos valores escolhidos das entradas.

No intuito de criar uma nova metodologia de resolução de assuntos voltados a tópicos da engenharia foi desenvolvido um método ao qual será descrito neste trabalho.

“Análise de Sinais e Sistemas pode ser usada para exemplificar este problema, nela é necessário entender o comportamento de sinais, e para isso algumas técnicas são utilizadas, como a Convolução de Sinais que possui aplicações em diversas atividades da engenharia, como exemplo, a filtragem de sinais, porém em tal aplicação a teoria não é tão visível e possivelmente as abordagens existentes no processo de filtragem de sinais não auxiliaria no entendimento do conteúdo.”

2 JUSTIFICATIVA

Em diversas áreas da engenharia é necessário a análise de sinais para a compreensão de diversos fenômenos físicos. O processo da convolução de sinais em si é algo complexo para ser entendido por um iniciante nos estudos de análise de sinais e sistemas. Nessa circunstância, o presente artigo tem como intuito demonstrar a utilização de um método para resolução de problemas acerca da convolução de tempo discreto entre dois sinais distintos e validar o método criado utilizando o *software* MATLAB para demonstrar o resultado por algoritmos.

3 OBJETIVO

Discorrer sobre o método criado com o intuito de resolver problemas relacionados à soma de convolução no tempo discreto, utilizando tabelas, com o propósito de facilitar o aprendizado e execução da mesma fazendo uso por fim do *software* MATLAB para fundamentar a eficácia do método abordado.

4 DESENVOLVIMENTO

De acordo com HAYKIN (2001) a convolução é uma operação matemática a qual auxilia o cálculo de resposta ao impulso num sinal sendo ela de forma discreta e contínua. De acordo SANTOS (2017, p.2) a Análise de Sinais e Sistemas é definida da seguinte forma:

Segundo HAYKIN (2001) a definição matemática para a convolução de sinais discretos é dada por:

$$w[n] = x[n] * h[n] \text{ (Eq. 1)}$$

As variáveis discretas transformam-se em um somatório que é dado por:

$$w[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n]h[n - k] \text{ (Eq. 2)}$$

A fórmula geral para soma de convolução foi dada na Eq. 2 em uma soma finita de pontos. De acordo com SOVIEROSKI (2010) e SANTOS (2017) a operação matemática da convolução apresenta certo nível de complexidade elevado, já que existe uma dificuldade no uso dos objetos didáticos para a compreensão do método. O uso da programação auxilia o aluno a compreender a operação matemática que está sendo feita durante o processo de soma.

5 METODOLOGIA

Dado um sinal $x[n]$ com n pontos e um sinal $h[n]$ deseja-se que o sinal $h[n]$ “passe” pelo sinal $x[n]$ para que assim seja realizada a convolução:

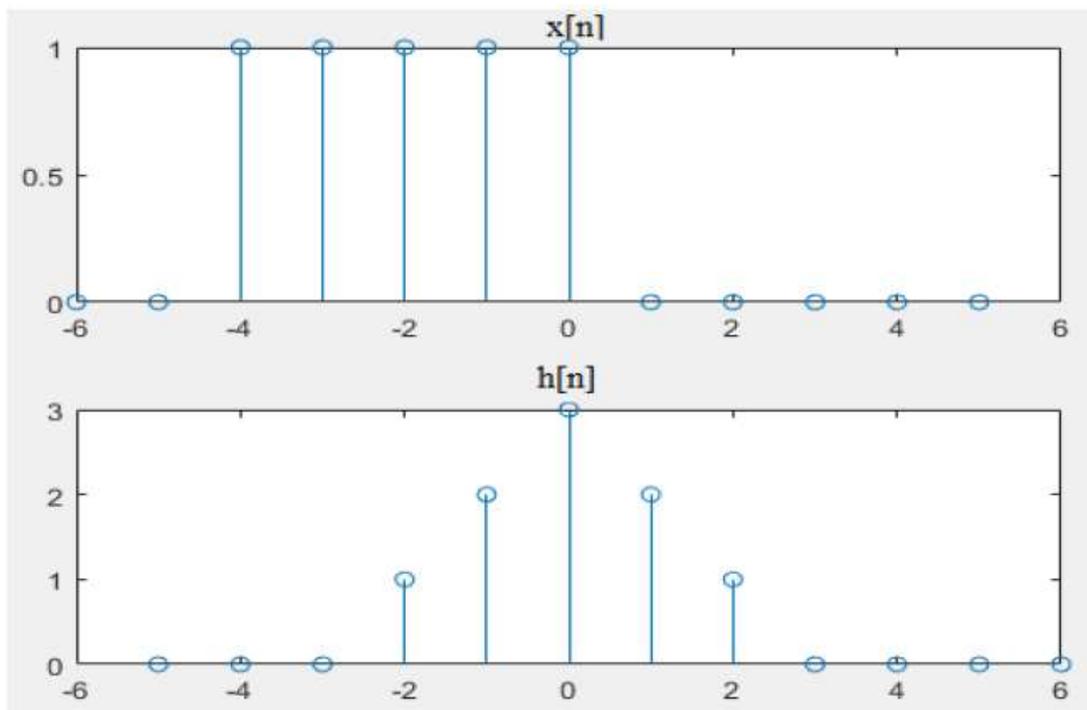
$$w[n] = x[n] * h[n] \text{ (Eq. 3)}$$

Onde, $x[n]$ e $h[n]$ são sinais de tempo discreto e $w[n]$ é o resultado da operação entre a convolução de $x[n]$ e $h[n]$.

O sinal $h[n]$ deverá passar por toda a extensão de $x[n]$, logo a quantidade de pontos de $w[n]$ será a soma da quantidade de pontos de $x[n]$ (a qual será atribuída como variável a) e a quantidade de pontos de $h[n]$ (a qual será atribuída a variável b), logo a quantidade de pontos $w[n]$ ou c será:

$$c = (a + b) - 1 \text{ (Eq. 4)}$$

figura 1 – Sinais discretos $x[n]$ e $h[n]$



O método que foi desenvolvido para a soma de convolução tem como ideia utilizar uma tabela para a resolução do problema. Abaixo será demonstrado um exemplo da utilização da tabela, fazendo a convolução de $x[n]$ com $h[n]$, descritos na Figura 1.

As fitas $x[n]$ e $h[n]$ contém ambas cinco elementos, logo, utilizando a Eq. 4 é possível definir previamente que a quantidade de pontos da fita $w[n]$ conterá nove elementos.

$$w[n] = x[n] = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] * h[n] = [1 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 1]$$

Tabela 1 – Aplicação do método para resolver a convolução entre os sinais da figura 1

Posições $w[n]$	$x[-4] = 1$	$x[-3] = 1$	$x[-2] = 1$	$x[-1] = 1$	$x[0] = 1$
$w[-4]$	$h[-2] = 1$				
$w[-3]$	$h[-1] = 2$	$h[-2] = 1$			
$w[-2]$	$h[0] = 3$	$h[-1] = 2$	$h[-2] = 1$		
$w[-1]$	$h[1] = 2$	$h[0] = 3$	$h[-1] = 2$	$h[-2] = 1$	
$w[0]$	$h[2] = 1$	$h[1] = 2$	$h[0] = 3$	$h[-1] = 2$	$h[-2] = 1$
$w[1]$		$h[2] = 1$	$h[1] = 2$	$h[0] = 3$	$h[-1] = 2$
$w[2]$			$h[2] = 1$	$h[1] = 2$	$h[0] = 3$
$w[3]$				$h[2] = 1$	$h[1] = 2$
$w[4]$					$h[2] = 1$

A partir desta tabela, são obtidos os seguintes valores para $w[n]$:

$$w[-4] = 1 \cdot 1 = 1$$

$$w[-3] = 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 3$$

$$w[-2] = 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 6$$

$$w[-1] = 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 8$$

$$w[0] = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 9$$

$$w[1] = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 = 8$$

$$w[2] = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 6$$

$$w[3] = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 3$$

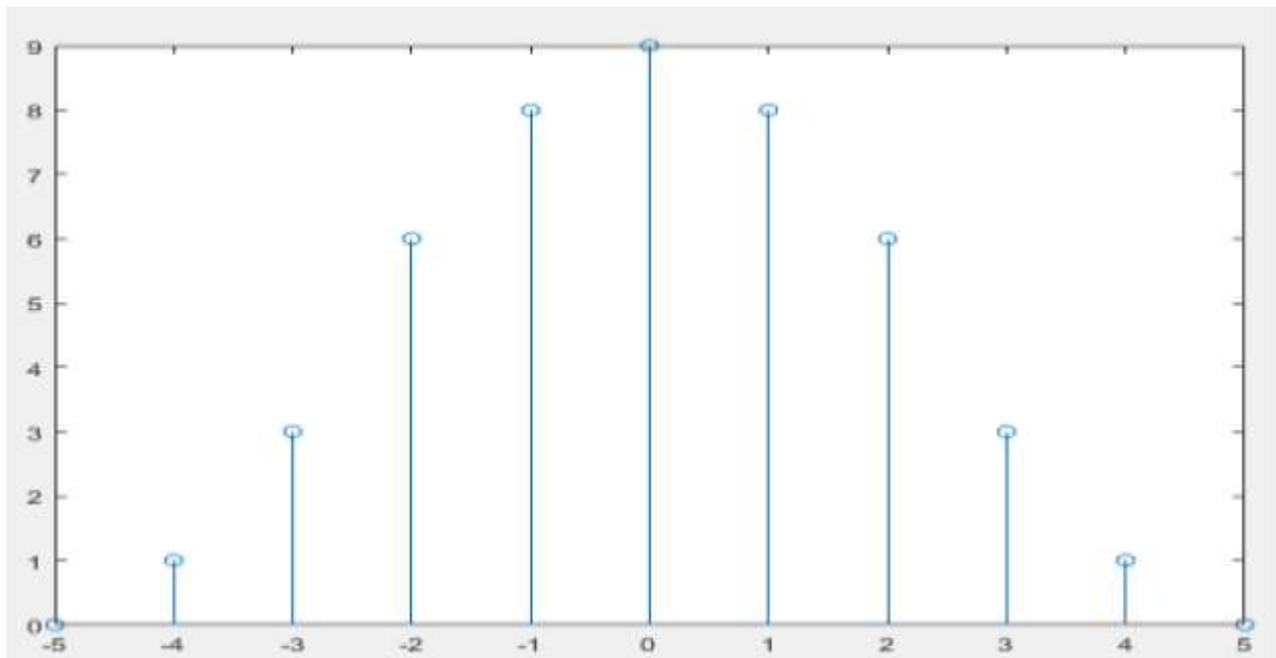
$$w[4] = 1 \cdot 1 = 1$$

Tabela 2 – Resultados obtidos no sinal $w[n]$

$w[-4]$	$w[-3]$	$w[-2]$	$w[-1]$	$w[0]$	$w[1]$	$w[2]$	$w[3]$	$w[4]$
1	3	6	8	9	8	6	3	1

Por fim, os valores para $w[n]$ são obtidos e o gráfico obtido da convolução entre $x[n]$ e $h[n]$ é dado na Figura 2.

Figura 2 – Sinal $w[n]$ obtido pela convolução entre os sinais $x[n]$ e $h[n]$



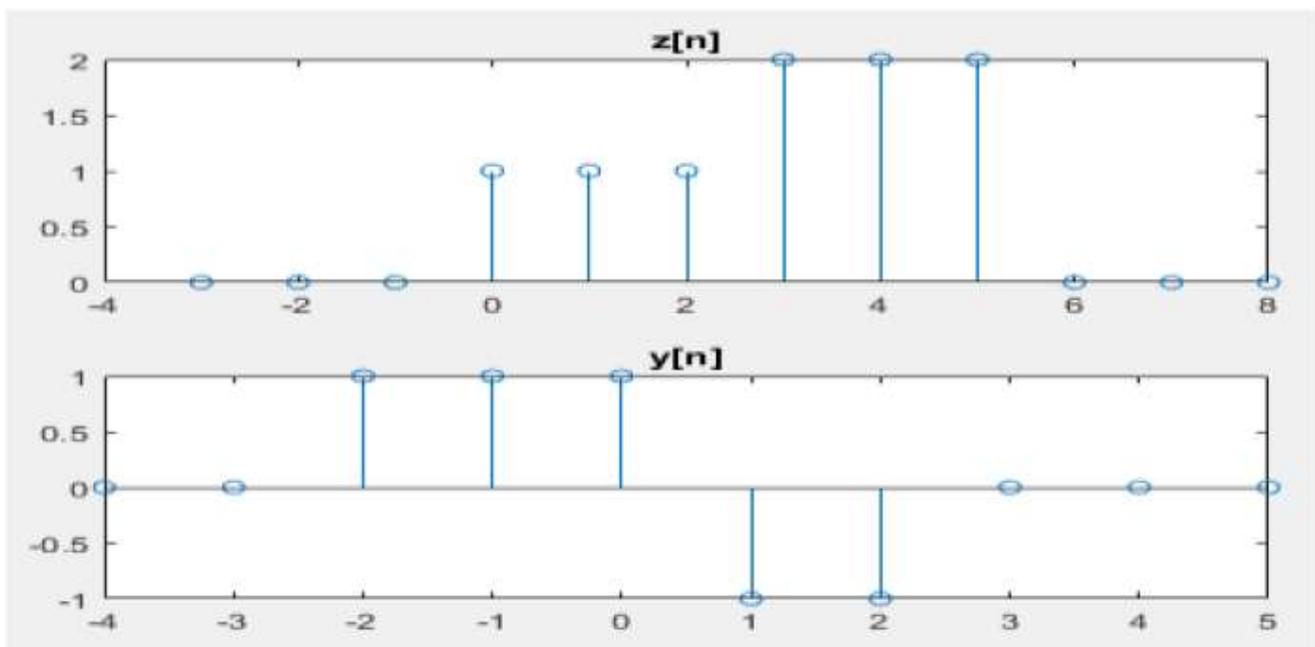
Para um melhor entendimento o método será elucidado em um passo a passo:

- ❖ Definir a quantidade de elementos da fita $x[n]$ e da fita $h[n]$ e utilizar a Eq.4 para definir a quantidade de elementos da fita $w[n]$;
- ❖ Posicionar a fita $x[n]$ na primeira linha da tabela;
- ❖ Posicionar a fita $h[n]$ nas colunas referentes a cada linha das posições do elemento $x[n]$;
- ❖ Fazer a soma de convolução nos pontos de $w[n]$ pegando os elementos de $x[n]$ e $h[n]$ da forma demonstrada no tópico 5;
- ❖ Criar a fita $w[n]$ com os valores da soma de convolução entre $x[n]$ e $h[n]$.

6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RESOLUÇÃO PARA SOMA DE CONVOLUÇÃO

Com o objetivo de enfatizar a credibilidade e eficiência do método criado algumas questões retiradas do livro de Sinais e Sistemas serão resolvidas tanto pelo esquema proposto como também pelo *software* MATLAB demonstrando assim os resultados corretos de cada problema proposto.

Figura 3 - Sinais discretos $z[n]$ e $y[n]$



Na Figura 3 é possível perceber um problema que envolve dois sinais discretos $y[n]$ e $z[n]$, no qual $y[n]$ tem cinco elementos e $z[n]$ seis elementos, utilizando a Eq. 4 do tópico anterior, tem-se que $w[n]$ terá dez elementos.

Tabela 3 - Aplicação do método para resolver a convolução entre os sinais da figura 3

Posições w[n]	z[-2] = 1	z[-1] = 1	z[0] = 1	z[1] = -1	z[2] = -1
w[-2]	y[0] = 1				
w[-1]	y[1] = 1	y[0] = 1			
w[0]	y[2] = 1	y[1] = 1	y[0] = 1		
w[1]	y[3] = 2	y[2] = 1	y[1] = 1	y[0] = 1	
w[2]	y[4] = 2	y[3] = 2	y[2] = 1	y[1] = 1	y[0] = 1
w[3]	y[5] = 2	y[4] = 2	y[3] = 2	y[2] = 1	y[1] = 1
w[4]		y[5] = 2	y[4] = 2	y[3] = 2	y[2] = 1
w[5]			y[5] = 2	y[4] = 2	y[3] = 2
w[6]				y[5] = 2	y[4] = 2
w[7]					y[5] = 2

$$\begin{aligned}
 w[-2] &= 1 \cdot 1 = 1 \\
 w[-1] &= 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 2 \\
 w[0] &= 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 3 \\
 w[1] &= 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + (-1 \cdot 1) = 3 \\
 w[2] &= 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + (-1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1) = 3 \\
 w[3] &= 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + (-1 \cdot 1) + (-1 \cdot 1) = 4 \\
 w[4] &= 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + (-1 \cdot 2) + (-1 \cdot 1) = 1 \\
 w[5] &= 1 \cdot 2 + (-1 \cdot 2) + (-1 \cdot 2) = -2 \\
 w[6] &= (-1 \cdot 2) + (-1 \cdot 2) = -4 \\
 w[7] &= (-1 \cdot 2) = -2
 \end{aligned}$$

Tabela 4 – Resultados obtidos no sinal w[n]

w[-2]	w[-1]	w[0]	w[1]	w[2]	w[3]	w[4]	w[5]	w[6]	w[7]
1	2	3	3	3	4	1	-2	-4	-2

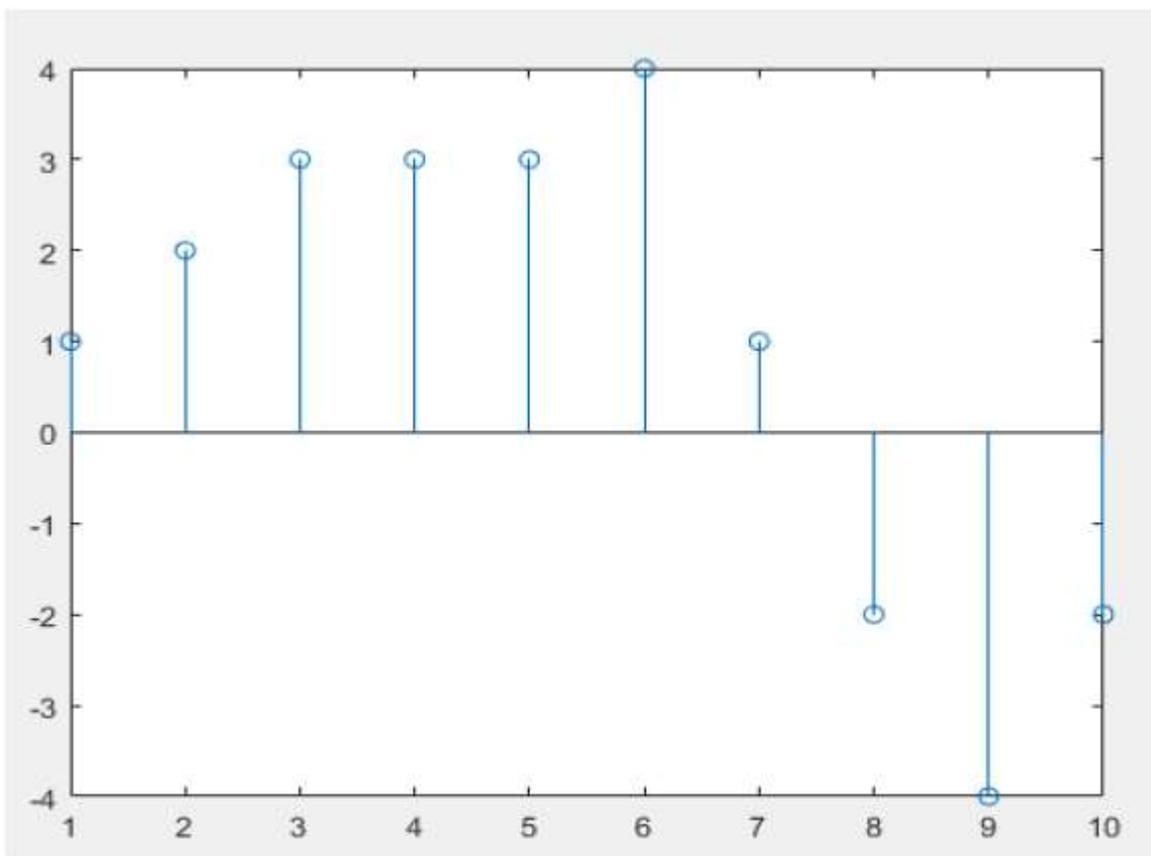
Utilizando o *software* MATLAB, foram utilizados comandos para realizar a soma de convolução, as fitas foram criadas nas linhas 1 e 4 e a convolução foi dada pelo comando conv(z,y) na linha 7 e sua resposta na linha 9 pela variável ans:

```

1. >> z = [1 1 1 -1 -1] %Criando a fita z[n]
2.   1   1   1  -1  -1
3. >> y = [1 1 1 2 2 2] %Criando a fita y[n]
4.   1   1   1   2   2   2
5. >> conv(z,y) %Utilizando o comando para fazer a convolução entre z e y (z*y)
6.   1   2   3   3   3   4   1  -2  -4  -2
    
```

Por fim, na Figura 4 está presente o gráfico da convolução do problema proposto na Figura 3, demonstrando assim a eficácia do método proposto visto que os resultados batem tanto na execução manual quanto computacional.

Figura 4 – Sinal $w[n]$ obtido pela convolução entre os sinais $z[n]$ e $y[n]$



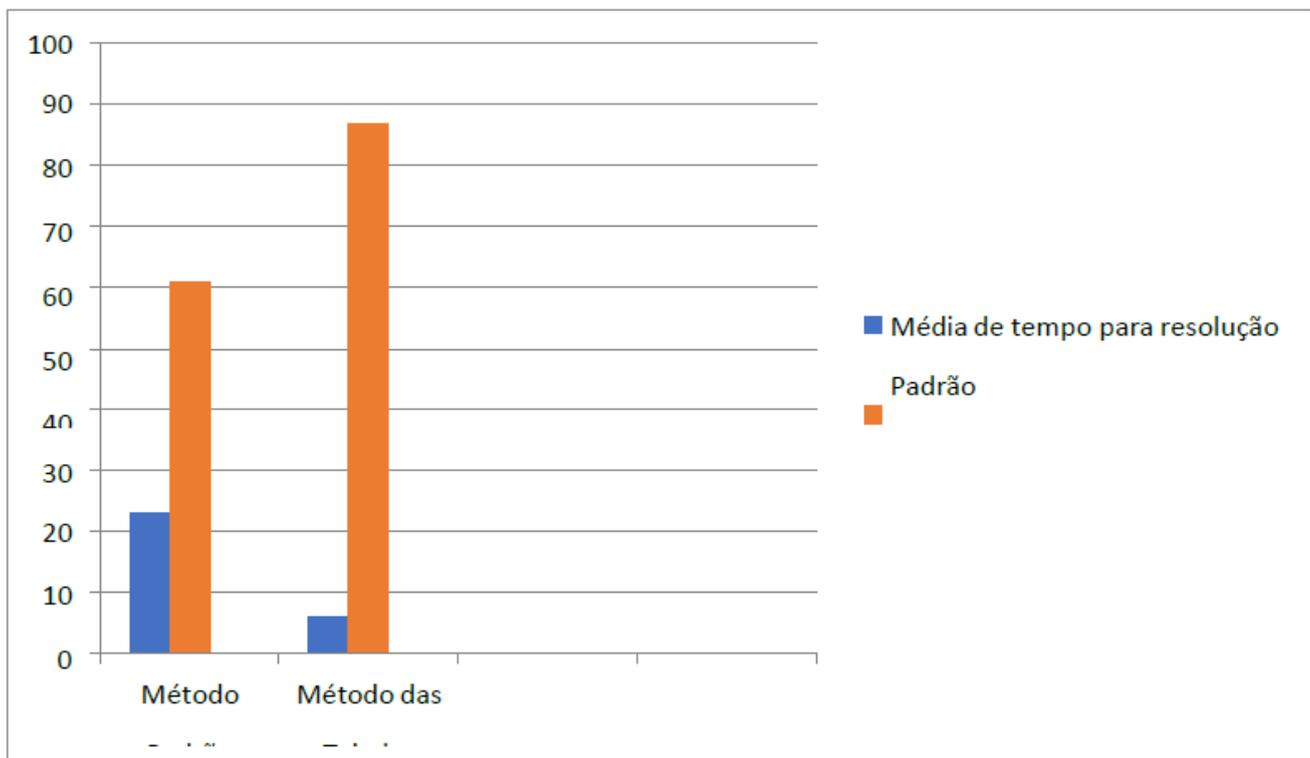
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para verificar a eficiência do método abordado foi realizada uma atividade com alunos do ensino superior de engenharia elétrica e computação, que estão cursando a disciplina de Análise de Sinais e Sistemas, sendo a quantidade de sujeitos da pesquisa vinte e sete.

Para a coleta dos dados foi aplicada duas questões de soma de convolução para cada aluno e foi proposto que eles resolvessem pelo método tradicional de soma por meio de média ponderada e em seguida foi explicado o método das tabelas para que fosse resolvido o problema proposto por meio das tabelas.

Durante o processo de cada resolução foi contabilizado o tempo de resolução de turma tendo sido a média para o tipo tradicional de soma 23 minutos com índice de acerto de 61%, o tempo médio para resolução com as tabelas sendo de 6 minutos média com o aumento da quantidade de acerto pra 87%. A comparação desses resultados é ilustrada na tabela 5.

Tabela 4 – Média dos resultados obtidos após aplicação do método em sala de aula.



Esta pesquisa mostra que o método desenvolvido é eficiente, uma vez que os alunos que utilizaram conseguiram solucionar os problemas relacionados a soma de convolução de sinais discretos com uma taxa maior de acertos e um tempo menor para resolução, fazendo assim com que a pesquisa demonstre um resultado satisfatório.

REFERÊNCIAS

DIESEL, Aline; SANTOS BALDEZ, Alda Leila; NEUMANN MARTINS, Silvana. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. Revista Thema, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 268-288, fev. 2017. ISSN 2177-2894. Disponível

em: <<http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/404>>. Acesso em: 27 fev. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.268-288.404>.

HAYKIN, S.; VEEN, B. V. Sinais e Sistemas. Bookman. Porto Alegre. 2001. Disponível em:

<https://kupdf.net/download/sinais-e-sistemashaykin_5910f315dc0d60267a959e90_pdf>.

SANTOS, N. L. O. de. et al. SIMULAÇÃO DE UM KIT DIDÁTICO PARA CONVOLUÇÃO DE SINAIS. Inovação no Ensino/Aprendizagem em Engenharia. 2017. Joinville. Cobenge.

SOVIERZOSKI, M. A. CONVOLUÇÃO DE SINAIS: DEFINIÇÃO, PROPRIEDADES E FERRAMENTAS. Revista Ilha Digital, ISSN 2177-2649, volume 2, páginas 81 – 95, 2010.

Disponível em: <<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital>>.

Capítulo 4



10.37423/211205103

ANÁLISE DE TEMPOS NA AUTOMAÇÃO E CONTROLE NO LABORÁTORIO - CIM ATRAVÉS DO ENSINO PRESENCIAL E REMOTO - ONLINE

Francisco de Assis Toti

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

Marcos Vinicius Fernandes Pontes

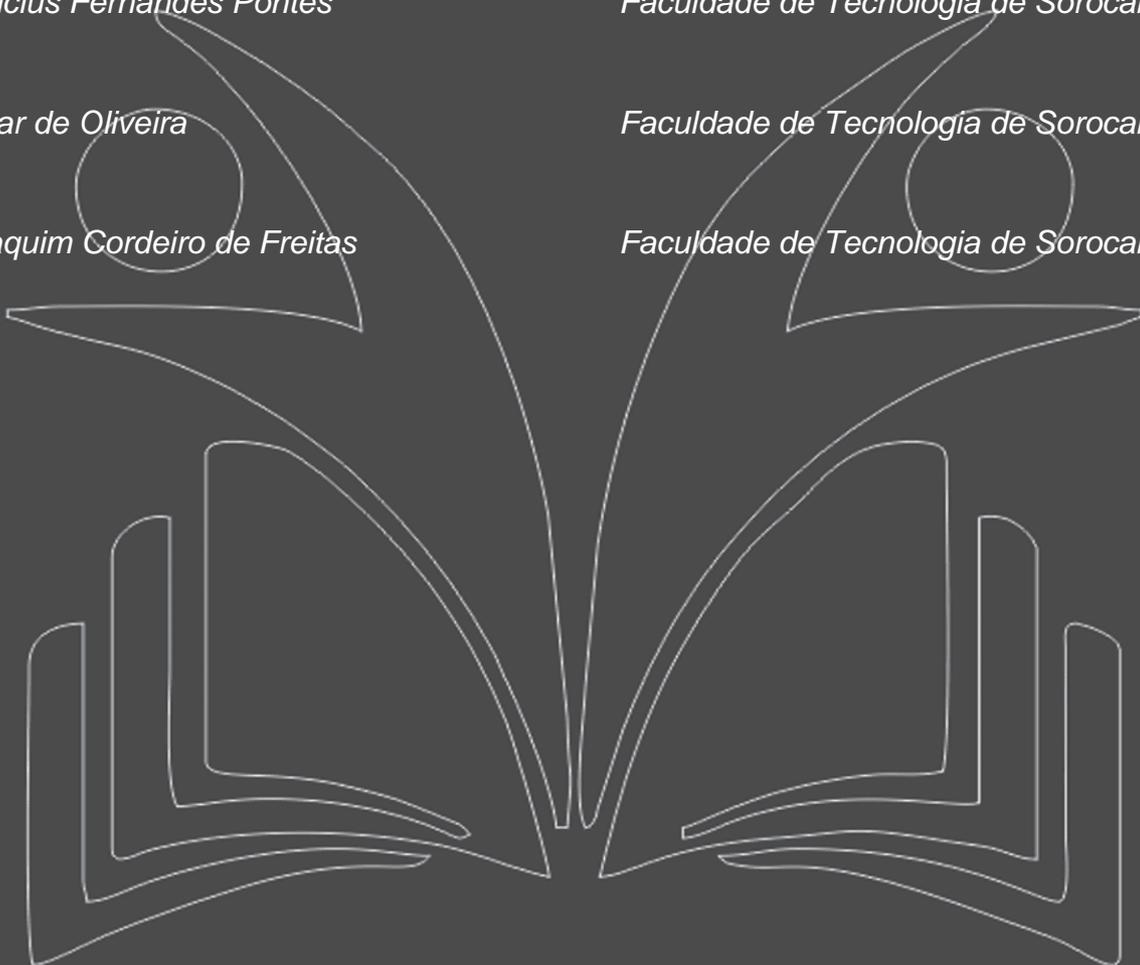
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

José Josimar de Oliveira

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

Amilton Joaquim Cordeiro de Freitas

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba



Resumo: A alta demanda de manufatura de produtos individualizados incentivou a implementação da manufatura de produtos mistos. Assim, em uma planta industrial pode-se produzir diferentes tipos de produtos na mesma célula de manufatura, denominado sistema flexível de manufatura. Para isso, no processo de ensino aprendizagem tanto a fundamentação teórica como a prática são essenciais, em especial nas disciplinas do eixo de produção em que as ementas contemplam o tópico estudo de tempos e métodos por cronometragem, o qual é imprescindível para o balanceamento de linha, definido como o ponto chave para se atingir no menor tempo o máximo de produção. O presente trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia de ensino por prática presencial e remota, no formato online, sobre o controle e automação do processo utilizando o laboratório de sistema de manufatura integrada por computador – CIM. Resultados obtidos indicaram que os alunos obtiveram uma visão ampla do sistema produtivo na parte técnica, bem como, a aplicação direta do conteúdo de várias disciplinas para resolver o estudo de caso proposto. Quanto a experiência de acompanhar a prática de forma remota através de softwares de simulação, um dos problemas apontado foi o atraso durante o desenvolvimento dos estudos de caso. Entretanto, pode-se considerar como boa a aceitação dos alunos para a prática dessa modalidade de laboratório, indicando que estudos devem ser aprofundados sobre o desenvolvimento de um modelo híbrido (presencial e remoto-online) para prática de laboratório.

Palavras-chave: CIM. Simulação. Tempos e Método. Ensino Remoto.

1 INTRODUÇÃO

A produção diversificada em menor tempo, baixo custo e com o máximo de qualidade é a meta de todo setor produtivo para permanecer num mercado globalizado e cada vez mais competitivo. As empresas de manufatura enfrentam uma intensa concorrência global e para permanecerem competitivas “São instadas a aplicar uma abordagem rápida e adaptável para produção de produtos personalizados com grandes variedades e lotes pequenos, que contribuem para aumentar a complexidade do processo” (GIVEHCHI *et al.*, 2017). Aliado a isso, “Para aumentar a produção geralmente há modernização de processos ou aquisição de novos equipamentos, tendo como objetivo a redução de custos, focado nas perdas do processo” (GUERRA & FABRO, 2019).

Atualmente a produção está abarcada em tecnologias avançadas tais como: projetos e processos auxiliados por computador, automação e sistemas de informação, sendo determinantes para o aumento da produção com padrão de qualidade e menor custo para o setor de consumo.

A demanda do mercado exige soluções envolvendo a troca do modo clássico de controle centralizado da produção para um controle distribuído totalmente descentralizado, cada entidade (por exemplo, produto, recurso) mantém seus próprios objetivos interligados com os objetivos globais do lote no nível do chão de fábrica, como por exemplos: produção, tempo de produção ou balanceamento da carga (BORANGIU *et al.*, 2014).

Nesse contexto, a educação atual nos seus diversos níveis de formação, em especial na área da engenharia busca com uma visão objetiva o formando do amanhã, em que “O setor da educação vem se adequando para que o ensino seja cada vez mais integrativo e dinâmico, onde o educador é o elo principal para distribuir e gerenciar o conhecimento através da tecnologia de informação” (TOTI *et al.*, 2019). Nos cursos de graduação, disciplinas principalmente relacionadas a engenharia de produção que contemplam automação e controle do processo, tais como: estoque, tipos de produtos, layout, equipamentos, processos, montagem, manutenção, transporte e o controle de qualidade, a prática de laboratório com a tecnologia da informação torna-se imprescindível. A automação do processo ocorre entre máquinas, sensores e outros equipamentos que estão instalados para o desenvolvimento de projeto e fabricação de determinado produto, tendo como objetivo principal a redução da interferência humana no processo. Na literatura, vários autores abordam o sistema de manufatura integrada por computador - CIM, podendo ser flexível ou não que utilizam computadores para controlar o desenvolvimento desde a simulação até a finalização de determinado produto.

“Muitas previsões foram feitas em torno do desenvolvimento tecnológico, onde se acreditava na possibilidade da retirada completa da presença do homem do ambiente fabril. Apesar do alto nível de automatização nas indústrias, o poder decisório ainda pertence às pessoas, que devem ser capazes de adaptar-se às novas tecnologias” (COELHO & CARVALHO, 2017).

Diante do exposto acima, fica evidente a necessidade da integração de novas tecnologias em práticas de laboratórios, entretanto, como conciliar atividade prática presencial e remota para o aluno ir se adequando a esse desenvolvimento tecnológico, parece não ser tarefa fácil e aliado a situação atual, os estudos devem ser aprofundados.

2 ESTUDO DE TEMPOS, MOVIMENTOS E MÉTODOS

O conhecimento do tempo que envolve as etapas de fabricação e/ou a montagem de determinado produto é fundamental para a gestão da produção. O controle do tempo de operação de equipamentos e máquinas num sistema produtivo flexível é de suma importância, dentre outros para o balanceamento de linha. São vários os métodos existentes para a medição e determinação dos tempos, tais como: dados históricos, amostragem, cronometragem, comparação, estimativa e MTM (*Methods Time Measurement*), “Sendo que os mais comuns e usados são os métodos de comparação, de MTM e de cronometragem” (VASCO GASPAS, 2016). O método de comparação é aplicado para uma única produção e de baixa precisão. O método MTM está estruturado no gerenciamento do tempo, sendo extremamente útil para classificar o conteúdo do trabalho e otimizar os sistemas de produção prospectivos (antes do início da produção) e durante uma produção em execução. “Na indústria não é aplicado de forma abrangente, pois o treinamento intensivo e o alto esforço para gerar estudos de tempo são tidos como obstáculos” (MORLOCK *et al.*, 2017). O método de cronometragem é a técnica de obter os tempos de processos que, numa análise mais completa se tornará uma cronoanálise.

“Como qualquer outra técnica ou ciência, a cronometragem possui uma terminologia especial, portanto, alguns dos termos especiais empregados na cronometragem ou estudo de tempos devem ser definidos para propiciar a melhor compreensão dos resultados” (FELIPPE *et al.*, 2012).

Sendo assim, a engenharia de manufatura define o método de trabalho a ser aplicado no controle e automação do processo objetivando o máximo de eficiência. Etapas de processos podem apresentar tempo morto (ocioso) ou sobrecarregados que influenciam no melhor aproveitamento dos recursos disponíveis do sistema produtivo, ou seja, influenciando na capacidade do setor produtivo. “Engenharia de fábrica: também denominada engenharia industrial ou engenharia de manufatura é o

setor que deve estabelecer o método de trabalho ou o processo mais eficiente” (PEINADO & GRAEML, 2007).

3 OBJETIVO

Diante do exposto acima, fica evidente que o conteúdo a ser ministrado com auxílio de prática presencial em laboratório proporcionará uma visão abrangente de todo o processo para o aluno. Entretanto, também a tecnologia, por exemplo, no campo da engenharia caminha para ser cada vez mais para a área da simulação e remota. Aliado a isso, diante da pandemia em que o mundo enfrenta atualmente, impôs de certa forma o isolamento das pessoas nos diversos setores da sociedade e no setor acadêmico, a aplicação de ensino a distância EAD foi uma solução encontrada, visto que é crescente a modalidade. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os resultados iniciais obtidos do aprendizado dos alunos de disciplina com prática presencial de laboratório, a qual passou a ser ministrada de modo remota-*online*, utilizando softwares de simulação.

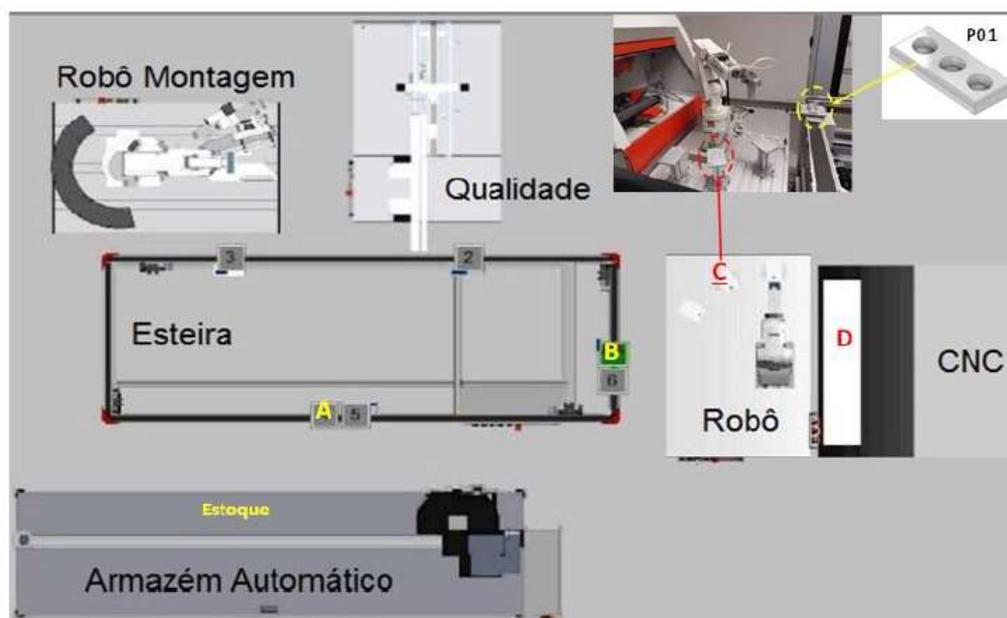
4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho, foi aplicada nas disciplinas de tecnologia de fabricação mecânica e manufatura avançada, dos cursos superiores da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – Fatec-So, utilizando no laboratório FESTO a plataforma multidisciplinar iCIM (*intelligence Computer Integrated Manufacturing*), que tem como características a tecnologia de controle, *design* e leiaute, planejamento de produção, controle de processos e simulação. A célula de manufatura em escala de laboratório é formada por cinco estações de trabalho: sistema de transporte com paradas (esteira), armazém automático com robô, a estação de montagem automática com robô Mitsubishi, controle de qualidade e a estação flexível de manufatura contendo centro de usinagem EMCO Concept Mill com comando Sinumerik 840D e robô Mitsubishi. Os softwares de simulação utilizados foram o CIROS® Studio 6.4 e o FUSION 360® Autodesk, ambos de versão educacional. Foram desenvolvidos estudos de casos FP01 e FP02.

4.1 ESTUDO DE CASOS

No primeiro estudo de caso foi desenvolvido o fluxograma do processo denominado FP01 utilizando a programação e tempo padrão, considerando o armazém, esteira, robô e usinagem CNC para peça de código P01 utilizando a programação de usinagem FESTO. A figura 1 ilustra a esquematização do leiaute da célula de manufatura iCIM.

Figura 1 – Esquemática da célula de manufatura iCIM – FESTO, Software CIROS.



Fonte: Autoria própria.

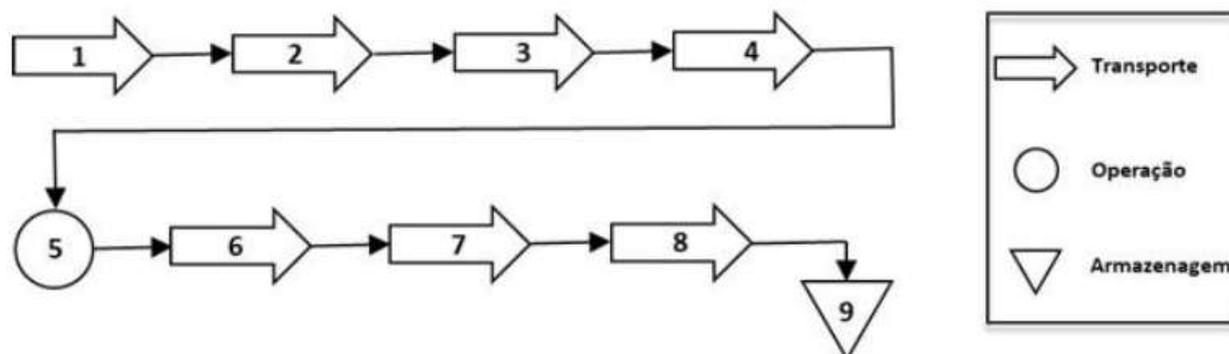
Após a cronometragem dos tempos das etapas conforme a sequência das referências: estoque, A, B, C, D, C, B, A, estoque, em função das velocidades, deslocamentos e tempo de usinagem padronizados, foi criada a tabela e o fluxograma do processo conforme mostra a tabela 1 e a figura 2, respectivamente.

Tabela 1 - Descrição das etapas do processo FP01.

Etapa	Descrição	Duração (min)
1	Baseplate com matéria-prima de código FS1 retirada do estoque pelo braço robótico e posicionada na esteira na referência A	0,18
2	Movimentação da esteira até o baseplate ficar posicionado na referência B	0,33
3	Braço robótico movimenta baseplate da referência B até a referência C (base para posicionamento entre a esteira e o centro de usinagem)	0,18
4	Braço robótico movimenta baseplate da referência C até a referência D (mordente do centro de usinagem)	0,35
5	Operação de usinagem da peça P01 na matéria-prima	5,1
6	Braço robótico movimenta baseplate da referência D até a referência C	0,23
7	Braço robótico movimenta baseplate da referência C até a referência B	0,18
8	Movimentação da esteira até o baseplate ficar posicionado na referência A	1,12
9	Braço robótico armazena no estoque (posição inicial) o baseplate com o produto FS1 retirado da referência A	0,23
Tempo centesimal total do processo		7,92

Fonte: Autoria própria.

Figura 2 - Fluxograma do processo FP01

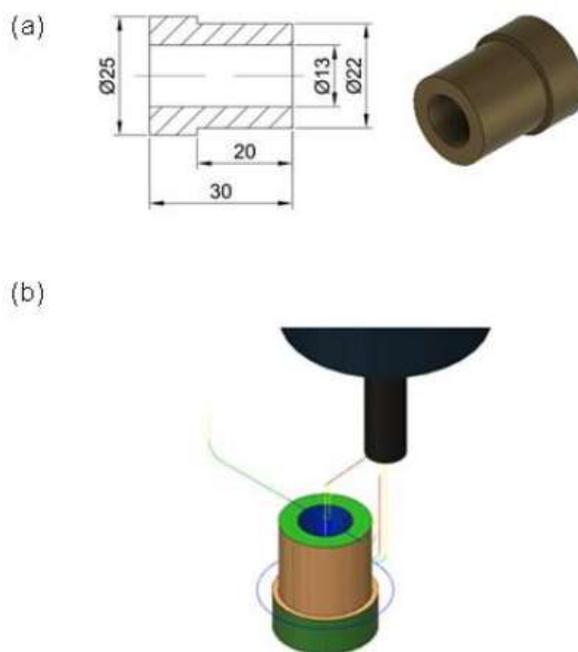


Fonte: Autoria própria.

Na sequência, ocorre a alteração da velocidade de movimentação do robô que envolvem as etapas 3, 4, 6, 7, mantendo a velocidade da esteira e o tempo de usinagem, avaliando a performance no tempo total do processo. Como o foco desse estudo de caso é transporte e operação de usinagem, a estação de qualidade e montagem entra em outra etapa do estudo.

O segundo estudo de caso denominado FP02, primeiramente é realizada a modelagem 3D, a programação e a simulação de usinagem utilizando o software FUSION 360, do elemento de máquina denominado bucha de código P02, conforme ilustra a figura 3.

Figura 3- Elemento de máquina Bucha. (a) desenho de fabricação e modelagem 3D e (b) simulação CAM.



Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, a matéria prima da peça P02 é inserida no armazém da célula conforme localizado na figura 1, em local pré estabelecido e o programa gerado de usinagem é transferido para a máquina CNC, onde são realizados testes (*try-out*) antes da programação ser utilizada na produção. Com isso, tem-se o tempo de usinagem da peça P02 que em seguida é inserido no fluxograma do processo FP01. Nessa etapa, é confrontado o tempo de usinagem obtido pela simulação com o tempo real de usinagem para avaliar a diferença e quanto incide no tempo total de produção. “O tempo de usinagem mostrado pelo software, pode apresentar diferença considerável em relação ao tempo de usinagem real, causada pelas características de cada máquina ferramenta” (YAMAMOTO *et al.*, 2017). A tabela 2 mostra os tempos de simulação de usinagem das peças P01 e P02.

Tabela 2 – Tempos de simulação de usinagem.

Peça	Usinagem	Tempo (min)
P01 	simulação	5,1
P02 	simulação	2,7

Fonte: Autoria própria.

Na última etapa, é avaliado o balanceamento de linha para produção das duas peças objetivando o máximo de produtividade, inserindo a estação de qualidade e construindo um novo fluxograma do processo. Por fim, essa metodologia é aplicada com acompanhamento do docente e auxiliar de docente de laboratório.

4.2 ENSINO REMOTO - ONLINE

A metodologia apresentada no tópico anterior foi planejada para ser desenvolvida de forma presencial, entretanto, devido a situação mundial atual, mais precisamente no estado de São Paulo com o isolamento social, as aulas passaram a ser ministrada de modo remoto-online, nos horários

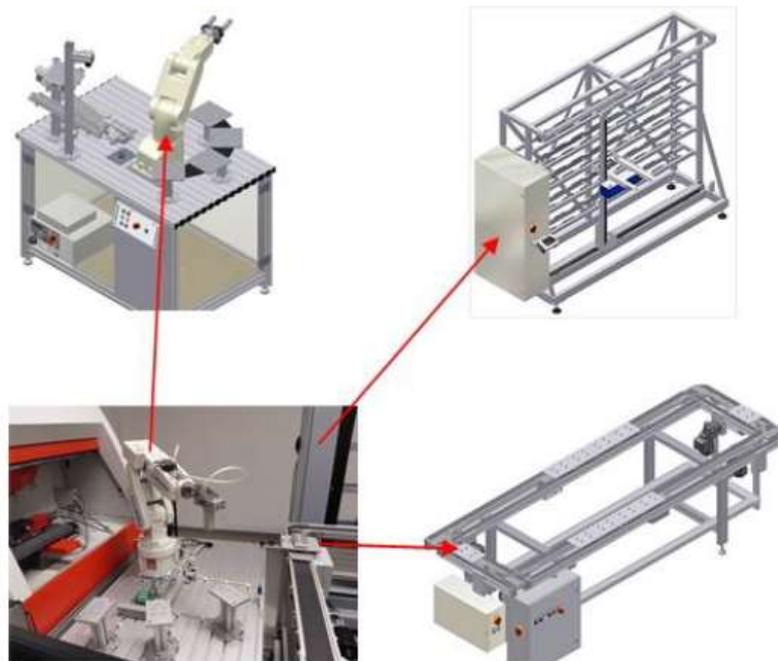
estabelecidos no início do 1º semestre de 2020. A metodologia foi adequada e aplicada utilizando o *software* Teams®Microsoft em conjunto com os softwares mencionados anteriormente. As figuras 4 e 5 ilustram as imagens da área de trabalho do software Teams e de componentes físicos alocados no laboratório iCIM e seus componentes virtuais utilizados para o ensino remoto - online, respectivamente.

Figura 4 – Área de trabalho do software Teams na aula prática de tempos e método.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5 – Imagem de componentes físicos e virtuais do laboratório iCIM.



Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados parciais obtidos das práticas de laboratório ministradas de forma remota-online indicaram bom desempenho acadêmico, bem como, boa aceitação dos alunos no ambiente virtual, visto que, os recursos utilizados reproduziam o ambiente físico do laboratório. Entretanto, dúvidas como, por exemplo, sobre a fixação das peças no *baseplate* e no mordente para usinagem *in loco* seriam mais fáceis de serem esclarecidas.

O compartilhamento de arquivos entre professor e aluno através do *software* Teams apresentou vantagens, dentre as quais podemos citar, do professor verificar se o aluno está desenvolvendo a atividade na aula, bem como, auxiliá-lo na resolução de suas dúvidas. Também vale destacar, o problema enfrentado do *delay* entre a explicação do conteúdo pelo professor e o acompanhamento do aluno em que o ritmo de apresentação teve que ser adequado em comparação ao sistema presencial.

Diante do exposto, os resultados obtidos nessa prática de ensino-aprendizagem proposta para o laboratório em questão, indicam que estudos devem ser aprofundados para a migração gradativa para um sistema híbrido (prática presencial e remota-online). Com isso, também adaptaremos os alunos às novas tecnologias de trabalho, as quais certamente serão implantadas mais rapidamente em função da situação em maior ou menor grau de isolamento que o mundo está vivenciando.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Paula Souza por prover o regime de jornada integral – RJI e a BR Festo MBX Suporte Didatic pela liberação de licenças de softwares.

REFERÊNCIAS

BORANGIU, Theodor et al. Distributed manufacturing control with extended CNP interaction of intelligent products. *J Intell Manuf.* p. 1065–1075, DOI 10.1007/s10845-013-0740-3, 2014.

COELHO, Fabio Junior Santos; CARVALHO, Rogerio Atem. Estudo sobre o desenvolvimento e tendências futuras da Manufatura Integrada por Computador (CIM) através de análise bibliográfica e bibliométrica. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Bauru, Ano 12, nº 3, jul-set, p. 107-130, 2017.

FEIPPE, Adélia Denísia et al. Análise descritiva do estudo de tempos e métodos: uma aplicação no setor de embaladeira de uma indústria têxtil. *Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. IX SEGET*, 2012.

GUERRA, Bruno Almeida; FABRO, Elton. Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. *Scientia Cum Indústria*, V. 7, N. 2, pp. 23. <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v>, 2019.

GIVEHCHI, Mohammad; AZEDH, Haghighi; WANG, Lihui. Cloud-DPP for distributed process planning of mill-turn machining operations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing journal homepage: www.elsevier.com/locate/rcim*, 2017.

MORLOCK, Friedrich et al. Teaching Methods-Time Measurement (MTM) for Workplace Design in Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 9 , p. 369 – 375, 2017.

PEINADO, Jurandir & GRAEML, Alexandre. *Administração da produção: operações industriais e de serviços* Curitiba, UnicenP, 2007.

TOTI, Francisco de Assis et al. Banco de dados aplicado nas disciplinas da área da manufatura avançada em cursos de graduação. *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE*, Fortaleza, 2019.

VASCO, Gaspar. *Análise de Tempos e Métodos numa Linha de Produção de Autocarros*. Dissertação (mestrado), Universidade de Coimbra, Portugal. 2016.

YAMAMOTO, Yuki; AOYAMA, Hideki; SANO, Noriaki. Development of accurate estimation method of machining time in consideration of characteristics of machine tool. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, v. 11, n. 4, p. JAMDSM0049-JAMDSM0049, 2017.

Capítulo 5



10.37423/211205115

CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE DESGASTE MICROABRASIVO POR ESFERA ROTATIVA FIXA DE SIMPLES CONCEPÇÃO

Paulo Lourenço Monteiro Junior

Universidade Federal de Uberlândia

Maria Adrina Paixão de Souza da Silva

Universidade Federal do Pará

Thiago Antônio Paixão de Sousa Costa

*Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará*

Tamires Isabela Mesquita Botelho

Universidade Federal de Uberlândia

Otávio Fernandes Lima da Rocha

*Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará*

Antonio Luciano Seabra Moreira

Universidade Federal do Pará



Resumo: A construção de um equipamento de ensaio de desgaste de simples concepção pode ser importante, pois se também o custo de fabricação for baixo, esses dois fatores podem, por exemplo, facilitar a obtenção dessas máquinas por centros de ensino como as universidades. Recentemente alguns autores têm desenvolvido estudos para analisar a resistência ao desgaste de ligas monotéticas, as quais possuem como um dos principais atrativos as características autolubrificantes. O ensaio de desgaste microabrasivo tem sido o foco de muitas pesquisas nos últimos anos devido à sua ocorrência em muitas situações práticas, com destaque para a utilização de ligas metálicas. Este trabalho tem como objetivo principal determinar os parâmetros dimensionais e operacionais necessários para construir um equipamento de ensaio de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa com estrutura relativamente simples de forma que possa ser replicado facilmente. Para verificação, os ensaios foram realizados em uma liga monotética Al-1,2%Pb, solidificada em um dispositivo ascendente e com microestrutura globular, na qual já foram realizados testes anteriores por Freitas (2013). Após a realização dos ensaios foram obtidas curvas de volume de desgaste (V) em função do espaçamento interfásico (λ_G), semelhantes às da referida autora, validando, portanto, o equipamento construído neste trabalho.

Palavras-chave: Máquina de ensaio de desgaste; Esfera rotativa fixa; Ligas monotéticas; Baixo custo.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais que melhor suportem o desgaste em condições severas de solicitação através de diversas técnicas é o alvo de muitos estudos, como aqueles que analisam o comportamento de ligas para a utilização em mancais, entre outras aplicações práticas. Entretanto, para que se tenham avanços nas pesquisas é necessário a utilização de equipamentos para a realização de ensaios, o que pode gerar altos custos e, dessa forma, dificultar o avanço na obtenção de conhecimento. Dessa forma, a construção de dispositivos de ensaio de simples configuração e fácil concepção, o que geralmente está associado a custos relativamente menores, pode ser importante para a continuação do desenvolvimento científico.

Segundo Prinz et al. (1995), nas ligas monotéticas como Al-Pb e Al-Bi, se as fases de chumbo e bismuto forem dispersas na microestrutura mais dura, as fases moles de Pb e Bi seriam capazes de produzir materiais deslizantes que poderiam corresponder a um baixo coeficiente de atrito e a uma boa resistência ao desgaste. Já as ligas de Al-Sn que contém fases ricas em estanho de baixa dureza possuem boas propriedades antitravamento, pois o estanho age como lubrificante sólido, permitindo que essas ligas sejam aplicadas em condições com pouco ou nenhum lubrificante.

A norma ASTM G40 (1996) classifica um tipo de desgaste chamado de microabrasivo. Essa norma não apresenta uma diferença clara entre desgaste abrasivo e desgaste microabrasivo (FREITAS, 2013), mas desgaste microabrasivo pode ser visto como um desgaste abrasivo em que os ensaios resultam em parâmetros quantificadores da resistência ao desgaste em escalas menores (HUTCHINGS, 1992).

O ensaio deste tipo de desgaste consiste em colocar a amostra a ser testada em contato com uma esfera rotativa através da imposição de uma força normal e então a esfera imprime sobre a amostra uma cratera de desgaste, que é avaliada para que se possa verificar a resistência ao desgaste da amostra. Esta metodologia de ensaio de desgaste tem sido aplicada por diversos autores (SANTOS et al., 2015; COZZA, 2014; COZZA, 2013; CAMERINI et al., 2011; LUO et al., 2011; CHENG et al., 2011; LUO et al., 2010; COZZA, 2009; STACHOWIAK et al., 2006; BOSE et al., 2005; LEROY et al., 2005).

Atualmente não há uma norma técnica que trate deste tipo de ensaio, entretanto na literatura existem configurações de equipamentos consolidadas para realizar este tipo de ensaio, como os dispositivos de ensaio micro-abrasivo por esfera rotativa fixa (CRUZ, 2008; FREITAS, 2013; SANTOS et al., 2015; COSTA, 2016), em que uma força externa e normal ao contato entre a esfera em rotação e a amostra a ser desgastada é mantida sobre o sistema tribológico para que haja a permanência desse contato;

a avaliação da resistência ao desgaste é obtida através do cálculo do volume da calota, V , impressa pela esfera na amostra.

A obtenção de estruturas de solidificação compatíveis com as propriedades mecânicas e de fabricação exigidas é o objetivo fundamental dos estudos realizados no campo da solidificação de metais e um dos mais importantes da metalurgia física, pois sabe-se que o posterior desempenho das peças obtidas é significativamente influenciado pela estrutura bruta constituída imediatamente após a solidificação (KAMAL et al., 2013; QUARESMA et al., 2000; ROOY, 1998; CHALMERS, 1968; DIETER, 1988; O'DELL et al., 1999). Sabe-se também que a resistência ao desgaste microabrasivo de um material metálico pode ser influenciada pela microestrutura (CRUZ, 2008; FREITAS, 2013). Se tratando de uma microestrutura globular, um parâmetro quantificador utilizado para avaliar a morfologia é o espaçamento interfásico (λ_G), que basicamente é a média da distância entre partículas ricas em soluto, adotando como referência o centro de cada partícula (SILVA, 2011; KONNO, 2015; COSTA, 2016).

O dimensionamento e construção de aparatos para a análise experimental da resistência ao desgaste que não dependam de elevados custos de fabricação é de suma importância, pois, dessa forma, criam-se condições para a geração e posterior propagação do conhecimento. Assim, este trabalho tem como meta a construção de uma máquina de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa. A verificação será realizada com base em resultados já publicados e obtidos em obtidos em um dispositivo semelhante por Freitas (2013). Os resultados experimentais obtidos não são alvos de discussão do fenômeno tribológico em si, mas somente são utilizados como fonte de confiabilidade dos trabalhos que posteriormente serão realizados no equipamento de ensaio de desgaste construído neste estudo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Um equipamento de ensaio de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa foi definido como modelo de dispositivo a ser construído, pois, conforme mencionado anteriormente, a sua utilização já está consolidada na literatura. Posteriormente foram calculados os esforços convenientes para a determinação da potência máxima e seleção do motor elétrico. Por fim, realizou-se a confecção dos componentes, montagem da máquina e a verificação.

2.1 ENSAIO DE DESGASTE MICROABRASIVO POR ESFERA ROTATIVA FIXA

No caso do ensaio de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa, aplica-se uma força pré-determinada para que haja contato entre a esfera a ser rotacionada e a amostra a ser desgastada. Então pode-se definir a velocidade de rotação da esfera, a distância de deslizamento e a vazão da

pasta abrasiva. Neste tipo de dispositivo a esfera é pressionada pelas duas faces côncavas dos eixos de rotação, assim a esfera também adquire movimento de rotação no mesmo sentido do eixo motor. A Figura 1-a ilustra a realização do ensaio e a Figura 1-b mostra um arranjo de equipamento utilizado para realizá-lo.

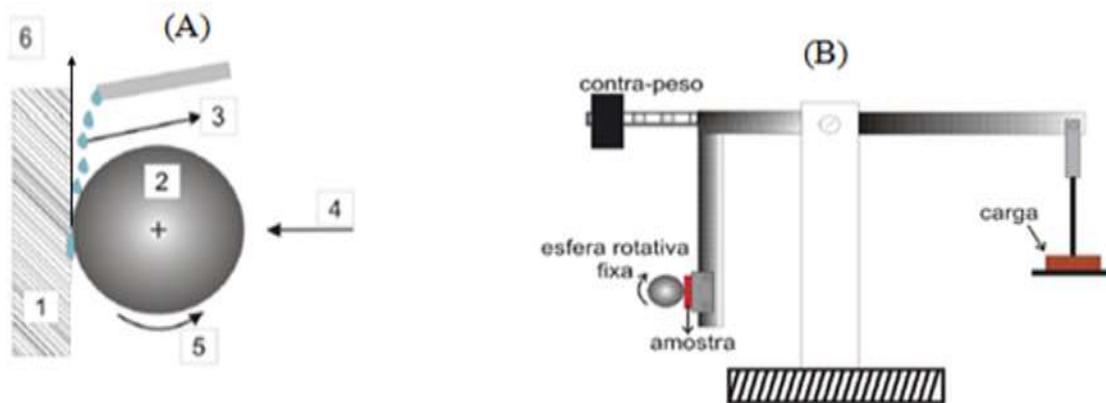


Figura 1: Ensaio de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa: (a) representação esquemática do princípio de funcionamento, (1) corpo de prova, (2) esfera do ensaio, (3) solução Abrasiva, (4) força normal, (5) sentido de rotação da esfera, (6) força de Atrito (Adaptado de CRUZ, 2008); (b) configuração de equipamento para realização do ensaio (FREITAS, 2013).

O volume de desgaste é uma importante grandeza para a caracterização do desgaste de determinado material e pode ser obtido a partir da análise geométrica da impressão da esfera sobre o corpo de prova que tem o formato de uma calota esférica (Figura 2).

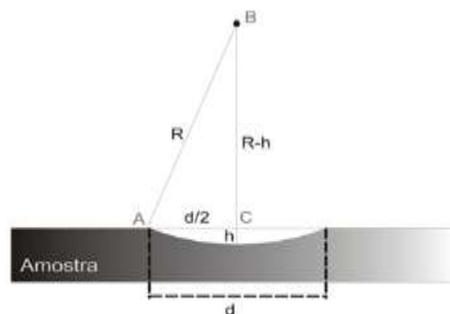


Figura 2: Representação esquemática da calota esférica - (R) raio da esfera, (h) profundidade da calota, (d) diâmetro da calota (Freitas, 2013).

Considerando $R \gg h$, o cálculo do volume de desgaste pode ser obtido pela Equação 1 (Freitas, 2013).

$$V = \pi \frac{d^4}{64R} \quad (1)$$

Na calota resultante de um ensaio, como a observada na Figura 3, verifica-se a região de desgaste na qual são realizadas quatro medições de diâmetro. A partir da obtenção do valor médio do diâmetro da calota, faz-se o cálculo do volume de desgaste pela Equação 1, onde adota-se d como o diâmetro médio da calota (FREITAS, 2013).

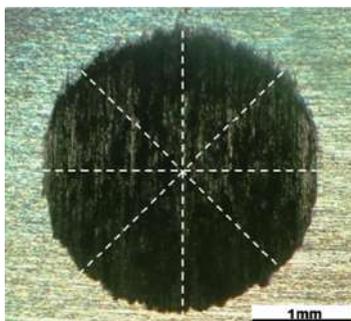


Figura 3: Calota produzida em um ensaio de desgaste de microabrasão por esfera rotativa fixa (Freitas, 2013).

A Figura 4 mostra a representação esquemática da máquina de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa, de acordo com o modelo de equipamento escolhido para ser construído neste trabalho, identificando suas peças e componentes. Um dispositivo como o da Figura 4 é utilizado pelo Laboratório de Engenharia de Superfícies do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Esse grupo possui experiência na análise de resistência ao desgaste associada a materiais. Vários estudos tiveram seus resultados obtidos através de um equipamento com esta configuração estrutural (CRUZ, 2008; FREITAS, 2013; COSTA, 2016; FREITAS et al., 2013; COSTA et al., 2016). A configuração deste equipamento caracteriza-se por ser de simples concepção e, além disso, pode ser composta por componentes de fácil aquisição e de grande oferta no mercado, como os rolamentos e as esferas utilizadas para desgastar o corpo de prova. As peças que tiveram que ser usinadas especificamente para este equipamento, como placas estruturais e eixos, por terem uma geometria relativamente simples, puderam ser fabricadas no laboratório de máquinas operatrizes da faculdade de engenharia mecânica da Universidade Federal do Pará, dispensando custos com a terceirização desses serviços. O material escolhido foi o aço SAE 1020, que é um material de baixo custo e atende à rigidez requerida pelo equipamento (SANTOS et al., 2015).

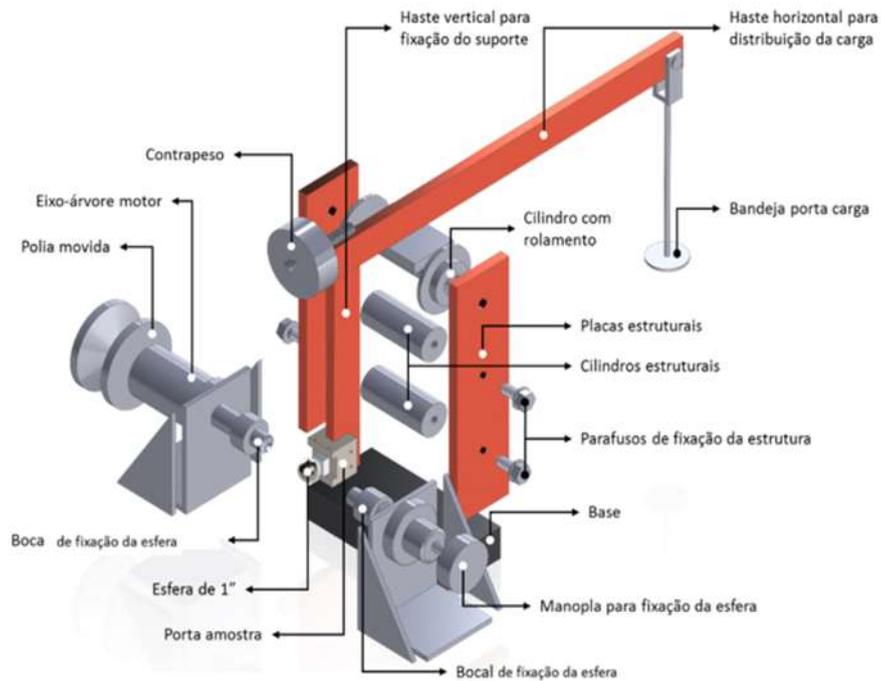


Figura 4: Representação esquemática das peças e componentes.

As esferas utilizadas nos ensaios de desgaste são de aço AISI 52100 (usadas para rolamentos) com dureza de 850 HV e diâmetro de uma polegada (25,4 mm), conforme ratificado na literatura (COSTA, 2016; FREITAS, 2013; OLIVEIRA, 2015; SANTOS et al., 2015).

Segundo Freitas (2013), neste modelo de equipamento, para a realização dos ensaios, as amostras são fixadas a um porta-amostra, o contrapeso é movimentado para que se alcance um equilíbrio entre ele e a carga que está na bandeja porta carga (semelhantemente a uma alavanca interfixa quando duas forças, cada uma em uma extremidade da mesma, produzem torques de módulos iguais em relação ao ponto de apoio) e então as etapas seguintes são rigorosamente aplicadas:

- A cada mudança de tempo de experimento a amostra é limpa e realinhada para uma nova posição de ensaio.
- A esfera fixa deve ser rotacionada em, aproximadamente, 30° para evitar que o próximo tempo de ensaio seja prejudicado pela marca na esfera do ensaio anterior.
- A esfera deve ser usada apenas para três ensaios consecutivos, evitando a sobreposição da trilha de desgaste.
- A limpeza deve ser realizada com álcool etílico a cada mudança de tempo de ensaio, evitando qualquer influência nos resultados.

- O volume de desgaste é calculado a partir da calota resultante do ensaio a partir de um diâmetro médio obtido através de 4 medições de diâmetro.

2.2. SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Quando se aplica uma carga (P), levando-se em conta os braços X e Y , pode-se obter a força normal (N) que será imposta, pela esfera de diâmetro D e velocidade angular ω , ou rotação por minuto RPM, sobre a amostra através de uma reação. Assim, conseqüentemente, gera-se uma velocidade tangencial (V_t) e uma força de atrito (Fat) associada a um coeficiente de atrito (μ). Observe a Figura 5.

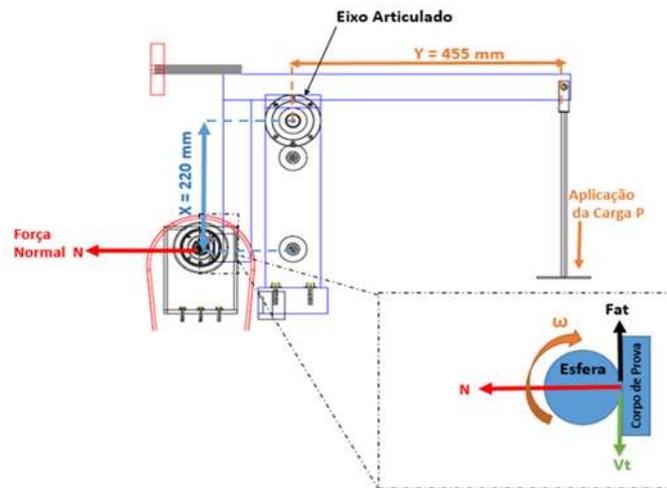


Figura 5: Dimensões e esforços utilizados para a seleção do motor.

As dimensões dos braços X (220 mm) e Y (455 mm) foram definidas após observações em equipamentos utilizados por outros autores (CRUZ, 2008; FREITAS, 2013; COSTA, 2016) de forma que se optou por escolher tamanhos semelhantes. Para a seleção do motor elétrico foram utilizadas as equações sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Equações utilizadas para o dimensionamento do motor a ser instalado.

Parâmetro	Símbolo	Equação	Nº da Equação
Força Normal	N	$N = \frac{P \times Y}{X}$	(2)
Força de Atrito	Fat	$Fat = \mu_{crítico} \times N$	(3)
Velocidade Tangencial	V_t	$V_t = \frac{\pi D \times RPM}{60}$	(4)

Potência Necessária	Pot	$Pot = V_t \times Fat$	(5)
---------------------	-----	------------------------	-----

2.3. VERIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Para a validação do equipamento, foram realizados ensaios no equipamento construído neste trabalho bem como a correlação da resistência ao desgaste com parâmetros quantificadores da microestrutura de solidificação, a fim de se reproduzir resultados semelhantes aos obtidos por outro autor, Freitas (2013), que ensaiou peças do mesmo lingote utilizado neste estudo, conforme o fluxograma apresentado na Figura 6. A liga ensaiada foi obtida e caracterizada, com relação à microestrutura, por Silva (2011). É importante mencionar que Freitas (2013) não utilizou pasta abrasiva em seus ensaios, pois um de seus objetivos era justamente avaliar as características autolubrificantes das ligas analisadas, portanto, neste trabalho também não será utilizada pasta abrasiva.

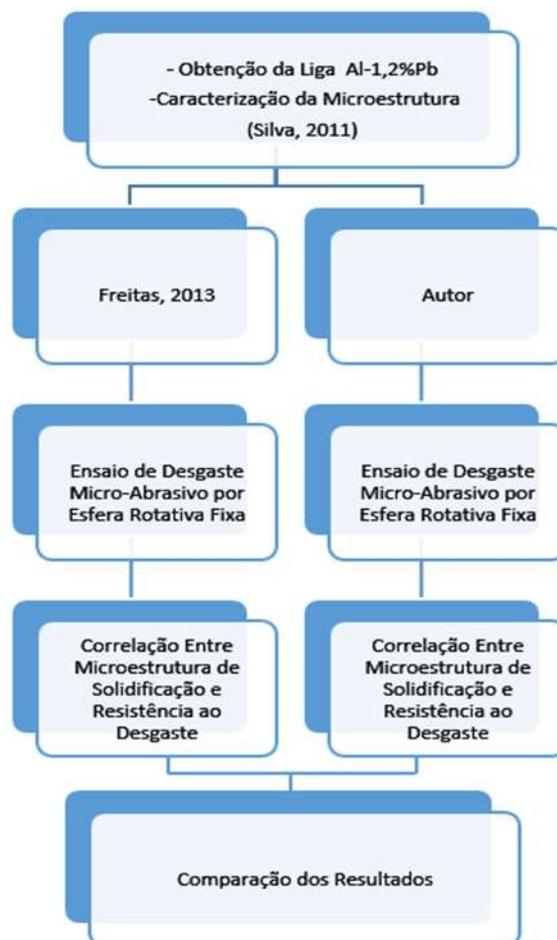


Figura 6: Metodologia utilizada para verificação do equipamento.

A seguir são listados os parâmetros utilizados no trabalho de desgaste realizado por Freitas (2013):

- Corpos de prova de uma liga Al-1,2%Pb caracterizada por Silva (2011)
- Força normal de 0,36 N;
- Rotação de 260 RPM;
- Tempos de ensaio de 10-20-30-40 minutos em cada uma das posições 1, 5, 10, 15 e 20 mm, que possuem estrutura globular, a partir da interface metal/molde. Essa análise foi realizada na seção transversal do lingote;
- Distâncias percorridas (DP) de 207 m para o tempo de 10 minutos, 415 m para o tempo de 20 minutos, 622 m para o tempo de 30 minutos e 829 m para o tempo de 40 minutos.

A distância percorrida (DP) é obtida através da multiplicação da velocidade tangencial periférica da esfera pelo tempo de ensaio. Em ambos os ensaios citados acima, como a rotação e o raio da esfera (12,7 mm) são fixos, a velocidade tangencial periférica também será fixa, assim, a distância percorrida (DP) irá variar de acordo com o tempo de ensaio.

Neste trabalho foram realizados ensaios de desgaste através do dispositivo construído, com os seguintes parâmetros:

- Corpos de prova de uma liga Al-1,2%Pb caracterizada por Silva (2011)
- Força Normal (N) de 0,5 N
- Rotação (ω) de 280 RPM obtida através uma relação entre a polia motora, acoplada ao motor, e a polia movida, acoplada ao eixo árvore.
- Tempos de ensaio de 20-30-40 min nas posições 5, 10, 15 e 20 mm, que possuem estrutura globular, a partir da interface metal/molde. Essa análise foi realizada na seção transversal do lingote em cada posição já mencionada.
- Distâncias percorridas (DP) de 447 m para o tempo de 20 minutos, 670 m para o tempo de 30 minutos e 894 m para o tempo de 40 minutos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a seleção das peças e componentes integrantes do equipamento, realizou-se a seleção do motor elétrico, que foi feita supondo-se condições críticas de ensaio no que tange à Carga (P), Velocidade

tangencial (V_t), Rotação (ω) e Coeficiente de atrito (μ). A etapa seguinte consistiu em fabricar os componentes e montar o equipamento. Por fim, foi realizada a verificação do equipamento.

3.1. SELEÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Para a seleção do motor elétrico foi necessário saber qual seria a potência máxima exigida no decorrer de um ensaio realizado em condições críticas. Utilizou-se as equações da Tabela 1. A potência (Pot) exigida durante os ensaios é dada pela Equação 5.

$$\text{Pot} = \text{Fat} \cdot V_t \quad (5)$$

Onde: Fat é a força de atrito

V_t é a velocidade tangencial periférica da esfera.

A força de atrito (Fat) é dada pela Equação 3.

$$\text{Fat} = \mu \cdot N \quad (3)$$

nde: μ é o coeficiente de atrito dinâmico entre a esfera rotativa e o corpo de prova.

N é a força normal.

A condição crítica do coeficiente de atrito foi definida como $\mu = 1$.

Na literatura alguns autores como Freitas (2013) e Costa (2016) utilizam a rotação de 260 RPM para ensaiar ligas à base de alumínio. A carga (P) utilizada por esses dois autores é de 0,2 N. Eles executaram ensaios em uma máquina, similar ao equipamento construído neste estudo, em que a força normal (N), devido aos tamanhos dos braços de alavanca do equipamento utilizado por eles, é 1,8 vezes maior que a carga (P), ou seja, Freitas (2013) e Costa (2016) utilizaram em seus trabalhos a força normal (N) de 0,36 N.

Santos et al. (2015) ao ensaiar, em um equipamento de ensaio de desgaste microabrasivo por esfera rotativa fixa, o aço AISI 420 temperado após austenitização a 1050 °C, com dureza de 55 HRC, utilizou a rotação de 1493 RPM e carga de 16,7 N, no caso do equipamento utilizado por esse autor a carga imposta corresponde à força normal aplicada para que ocorra o contato entre a esfera e o corpo de prova.

Apesar de o presente trabalho ensaiar uma liga à base de alumínio (Al-1,2%Pb), é interessante estabelecer condições críticas de ensaio que venham a suprir necessidades caso, futuramente, se

queira realizar experimentos em ligas mais duras, como aço, por exemplo. Dessa forma, a condição crítica da carga (P) foi definida como 9,67 N, que corresponde a força normal (N) de 20 N (Equação 2). Então, a partir da Equação 3, tem-se:

$$F_{at} = 1 \cdot 20 = 20 \text{ N} \quad (6)$$

A condição crítica de rotação por minuto foi definida como 1620 RPM. Sabendo que a velocidade periférica tangencial (V_t) é igual ao produto do raio da esfera ($R = 0,0127 \text{ m}$) pela velocidade angular (ω) (Equação 4) e substituindo a Equação 6 na Equação 5, obtêm-se:

$$Pot = 20 \cdot 1620 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0,0127 = 43 \text{ W} \quad (7)$$

Admitindo o rendimento dos rolamentos como 98% (η_{rol}), então a potência do motor (P_{mot}) é dada por:

Dessa forma, foi selecionado um motor monofásico que pode operar em 127 V do fabricante WEG com potência de 0,09 KW. Está é a potência disponível e está acima da potência necessária (0,043 KW).

3.2 CONFECÇÃO DOS COMPONENTES E MONTAGEM

Após a escolha do modelo a ser construído e da seleção do motor elétrico, peças como rolamentos, parafusos e polias foram adquiridas e outros componentes específicos para o equipamento foram confeccionados. Então sucedeu-se a montagem da máquina. A Figura 7 mostra a máquina de ensaio microabrasivo por esfera rotativa fixa construída neste trabalho, bem como os pontos de ação da carga aplicada (P) e da força normal (N) e os braços de alavanca (X e Y).

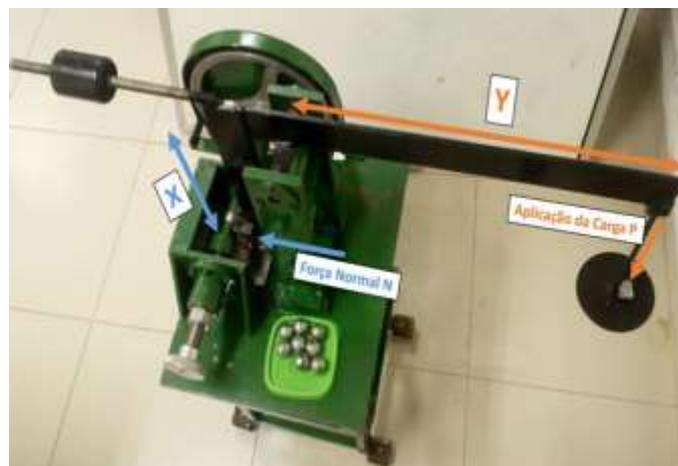


Figura 7: Máquina de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa construída neste trabalho.

O corpo-de-prova é fixado no porta-amostra através de parafusos. Há mais de um parafuso de fixação, caso seja necessário transladar a amostra na direção horizontal para ensaiar mais de uma vez a mesma peça (Figura 8).

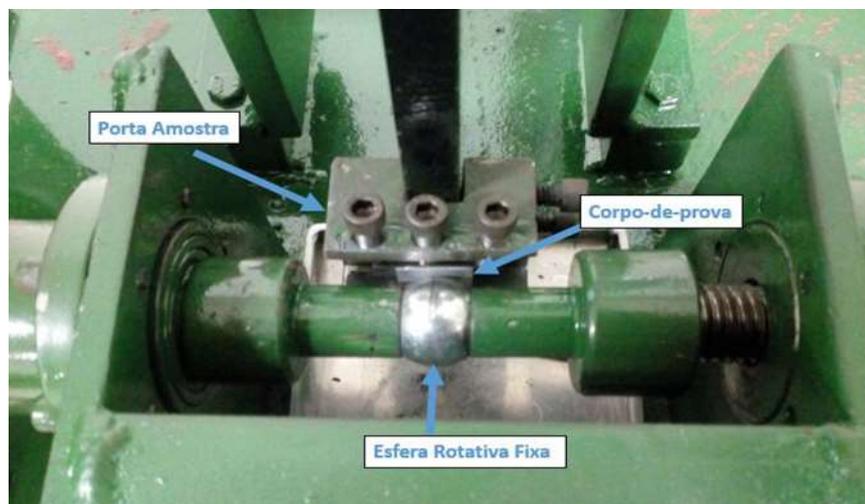
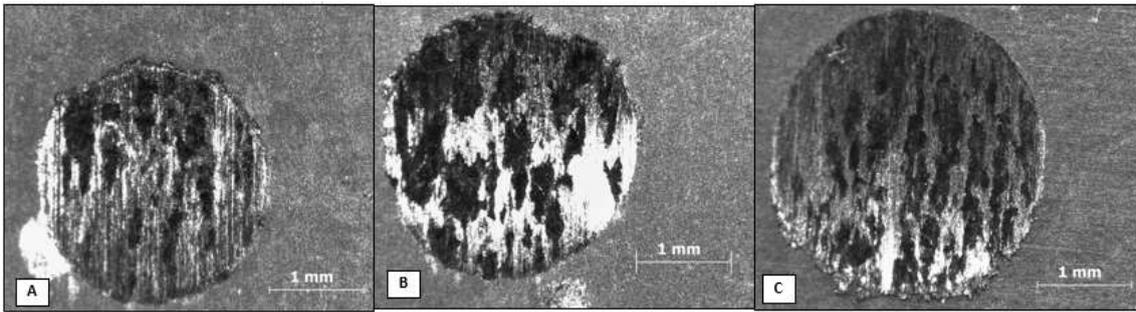


Figura 8: Contato entre a esfera e o corpo-de-prova.

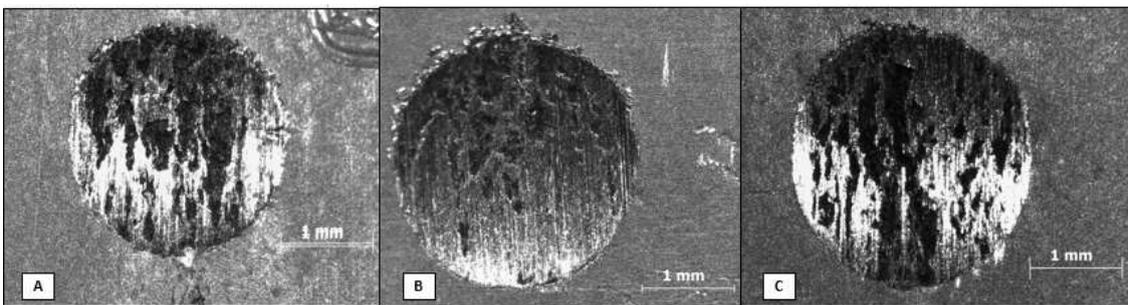
3.3 VALIDAÇÃO

A Figura 9 apresenta as imagens, obtidas através de microscopia óptica, das calotas resultantes dos ensaios de desgaste realizados no equipamento construído neste trabalho, nos diferentes tempos de ensaio (20, 30, e 40 minutos), para as amostras referente às posições do lingote. Pode-se observar que, para maiores tempos de ensaio, obtêm-se superfícies mais desgastadas.

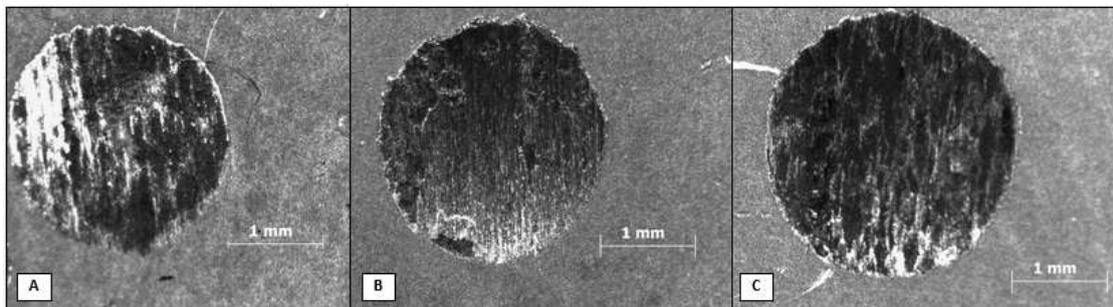
Posição 5 mm



Posição 10 mm



Posição 15 mm



Posição 20 mm

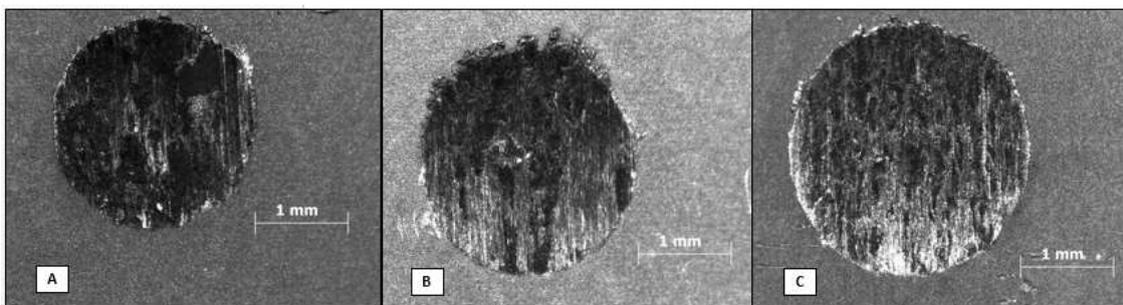


Figura 9: Impressão das calotas resultantes do ensaio de desgaste para a liga Al-1,2% Pb nas posições 5, 10, 15 e 20 mm para os tempos: (A) 20, (B) 30 e (C) 40 minutos.

Neste estudo, devido à limitação do equipamento no que tange à variação de velocidade do motor, utilizou-se uma rotação superior a dos ensaios de Freitas (2013), dessa forma, se impôs maiores distâncias percorridas em cada tempo, e, conseqüentemente, maiores volumes de desgaste em relação aos tempos de ensaio da citada autora. Além disso, também há diferença entre os valores de força normal utilizados em cada trabalho, sendo maior neste trabalho.

A Figura 10 mostra a relação de V em função de λ_G , espaçamento interfásico, obtida neste trabalho bem como a obtida por Freitas (2013).

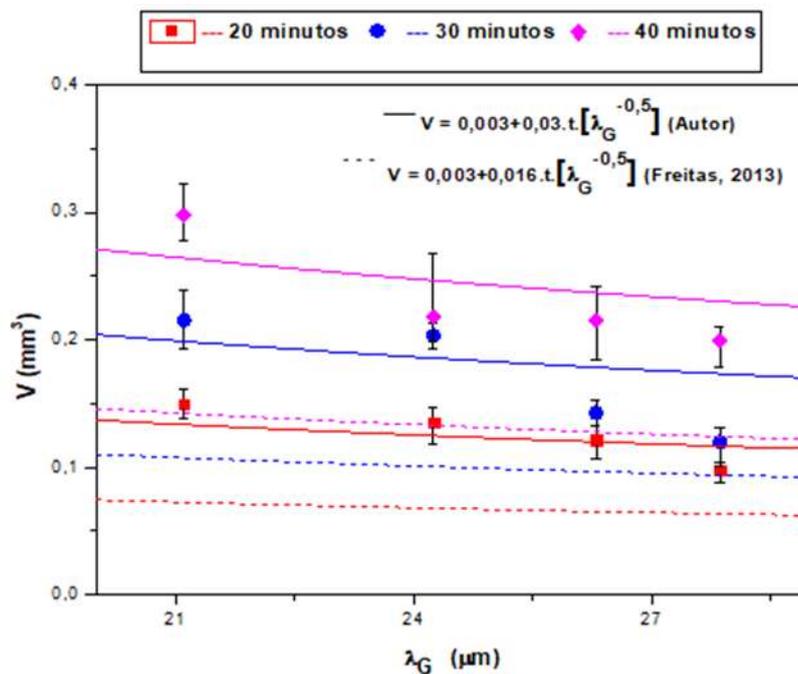


Figura 10: Volume de Desgaste (V) em Função de Espaçamento Interfásico (λ_G).

A partir do gráfico na Figura 10, nota-se que, para ambos os trabalhos, à medida que o tempo de ensaio aumenta o coeficiente angular da reta que relaciona o inverso da raiz quadrada de λ_G , com o volume de desgaste também aumenta. Este comportamento da curva mostra que, aumentando o tempo de desgaste, tem-se um aumento da influência de λ_G , sobre a resistência ao desgaste da liga analisada. Segundo Freitas (2013), de acordo com esse comportamento, torna-se viável a inserção do tempo de ensaio em uma lei experimental que relaciona V e λ_G , visto que se encontra uma constante comum para a liga resultante da razão entre o coeficiente angular e o tempo de ensaio das equações de ajuste aos pontos experimentais obtidas para os três tempos (neste caso, o valor da constante é de 0,03). Esta constante funciona como um fator de proporcionalidade entre o coeficiente angular e o tempo de ensaio, ou seja:

$$V = 0,003 + 0,03 \cdot t [\lambda_G^{-0,5}] \quad (9)$$

Na Equação 9, o tempo (t) deve ser inserido em minutos e o espaçamento interfásico (λ_G) em μm para o volume de desgaste (V) ser obtido em mm^3 .

A diferença entre o valor da constante obtida neste estudo, 0,03, e a obtida por Freitas (2013), 0,016, pode estar relacionada às diferenças de parâmetros adotados em cada trabalho (Rotação e Carga). A mesma forma de correlação de V com $\lambda_G^{-0,5}$ e t também foi obtida para ligas do sistema Al-Sn de microestruturas tipicamente dendríticas, estudadas por Cruz (2008).

4. CONCLUSÃO

Baseado nas investigações teóricas realizadas e nos resultados obtidos ao longo deste trabalho, tendo como referência os demais estudos contidos na literatura sobre o assunto, podem ser extraídas as seguintes conclusões:

- A máquina de desgaste construída forneceu resultados plausíveis e as calotas obtidas apresentaram bons aspectos superficiais e geométricos.
- Ao se comparar os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos por Freitas (2013), percebeu-se que as curvas V (λ_G), para todos os tempos (20, 30 e 40 minutos) apresentaram um comportamento semelhante nos dois estudos, isto é, o volume desgastado (V) diminuiu com o aumento do espaçamento interfásico (λ_G).
- Ainda com relação à comparação entre os dois trabalhos citados anteriormente, em ambos, tornou-se viável a inserção do tempo (t) de ensaio, em minutos, em uma lei experimental que relaciona V, em mm^3 , e (λ_G), em μm (Tabela 2). A diferença entre o valor da constante obtida neste estudo, 0,03, e a obtida por Freitas (2013), 0,016, pode estar relacionada às diferenças de parâmetros adotadas em cada trabalho (Rotação e Carga).

Tabela 2: Equações obtidas neste trabalho e por Freitas (2013).

Autor	Freitas (2013)
$V = 0,003 + 0,03 \cdot t [\lambda_G^{-0,5}]$ (9)	$V = 0,003 + 0,016 \cdot t [\lambda_G^{-0,5}]$ (10)

- A máquina pode ser utilizada para realização de ensaios de desgaste com parâmetros que estejam dentro das condições críticas definidas durante o dimensionamento da mesma.

5.AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pelo IFPA, UFPA, CAPES e CNPq para o desenvolvimento deste trabalho

6. REFERÊNCIAS

ASTM G40. American Society For Testing Materials. Standard Terminology relating to wear and erosion. West Conshorocken: ASTM: 1996.

BOSE, K. WOOD, R. J. K. 2005. Optimum Tests Conditions for Attaining Uniform Rolling Abrasion in Ball Cratering Tests on Hard Coatings. *Wear*, 258, 322–332.

CHALMERS, B. 1968. The Structure of Ingots. *The Journal of the Australian Institute of Metals*. 8: 255.

CHENG, Y.H.;BROWNE, T.; HECKERMAN, B. 2011. Mechanical and Tribological Properties of CrN Coatings Deposited by Large Area Filtered Cathodic Arc. *Wear*, 271, 775– 782.

CARMERINI, R. V.; SOUZA, B. S.; CARLI, F.; PEREIRA, A. S.; BALZARETTI, N. M. 2011. Ball Cratering Tests On Ductile Materials. *Wear*, 271, 770– 774.

CHALMERS, B. The structure of ingots. *The Journal of the Australian Institute of Metals*. 8: 255, 1968.

COSTA, T. A. P. S. 2016. Microestruturas de Solidificação e Resistência ao Desgaste de Ligas Monotéticas Al-Bi-Sn. Tese de Doutorado. Universidades Estadual de Campinas.

COSTA T. A.; DIAS M, FREITAS ES, CASTELETTI LC, GARCIA A. The effect of microstructure length scale on dry sliding wear behaviour of monotectic Al-Bi-Sn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 689, p. 767-76, 2016.

COZZA R. C.; SUZUKI RDS, SCHÖN CG. 2014. Projeto, Construção e Validação De Um Equipamento De Ensaio De Desgaste Micro-Abrasivo Por Esfera Rotativa Livre Para a Medição Do Coeficiente De Atrito. *Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração*, 11(2), 117-24.

COZZA, R. C. 2013. A Study on Friction Coefficient and Wear Coefficient of Coated Systems Submitted to Micro-Scale Abrasion Tests. *Surface & Coatings Technology*, 215, 224–233.

COZZA, R. C. 2009. Friction Coefficient and Abrasive Wear Modes in Ball-Cratering Tests Conducted at Constant Normal Force and Constant Pressure - Preliminary results. *Wear*, 267, 61–70.

CRUZ, K. A. S. 2008. Microestrutura de Solidificação, Resistências Mecânica e ao Desgaste de Ligas Al-Sn e Al-Si, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.

DIETER, George E. 1988. *Mechanical metallurgy*. SI Metric Edition. United States, McGraw-Hill Education.

FREITAS, E. S. F. 2013. Desenvolvimento de Correlações entre Microestruturas de Solidificação e Resistências ao Desgaste e à Corrosão. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.

FREITAS, E. S.; SPINELLI, J. E.; CASTELETTI, L. C.; GARCIA, A. Microstructure wear behavior correlation on a directionally solidified Al-In monotectic alloy. *Tribology International*, v. 66, p. 182-186, 2013.

HUTCHINGS, I. M. 1992. *Tribology. Friction and Wear of Engineering Materials*, London, Butterworth Heinemann.

KAMAL, M.; EL-BEDIWI, A.; FOUHA, S. E. 2013. Structural and Mechanical Characteristics of Al-Pb Alloys produced by chill-Block melt spinning. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 13, 06.

KONNO, C. Y. N. 2015. Caracterização Da Liga Monotética Al-1,2%Pb Solidificada Em Regime Transitório: Propriedades Microestruturais, Microdureza e Usinabilidade. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.

LEROY, C.; SCHIFFMANN, K.I.; VAN ACKERC, K.; VON STEBUTA, J. 2005. Ball Cratering an Efficient Tool for 3 Body Microabrasion of Coated Systems. *Surface & Coatings Technology*, 200, 153–156.

LUO D. B.; FRIDRICI, V.; KAPSA, PH. 2011. A Systematic Approach for The Selection of Tribological Coatings. *Wear*, 271, 2132–2143.

LUO D. B.; FRIDRICI, V.; KAPSA, PH. 2010. Relationships Between the Fretting Wear Behavior and the Ball Cratering Resistance of Solid Lubricant Coatings. *Surface & Coatings Technology* 204, 1259–1269.

O'DELL, S. P.; DING, G. I.; TEWARI, S. N. 1999. Cell/dendrite Distribution Directionally Solidified Hypoeutectic Pb-Sb alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30(A), 2159-2165.

OLIVEIRA, D. L. 2015. Construção de um Equipamento de Ensaio de Desgaste Micro-abrasivo por Esfera Rotativa fixa para Análise do Desgaste em Revestimento Duro Aplicado por Soldagem. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

PRINZ, B.; ROMERO, A.; RATKE, L. Casting Process for Hypermonotectic Alloys Under Terrestrial Conditions. 1995. *Journal of Materials Science*, 30, 4715-4719.

QUARESMA, J.M.V.; SANTOS, C. A.; GARCIA, A. 2000. Correlation Between Unsteady-State Solidification Conditions, Dendrite Spacings and Mechanical Properties of Al-Cu alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 31(A), 3167-3178.

ROOY, E. L. *Metals Handbook*. 9th ed. Materials Park. Ohio: ASM International, pp. 743-770 (1998).

SANTOS, W. C.; NETO, J. O. P.; SILVA, R. O.; RODRIGUÊS, G.; MORETO, A. M.; MANFRINATO, M. D.; ROSSINO, L. S. 2015. Desenvolvimento de Dispositivo e Estudo do Comportamento ao Microdesgaste Abrasivo do aço AISI 420 temperado e revenido. *Revista Matéria*, 20(2), 304-315.

SILVA, M. A. P. S. 2011. Solidificação Transitória de Ligas dos Sistemas Monotéticos Al-Bi, Al-Pb e Al-In. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.

STACHOWIAK G.B.; STACHOWIAK, G.W.; BRANDT, J.M. 2006. Ball-cratering Abrasion Tests with Large Abrasive Particles. *Tribology International*, 39, 1–11.

Capítulo 6



10.37423/211205122

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE AREIA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS E NA RESISTÊNCIA A DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE UMA MISTURA ASFÁLTICA

Silvio Lisboa Schuster

Universidade Federal de Santa Maria

Chaveli Brondani

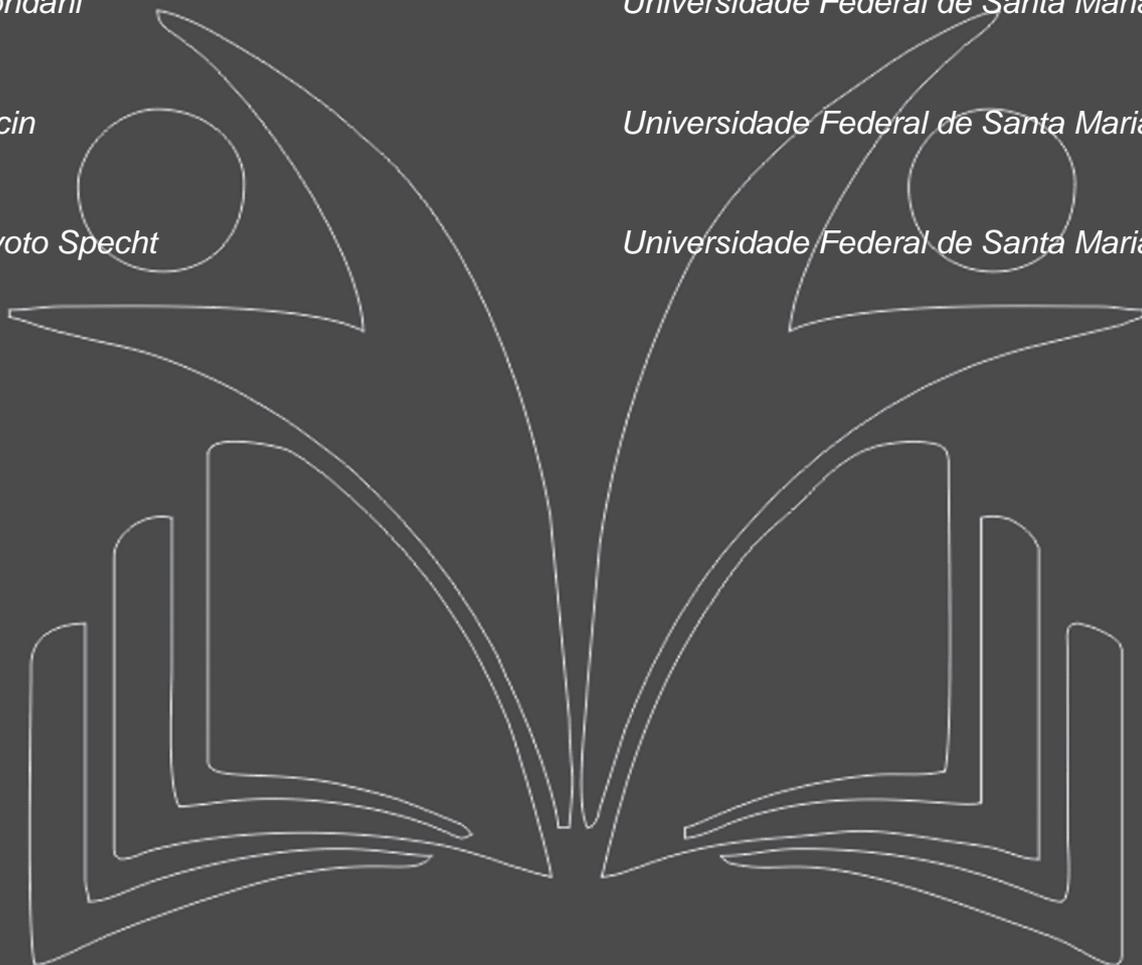
Universidade Federal de Santa Maria

Cléber Faccin

Universidade Federal de Santa Maria

Luciano Pivoto Specht

Universidade Federal de Santa Maria



Resumo. Frente ao fato da incidência de problemas de deformação permanente nos revestimentos asfálticos, e sendo consensual que as propriedades dos agregados afetam o comportamento no que diz respeito à resistência ao ATR, o estudo buscou melhor verificar a significância na resposta mecânica das misturas dosadas com diferentes porcentagens de areia natural frente às deformações permanentes. Para verificar a influência que essas propriedades acarretariam na resistência ao ATR, construíram-se quatro composições, sendo a primeira sem areia, a segunda com 2% de areia, a terceira com 4% de areia, e a quarta com 6% de areia. Assim, após analisados os resultados, verificou-se uma queda de aproximadamente 10% na rigidez das misturas. Já os dados provenientes do ensaio uniaxial de carga repetida mostraram que à medida que aumentamos a quantidade de areia, o parâmetro FN diminui, revelando que a ruptura se dá antecipadamente quando comparada a mistura de referência sem areia.

Palavras-chave: Misturas Asfálticas. Deformação permanente. Areia Natural.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento das misturas asfálticas a deformação permanente é um fenômeno bastante complexo, e é intimamente influenciado pelas características dos agregados e pelo ligante utilizado. Segundo Jolivet e Mallot (2000), este é um processo que transcorre de forma simultânea, envolvendo a deformação viscosa do ligante asfáltico e a deformação plástica do esqueleto mineral. Medina e Motta (2015) relatam que há grande influência do tipo de ligante utilizado na massa asfáltica, mas é a granulometria do agregado o fator que dita o desempenho da mistura no que diz respeito às deformações permanentes.

Sabe-se também que além da granulometria, a textura do agregado é crucial para o comportamento do revestimento asfáltico. Uge e Van de Loo (1974) expõem que misturas preparadas com agregados angulosos apresentam afundamentos menores, e maior estabilidade quando comparadas com agregados arredondados.

Sabendo que, para atender os limites da curva granulométrica IV B do Instituto do Asfalto norte americano, e adotada pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) do estado do Rio Grande do Sul se faz muitas vezes necessário o uso da areia natural, de formato menos anguloso e mais arredondado no enquadramento granulométrico, e visto que, o problema de deformação permanente de trilha de roda é corriqueiro nas estradas brasileiras (Nascimento 2008), e que os agregados utilizados são elementos de elevada importância no comportamento das misturas asfálticas, é de grande interesse que se desenvolvam pesquisas que explorem este tema, de tal modo que, com estes estudos, podem ser obtidos avanços no entendimento do complexo processo que rege o comportamento das misturas asfálticas.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é, através de ensaios laboratoriais mecânicos, como o ensaio de módulo de resiliência, o ensaio de resistência a tração por compressão diametral, e o parâmetro *flow number*, oriundo do ensaio uniaxial de carga repetida, analisar a influência da substituição de diferentes porcentagens de agregado fino britado por areia natural, em misturas asfálticas, de modo a poder inferir sobre o comportamento mecânico das misturas e a resistência destas as deformações permanentes, além de verificar a possível existência de um limite máximo de teor de areia natural nas misturas asfálticas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFORMAÇÃO PERMANENTE

A deformação permanente, também conhecida como afundamento de trilha de roda (ATR), é um dos defeitos mais comuns encontrados nos pavimentos asfálticos. Ela pode ser definida como o acúmulo irreversível de pequenas quantidades de deformações, levando a uma distorção da superfície do pavimento, resultante da aplicação de carga dos veículos. Esta distorção aparece tipicamente como depressões longitudinais em trilhas de roda, geralmente acompanhadas de elevações laterais adjacentes ao trilho.

Conforme a magnitude das cargas e a resistência das camadas que compõem o pavimento, a deformação permanente pode ocorrer no subleito, nas camadas de base, ou nas camadas asfálticas do revestimento. Este estudo trata apenas sobre a deformação permanente no que se refere aquelas advindas da camada de revestimento asfáltico.

Yoder & Witczac (1975), Souza (1991) e Mohamoud & Bahia (2004), relatam que a deformação permanente é causada pela combinação da densificação da massa asfáltica e consequente redução de volume, e pela deformação cisalhante da mesma.

Eisemann & Hilmer (1987), compartilham da mesma opinião, também dividindo o processo em dois estágios distintos. Em um primeiro momento, as solicitações do tráfego induzem a deformações irreversíveis abaixo dos pneus, sem que haja a ocorrência de elevações laterais adjacentes, havendo dessa maneira, redução de volume e indicando a ocorrência de densificação, e posteriormente, no segundo estágio, o decréscimo de volume abaixo dos pneus passa a ser igual ao incremento de volume nas elevações laterais, indicando deformação causada por cisalhamento da massa asfáltica.

Sabe-se também que os mecanismos que regem ambos os estágios do comportamento das misturas asfálticas em termos de deformação permanente são influenciados principalmente pelas características dos agregados, na parcela que envolve a deformação plástica do esqueleto mineral, e pelo ligante asfáltico utilizado, envolvendo a deformação viscosa do mesmo, devido seu comportamento viscoelástico (Jolivet & Mallot, 2000).

Na literatura corrente, através de experimentos laboratoriais e experiências em campo, há um forte consenso de que os agregados possuem importância fundamental para a obtenção de misturas de alto desempenho. Nestas misturas, as propriedades intrínsecas aos agregados estão diretamente ligadas

ao desempenho do concreto asfáltico, tais como: deformação permanente, fissuras por fadiga, durabilidade, permeabilidade e trabalhabilidade.

Influência dos agregados na resistência as deformações permanentes

O afundamento de trilha de roda em misturas asfálticas acontece especialmente em faixas de temperaturas próximas e acima de 60°C, como consequência da redução da rigidez do ligante asfáltico. Com o ligante menos rígido e a mistura asfáltica herdando seu comportamento e, portanto, tornando-se também menos rígida, o esqueleto mineral passa a ser o principal agente responsável pela resistência o ATR.

A *Federal Highway Administration* (FHWA, 2002) cita que os agregados respondem por 80% da responsabilidade de prevenir este tipo de defeito. Isso demonstra a importância da utilização de bons agregados e de um esqueleto mineral bem dimensionado na mistura asfáltica.

Stakston (2002) estudou a influência da angularidade dos agregados finos na estabilidade de misturas asfálticas. Sua conclusão foi que as propriedades dos agregados que mais influenciam o comportamento das misturas são a granulometria e a angularidade.

Conforme disserta Roberts et. al. (1996), a granulometria apresentada pelos agregados é considerada a sua propriedade mais importante, pois afeta diretamente as principais propriedades das misturas asfálticas, entre elas: a rigidez, a estabilidade, a durabilidade, a permeabilidade, a resistência a fadiga, o atrito e a resistência a umidade.

No que diz respeito ao afundamento de trilha de roda, a granulometria exerce importante influência na resistência as deformações. Misturas asfálticas compostas de diferentes granulometrias, mas de similar composição mineralógica exibem comportamento significativamente diferentes a deformações permanentes (KANDHAL & MALLICK, 1999).

Influência da areia natural

Visto que para este estudo busca-se verificar a influência de areia natural frente ao ATR, e que as distintas composições mineralógicas utilizadas para a pesquisa apresentam textura superficial díspares, se faz pertinente entender o possível efeito que está diferença poderá ocasionar no comportamento do concreto asfáltico.

Para uma boa resistência ao ATR, a textura superficial dos agregados e a angularidade se mostram extremamente importantes. Partículas mais angulares exibem maior intertravamento e atrito interno

do que partículas arredondadas, o que resulta em maior estabilidade mecânica. Tal fato indica que o contato entre as partículas de agregados também afeta o comportamento das misturas asfálticas.

Diversos estudos dissertam acerca da influência das propriedades dos agregados no comportamento das misturas asfálticas. Roberts et. al. (1996) afirma que o aumento da resistência ao cisalhamento da mistura asfáltica pode ser alcançado através do uso de agregados de qualidade, com maiores tamanhos nominais máximos, angulares e com textura rugosa, fatores estes que intensificam o contato entre as partículas.

Kim et. al. (1992) relata que o tipo de agregado utilizado tem efeito direto na estabilidade da mistura e que o melhor intertravamento na mistura a partir de partículas mais angulares, resulta em menores deformações permanentes.

Uge & Van de Loo (1974) reportaram que misturas preparadas com agregados angulosos (obtidos por britagem) apresentaram deformações permanentes menores e maior estabilidade quando confrontadas com misturas de mesma composição e granulometria, porém compostas por agregados arredondados. De acordo com os autores, misturas mais estáveis foram feitas com agregados britados, enquanto que o uso de agregados naturais resultou em misturas mais susceptíveis ao ATR.

Segundo Roberts et al. (1996), misturas asfálticas com quantidades elevadas de areias naturais ou agregados não-britados possuem baixa estabilidade e são susceptíveis à grandes afundamentos, visto que as areias naturais são frequentemente arredondadas, e levam a uma perda geral de desempenho do material asfáltico.

Brousseau et. al. (1993) verificou que a redução da fração de areia natural implicava diretamente na redução da deformação permanente, e que a utilização de agregado britado, ao invés de seixos naturais trazia uma melhora considerável a resistência ao afundamento de trilha de roda.

Além destes, Kalcheff & Tunnicliff (1982) também investigaram o efeito dos agregados britados nas propriedades do revestimento asfáltico. Concluíram que misturas contendo agregados britados são mais resistentes ao ATR, e muito menos suscetíveis aos efeitos da temperatura e do alto volume de vazios inicial quando comparadas a misturas dosadas com areia natural.

2.2 ENSAIOS

Os ensaios mecânicos laboratoriais aplicados as misturas asfálticas configuram-se neste trabalho, através do objetivo de caracterizar o comportamento destas misturas no que diz respeito às deformações permanentes.

Optou-se por realizar os ensaios de módulo de resiliência como indicador de rigidez, e resistência à tração por compressão diametral, por serem de uso corrente no cenário atual, e que se apresentam melhores detalhados no trabalho de Schuster (2016). Além desses também se realizou o ensaio uniaxial de carga repetida, para avaliarmos a resistência das misturas ao dano induzido, através do parâmetro *Flow Number*, simulando a ação do tráfego incidente no revestimento.

Ensaio uniaxial de cargas repetidas – Flow Number

O ensaio uniaxial de carga repetida consiste no emprego de um carregamento cíclico de compressão em que se obtém a deformação permanente da amostra em função do número de ciclos correspondentes. O método de ensaio prevê que, além da aplicação da carga de 204kPa, as amostras possuam dimensões de 10 centímetros de diâmetro por 15 centímetros de altura, e as leituras de deformação acumulada ao final de cada período de repouso sejam feitas por no mínimo dois transdutores de medida de deslocamento fixados na região central da superfície lateral das amostras, além disso a temperatura durante o ensaio deve ser controlada em 60 °C.

O resultado do ensaio mostra-se através da curva de deformação plástica vertical uniaxial em um plano de deformação permanente acumulada por número de ciclos aplicados. Nesta curva a deformação permanente acumulada pode ser dividida em três regiões distintas. Sendo elas: a zona primária, a zona secundária, e a zona terciária. (Fig. 1).

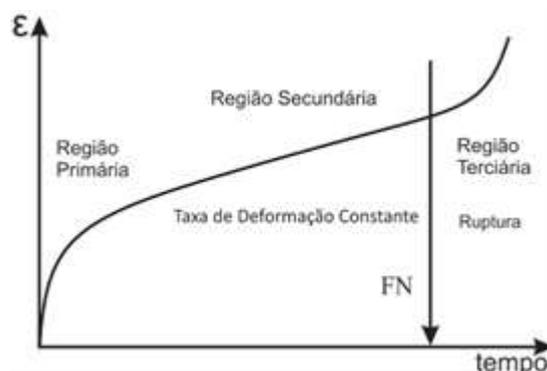


Figura 1 - Deformação permanente durante o ensaio uniaxial de carga repetida, e obtenção do FN

O ensaio uniaxial de carga repetida apresenta parâmetros interessantes no que diz respeito o estudo de deformações permanentes, entretanto, entre todas as análises que podem ser feitas através da curva de deformação plástica vertical uniaxial, Witczak et. al. (2002) cita que o *flow number* é o parâmetro oriundo deste ensaio que melhor se relaciona com a deformação permanente, apresentando correlações entre valores ensaiados e valores obtidos em pistas testes, no relatório NCHRP 465.

O *flow number* é definido como o número de ciclos em que se inicia a zona terciária. A passagem da zona secundária para a terciária é a evidência de que ocorreu a ruptura do corpo de prova, e se da quando temos a inversão do sinal da derivada segunda da Equação 1, sendo então caracterizado o início do cisalhamento a volume constante.

$$\varepsilon_p(N) = AN^B + C(e^{DN} - 1) \quad (1)$$

Nascimento (2008) recomenda para tráfego médio um valor de FN @ 60°C (204 KPa) > 300 ciclos e para para tráfego pesado um FN @ 60°C (204 KPa) > 750 ciclos.

3. METODOLOGIA

Buscando contribuir na melhor compreensão acerca da influência da adição de areia natural nos revestimentos asfálticos, no que se refere os afundamentos de trilha de roda e o comportamento viscoelástico das misturas, o referente estudo se propôs a moldar em laboratório 60 corpos de prova, distribuídos em 4 faixas de composição distintas. Nestas faixas, se alterou somente a parcela de agregados miúdos, permutando nelas frações de agregado britado por areia natural. A rigor, foram avaliadas as seguintes condições: uma primeira mistura, onde 100% dos agregados miúdos foram constituídos de agregados britados; a segunda condição, em que foram permutados na fração fina 2% de agregados britados por areia natural, uma terceira condição, em que a troca correspondeu a 4%; e uma quarta e última combinação, onde se trocou 6% de agregado britado por areia natural. Todas as trocas ocorreram respectivamente na fração fina da mistura.

Para todas as faixas de composição granulométrica dosadas, foi utilizado o mesmo ligante asfáltico, sendo o CAP 50/70 o escolhido. Além disso, a parcela graúda do agregado permaneceu igual para todas as composições, de modo a mitigar qualquer efeito que esta fração pudesse vir a influenciar.

Desta forma, todos os corpos de prova foram moldados de modo que fossem o mais similares possível, alterando-se somente a parcela fina do material, de tal sorte a conseguir isolar o efeito da textura do agregado fino no comportamento referente às deformações permanentes das misturas asfálticas.

Em um primeiro momento, determinou-se a composição granulométrica dos agregados utilizados e procedeu-se com a construção da composição da mistura granulométrica, de tal forma que esta segue alguns parâmetros pressupostos, como: enquadrar-se dentro dos limites da Faixa C do DNIT, dentro da Faixa B do DAER-RS, e não passar sobre a zona de restrição proposta pelo programa SUPERPAVE.

Com a composição granulométrica da mistura ajustada, separaram-se os agregados em 10 frações distintas, além da areia natural. Posteriormente estes foram lavados e secos, com exceção do material passante na peneira #200. Após o material limpo, procedeu-se com os ensaios de densidade dos agregados para em seguida fazermos uso da metodologia Marshall para verificação do teor de ligante de projeto.

Devido a semelhança muito grande dos teores de ligante de projeto encontrados para as quatro diferentes misturas, resolveu-se fixar o teor de ligante, de modo que o volume de vazios então exibisse uma pequena variação.

Com o teor de ligante fixado, moldaram-se os 12 corpos de prova para o ensaio de *flow number*, estes com dimensões 10x15cm, e volume de vazios fixado em $7\% \pm 1\%$. Para os ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração (RT) foi utilizado as mesmas amostras moldadas para a dosagem *Marshall*.

Após todas as moldagens concluídas foram executados os ensaios propostos e então obtidos os dados necessários para a análise.

3.1 AGREGADOS MINERAIS UTILIZADOS

Os agregados escolhidos para este estudo dividem-se em dois grupos, distintos em diversos fatores, entre eles a composição mineralógica e o modo de obtenção.

O primeiro deles, o qual representa a maior parcela dos agregados minerais utilizados, foi obtido através do processo de britagem de rocha basáltica, encontrada na região geomorfológica da depressão central do Rio Grande do Sul (BOEIRA 2014), e coletado diretamente na unidade de produção do mesmo, com a pedra localizada na Rodovia BR 290, Km 30, no município de Santo Antônio da Patrulha – RS.

O segundo grupo de agregados minerais diz respeito a areia utilizada no estudo. A areia é obtida de forma natural através de um processo de intemperismo físico e químico que incide sobre esta ao longo de milhares de anos, de tal forma que suas partículas apresentam superfície mais arredondada que os agregados britados. A areia foi adquirida na areeira localizada na BR 392, Km 343, no município de Santa Maria - RS.

Foram utilizadas para a composição das misturas, as frações de agregado 3/4", 3/8", e pó de pedra para o material britado, e a fração passante na peneira #4 da material areia. Na Fig. 2, sem a utilização de escala, a fração retida na peneira #80, em que se pode observar as diferente texturas e angularidade de ambos os agregados, fato pressuposto para este estudo.



Figura 2 - Agregados retidos na peneira #80 utilizados no estudo

3.2 COMPOSIÇÕES E AJUSTE BAILEY

Com as quatro misturas distintas construídas, plotamos as curvas de composição granulométrica sobrepostas umas às outras, de maneira a melhor visualizar a semelhança entre elas (Fig. 3). Além disso, visando também uma melhor resistência as deformações permanentes enquadraram-se dentro do possível todas as quatro misturas aos critérios propostos pelo método Bailey, conforme pode ser visto na Tabela 1.

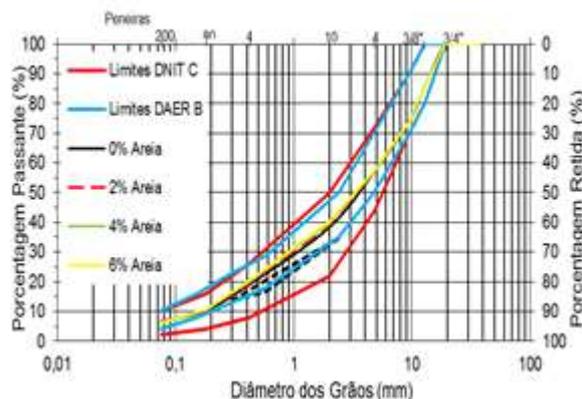


Figura 3 - Composição granulométrica das 4 misturas utilizadas

Tabela 1 - Limites do método Bailey

Limites	Proporção	Mistura			
		0%	2%	4%	6%
0,6 - 0,75	AG	0,65	0,65	0,64	0,64
0,35 - 0,5	GAF	0,50	0,51	0,51	0,52
0,35 - 0,5	FAF	0,52	0,52	0,52	0,52

Conforme os dados do ajuste Bailey vistos na Tabela 1, pode-se perceber que as quatro misturas se assemelham fortemente no que se refere à granulometria dos agregados empregados, podendo assim provar que a composição granulométrica não veio a exercer influência sobre os resultados encontrados durante a pesquisa.

3.3 DOSAGEM

Neste estudo, fez-se uso da metodologia Marshall para a dosagem da mistura, seguindo as diretrizes propostas na norma DNER - ME 043 (1995), que estabelece o procedimento para tal. Através de conhecimento prévio acerca do teor de ligante para os agregados utilizados, fixou-se que a dosagem para cada uma das quatro misturas seria feita para três teores de ligante distintos, sendo eles: 4,5%, 5,0%, 5,5%.

Foram então moldados três corpos de prova, mais uma mistura não compactada, para cada um dos teores, em cada uma das misturas. De tal forma, foram moldados 36 corpos de prova de dimensões 100mm de diâmetro por 63,5mm de altura, mais 12 misturas não compactadas para realização do ensaio de Rice.

Posteriormente, visto que as variações dos teores de projeto eram mínimas entre as quatro misturas, tomou-se o teor de ligante como sendo o teor médio entre cada uma delas, de modo que seu valor foi fixado em 4,85%.

Além dos corpos de prova utilizados para dosagem Marshall, foram moldadas mais 12 amostras com teor de ligante de 4,85% e com dimensões de 10x15cm, além de volume de vazios fixado em $7\% \pm 1\%$, utilizadas para o ensaio de *flow number*.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão demonstrados e analisados os resultados encontrados nos ensaios de módulo de resiliência, resistência a tração por compressão diametral e do Ensaio uniaxial de carga repetida – *Flow number*.

4.1 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

A Tabela 2 apresenta os valores de módulo de resiliência encontrados para cada uma das misturas, com seus respectivos teores de ligante. Os valores de MR foram obtidos através da média de três corpos de prova ensaiados sobre as mesmas condições, sendo o valor de cada um deles formado por ensaios a 0° e 90° .

Tabela 2 - Resultados de MR

<i>Mistura</i>	<i>Teor de Ligante (%)</i>	<i>MR (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>CV (%)</i>
0% Areia	4,5	6449,67	318,57	4,96
	5,0	5771,00	279,62	4,75
	5,5	4968,50	236,01	4,99
2% Areia	4,5	6189,00	382,93	7,12
	5,0	5856,00	302,84	5,13
	5,5	5066,17	298,96	5,65
4% Areia	4,5	6135,00	279,23	4,47
	5,0	5755,67	301,31	5,19
	5,5	4447,17	231,56	5,50
6% Areia	4,5	5511,67	230,08	4,27
	5,0	5398,00	283,58	5,15
	5,5	4430,50	273,44	5,95

Através da interpolação dos valores, encontrou-se o valor do módulo de resiliência para o teor de ligante de projeto, fixado em 4,85%, para cada uma das misturas (Fig. 4).

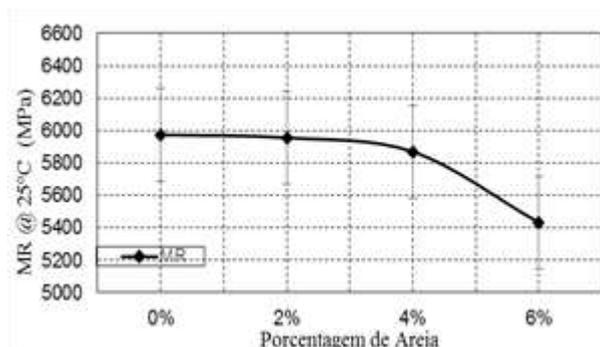


Figura 4 - Curva de resultados de MR para teor de ligante de 4,85%

Foi possível perceber que a medida que acrescentamos areia as misturas, estas apresentam queda nos valores de rigidez, sendo nítido uma alta taxa de decréscimo nos resultados a partir de uma adição de 3% de areia na massa de agregados.

Pode-se constatar fazendo uso da Figura 3, que os resultados para 0% de areia e 2% de areia são muito próximos, levando-nos a inferir que dentro desta faixa de trabalho, estas quantidades não comprometem os revestimentos em termos de rigidez. Já para porcentagens maiores de areia, é conclusivo que estamos levando às misturas a situações prejudiciais, visto a considerável queda da rigidez, da ordem de 10% quando comparamos a mistura sem areia com a mistura com 6% de areia adicionada.

4.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Conforme a média dos três corpos de prova ensaiados para cada mistura, obteve-se os resultados de RT a seguir expostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados de RT

Mistura	Teor (%)	RT (MPa)	DP	CV (%)
0% Areia	4,5	1,25	0,01	0,46
	5,0	1,31	0,01	1,09
	5,5	1,28	0,04	3,29
2% Areia	4,5	1,22	0,03	2,15
	5,0	1,36	0,08	5,59
	5,5	1,20	0,08	6,63
4% Areia	4,5	1,34	0,05	3,94
	5,0	1,37	0,05	3,40

	5,5	1,27	0,02	1,73
6% Areia	4,5	1,32	0,04	3,01
	5,0	1,41	0,07	4,88
	5,5	1,38	0,06	4,10

Assim, com estes resultados, interpolamos os valores de modo a encontrar a resistência a tração para o teor de ligante de projeto fixado anteriormente em 4,85% (Fig. 5).

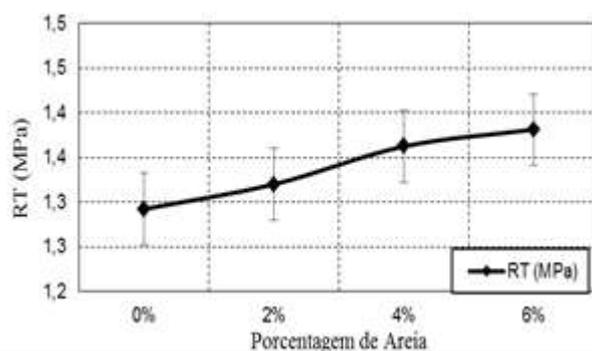


Figura 5 - Curva de resultados de RT para teor de ligante de 4,85%

Assim, foi possível observar uma leve melhora nos resultados de resistência à tração das misturas com a adição de areia natural, para o teor de ligante ótimo de projeto. Resultado esse que indica um possível aumento de resistência à fadiga da mistura, outro defeito comumente encontrado nos revestimentos brasileiros, e não tão esperado como consequência da adição de areia, sendo pertinentes mais estudos referentes à avaliação da fadiga em misturas com areia.

4.3 ENSAIO UNIAXIAL DE CARGA REPETIDA – FLOW NUMBER

Através dos resultados obtidos a partir da média dos dois LVDTs (*linear variable differential transformers*), foi possível gerar as curvas de deformação por número de ciclos para cada uma das misturas estudadas. A partir dos resultados de deformações, e fazendo uso do método de Francken, FRANCKEN (1977), foi possível encontrar o ciclo de carga correspondente ao *flow number*, apresentado na Tabela 4 para cada uma das amostras ensaiadas.

Tabela 4 - Resultados de FN

Mistura	CP	FN	Média	DP	CV (%)
0%	1	55	51	5,66	11,09
Areia	2	47			
2%	1	52	51	2,65	5,19
	2	48			
	3	53			
4%	1	38	43	4,58	10,66
	2	44			
	3	47			
6%	1	27	29	2,12	7,44
	2	30			

Fazendo uso destes dados foi possível então construir a curva com os resultados de *flow number* em função dos teores de areia adicionados a parcela fina da mistura (Fig. 6).

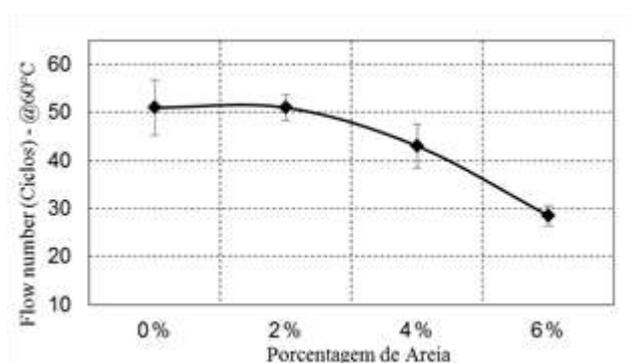


Figura 6 - Curva de resultados de FN

Desta forma, foi possível verificar que o *flow number* diminui à medida que há um aumento da quantidade de areia natural na mistura. Percebe-se também que assim como nos resultados de rigidez, o acréscimo de baixas quantidades de areia, em torno de 2% da parcela fina da mistura, não influencia significativamente na resistência as deformações permanentes, permanecendo o valor de FN muito próximo ao valor da mistura sem areia. Nota-se também que no intervalo entre 2% e 4%, temos uma visível queda na resistência ao ATR, e que misturas com mais de 4% de areia na parcela fina proporcionam piora significativa no resultado, comprometendo fortemente a resistência à deformação permanente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível observar a forte influência que um agregado de formato arredondado exerce nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

Pequenas adições de areia levaram a quedas significativas nos resultados de módulo de resiliência, principalmente para porcentagens maiores que 3% permutadas entre agregados britados e areia natural. Conforme os dados obtidos, foi possível verificar uma queda da ordem de 10% na rigidez das amostras quando comparada a mistura sem areia e a mistura com adição de 6% de areia, mostrando-nos o quão prejudicial é adicionar areia natural quando buscamos misturas de maior rigidez.

Para os ensaios de resistência a tração por compressão diametral constatou-se uma pequena melhora nos resultados, com a mistura de 6% de areia apresentando resultados com valores de 0,09 MPa superiores a mistura de referência sem areia. O comportamento a fadiga merece maiores estudos no que diz respeito a importância da areia natural nos resultados, visto que este é um dos problemas mais frequentes nos revestimentos asfálticos.

Por fim, com a realização do ensaio uniaxial de carga repetida e a obtenção do parâmetro *flow number* através da modelagem de Francken, mostrou-se evidente a atuação da areia natural no comportamento das misturas asfálticas frente às deformações permanentes e afundamento de trilha de roda. Assim como para os resultados de rigidez, o acréscimo de 2% de areia não impactou expressivamente nos resultados de *flow number*, entretanto porcentagens acima de 3% de areia mostram-se significativas na redução da resistência à deformação permanente. Quando os percentuais atingem 4% de adição, a taxa de decréscimo do número de ciclos para atingir a zona terciária e a ruptura por cisalhamento a volume constante aumenta rapidamente, levando as misturas com mais areia acrescida a deformarem-se precocemente quando comparadas a misturas sem areia. Foi possível observar que a partir de percentuais de areia acima de 4% a mistura é extremamente comprometida frente ao afundamento de trilha de roda.

Considera-se por fim, frente aos resultados obtidos no transcorrer do estudo, um teor de areia limitado ao máximo de 3%, embora a não utilização de areia se mostre como a melhor opção frente as propriedades mecânicas e a resistência ao afundamento de trilha de roda nos revestimentos.

5. REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L.; MOTTA, L. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA. 504 p. Incluindo Bibliografia. Patrocínio Petrobrás. 2008.

BROUSSEAUD, Y, DELORME, J., HIERNAUX, R. Use of LPC Wheel tracking rutting tester to select asphalt pavements resistant to rutting. Transportation Research Record, 1384, p.59-68, 1993.

DNIT- ME 136/2010: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio

DNIT- ME 135/2010: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010, 6 p. Origem: DNER-ME 133/1994.

FRANCKEN, L. Pavement Deformation Law of Bituminous Road Mixes in Repeated Load Triaxial Compression. Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 483-496. 1977.

JOLIVET .Y.; MALLOT, M. Precautions when interpreting rutting results from the LCPC traffic simulator. 2º Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona, 2000.

KALCHEFF, I. V.; TUNNICLIFF, D. G. Effects of Crushed Stone Aggregate Size and Shape on Properties of Asphalt Concrete. AAPT, Vol. 51, 1982.

KANDHAL, P. S.; MALLICK, R. B. Evaluation of asphalt pavement analyzer for HMA mix design. NCAT Report nº 99-4. Auburn, Junho 1999.

KIM, R. Y.; KIM, N.; KHOSA, N. P.; Effects of aggregate type and gradation on fatigue and permanent deformation of asphalt concrete. American Society for testing materials. Philadelphia. 1992

MAHMOUD, A. F. F.; BAHIA, H. Using the gyratory compactor to measure mechanical stability of asphalt mixtures. Wisconsin highway research program 0092-01-02, Madison, Wisconsin, EUA, 2004.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos. 3º ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 638 p. 2015.

NASCIMENTO, L. A. Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente. 204 p. Dissertação (Mestrado). UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

SCHUSTER, S. L. Estudo da influência da areia natural nas propriedades mecânicas de uma mistura asfáltica. Trabalho de conclusão de curso. UFSM – Santa Maria, 2016

STAKSTON, A. D. The Effect of Fine Aggregate Angularity, Asphalt Content and Performance Graded Asphalts on Hot Mix Asphalt Performance in a Laboratory Study. Dissertação de mestrado. University of Wisconsin Madison 2002.

UGE, P.; VAN DE LOO, P. J. Permanent deformation of asphalt mixes. Amsterdam, Holanda. 1974.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. Principles of Pavement Design. 2nd Edition (Hardcover). 1975.

Capítulo 7



10.37423/211205134

UTILIZAÇÃO DA TRANSFORMADA DE WAVELET PARA DETECTAR VARIAÇÕES ANORMAIS DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Julio César Ferreira

Instituto Federal do Triangulo Mineiro

Geraldo Caixeta Guimarães

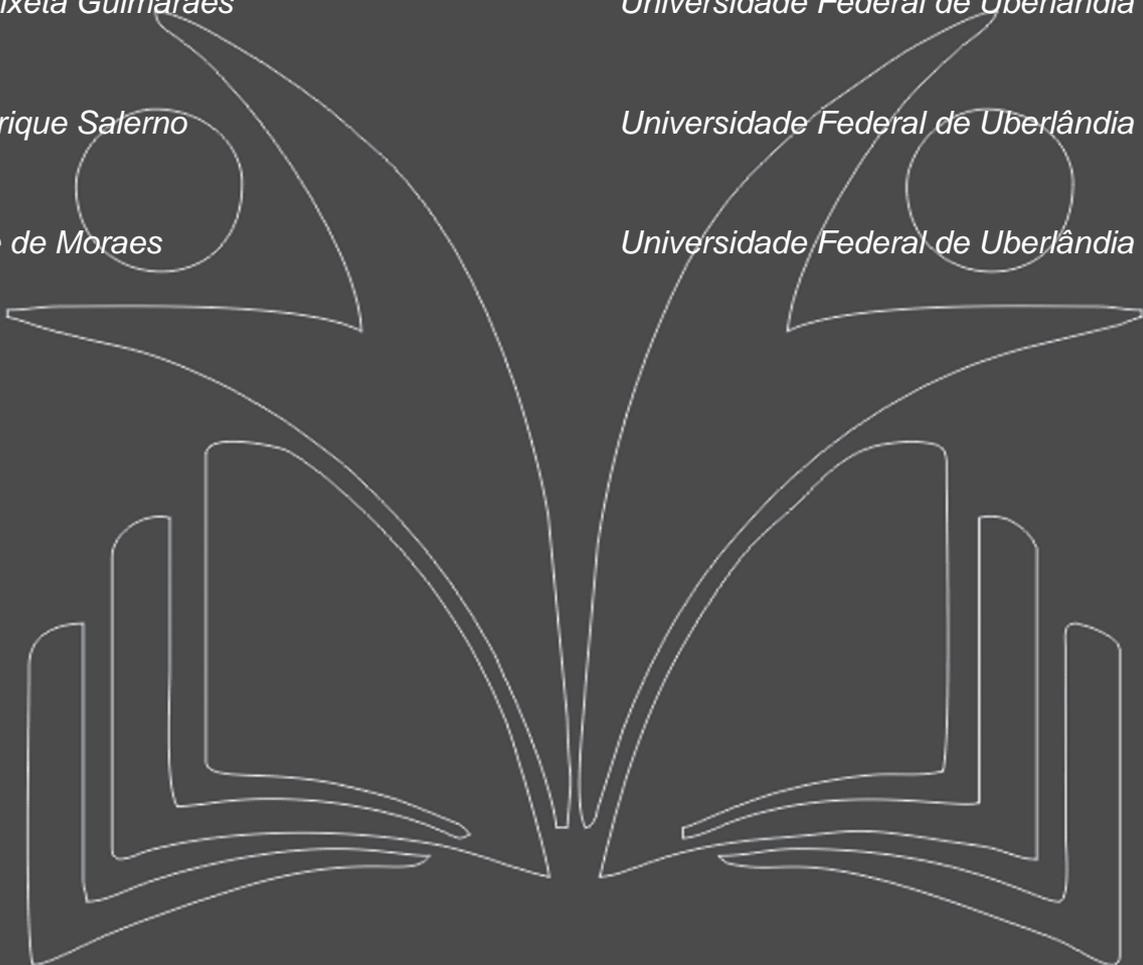
Universidade Federal de Uberlândia

Carlos Henrique Salerno

Universidade Federal de Uberlândia

Adélio José de Moraes

Universidade Federal de Uberlândia



Resumo: Este artigo foca a importância de registrar as variações eventuais de frequência no Sistema Elétrico de Potência as quais podem ultrapassar os limites estabelecidos para sua operação normal. Isto pode acarretar sérios problemas no funcionamento de equipamentos sensíveis conectados a rede elétrica, tais como os turbo-geradores empregados em usinas termoelétricas. Para a supervisão da frequência do sistema são utilizados relés de frequência, os quais acionam os dispositivos de proteção quando são detectadas condições anormais. Neste contexto, os principais objetivos deste trabalho consistem em propor a implementação de um algoritmo capaz de detectar distúrbios na frequência, caracterizados por situações de sub ou sobrefrequência, e também quantizar o tempo em que o sistema esteve operando nestas condições. Para atingir este alvo foi empregada a técnica de wavelet de análise de multiresolução (AMR) para detecção dos distúrbios gerados. Os dados obtidos podem então ser tratados de modo a serem empregados para uma possível manutenção preditiva nas turbinas a vapor, visto que estas estão sujeitas a danos quando em prolongada operação sob condições anormais de frequência.

Palavras-Chave: Geração Distribuída, Relé Digital, Sobrefrequência, Subfrequência, Transformada de Wavelet.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento da geração distribuída (GD) vem se tornando cada vez mais evidente no panorama energético mundial. Considerada por muitos como a solução para suprir a demanda de consumo futuramente, sendo usualmente de pequeno porte se comparada aos grandes projetos hidrelétricos, sistemas de GD podem permitir no contexto brasileiro incentivo econômico, pela possibilidade de utilização de tecnologia nacional, bem como ambiental, usando possivelmente fontes renováveis de energia.

Tratando-se da região sudeste, fortemente no interior do estado de São Paulo, e atualmente no Triângulo Mineiro nota-se um crescente aumento tanto no número de geradores independentes, quanto na quantidade de potência fornecida à rede elétrica, em especial empresas do setor sucroalcooleiras, fábricas de fertilizantes, empresas do setor alimentício. Em geral um grande ramo da indústria nacional começou a ter interesse pelo mercado de energia, produzindo sua própria energia com a utilização de turbinas a vapor e geradores, sendo os resíduos de seus processos a energia primária para esta geração.

Este artigo foca as suas pesquisas nas variações anormais de frequência ocorridas em um SEP (Sistema Elétrico de Potência) dotado por GD onde encontramos grupos turbo-geradores formados por turbinas a vapor e geradores síncronos, visto que a ocorrência de subfrequência e sobrefrequência são prejudiciais ao sistema de geração, principalmente as turbinas a vapor.

Como objetivo fundamental deste trabalho, propõe-se implementar um algoritmo capaz de detectar distúrbios na frequência do SEP, analisar os valores de subfrequência e sobrefrequência e quantizar o tempo em que o sistema esteve operando nestas condições. Com a formulação destes dados disponibiliza-los como proposta para uma eventual manutenção preditiva nas palhetas das turbinas a vapor, as quais estão sujeitas a danos quando em prolongada operação com condições anormais de frequência.

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) através do comitê de sistemas de potência, apresenta um guia de análise para eventuais variações de frequência no sistema elétrico e suas conseqüências focando plantas de com geradores síncronos [12].

Reimert D. em seu livro titulado de “*Protective relaying for power systems*” demonstra que os efeitos causados em um gerador trabalhando em sobrefrequência não são tão preocupantes quanto este trabalhando em subfrequência. A condição de sobrefrequência é o resultado de excesso geração, pode

ser corrigida rapidamente pelos reguladores de velocidade conectados a máquina primária. Uma subfrequência é causada através de uma sobrecarga, que muitas das vezes não são corrigidas localmente na geração. O autor também descreve os problemas causados em turbinas a vapor, gás e hidráulica quando submetidas a variações de frequências . [1]

Nesse intuito, várias técnicas vêm sendo desenvolvidas para monitorar, detectar e analisar a frequência do SEP, sendo principalmente baseadas na disposição dos fasores, no método dos mínimos quadrados, na Transformada Rápida de Fourier - FFT, em técnicas inteligentes e no filtro de Kalman, destacando [2], [3].

Com o desenvolvimento do hardware computacional e dos algoritmos para fins de proteção e monitoramento, a tecnologia digital, neste princípio de século, tornou-se a base da maioria dos sistemas de uma subestação, atuando com aplicações das técnicas citadas no parágrafo anterior. Desta forma, o relé digital tem sido um dos equipamentos principais para proteção, monitoramento, medição, controle e comunicação. Sua principal característica se fundamenta na possibilidade de implementação de algoritmos computacionais e utilização de operações matemáticas, as quais são utilizadas em computadores comuns [4][5] [6].

II. A TRANSFORMADA DE WAVELET – ANÁLISE MULTIRESOLUÇÃO

Em síntese a análise de dados de acordo com escalas variáveis no domínio do tempo e da frequência é o que compõe utilização da teoria de Wavelet. Wavelet. J. Morlet introduziu o termo “Wavelet”, tendo a base matemática de suas idéias formalizada pelo físico teórico Alex Grossmann.

A Transformada Wavelet (TW) é uma ferramenta matemática para análise de sinais similar à Transformada de Fourier (TF). A TW decompõe o sinal em diferentes escalas, com diferentes níveis de resolução, a partir de uma única função. Diferentemente da TF que fornece uma representação global do sinal, a TW apresenta representações locais no domínio do tempo e da frequência de um dado sinal. Esta é a grande vantagem do uso da TW [7] [8] . A transformada wavelet é excelente e bem aceita para uma ampla faixa de sinais que não são periódicos e que podem conter ambos os componentes senoidais e de impulso, como os sinais típicos nos transitórios de sistemas de potência. A Wavelet concentra-se em pequenos intervalos de tempo, para componentes de alta frequência, e em longos intervalos de tempo, para componentes de baixa frequência, com isso, melhora-se a análise de sinais caracterizados por impulsos e oscilações localizadas.

A realização da técnica de Análise Multiresolução (AMR) é um processo de filtragem, de uma forma bastante prática. Este processo baseia-se na filtragem de um sinal a ser analisado através de filtros passa alta e passa baixa, fornecendo versões do sinal original relativas aos coeficientes de funções Wavelets e funções escala, respectivamente. Considerando-se a Transformada Wavelet em suas formas Contínua e Discreta, são observados as **aproximações e detalhes**. As aproximações são as altas escalas, isto é, as componentes de **baixa freqüência do sinal**. Os detalhes são as baixas escalas sendo estas componentes de **alta freqüência**. O processo representativo de filtragem é mostrado na figura 1.

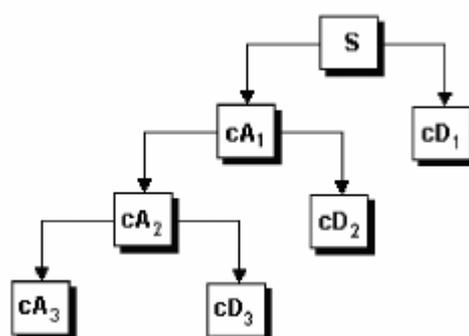


Fig. 1. Ilustração do processo sucessivo de decomposição de um sinal em AMR [9]

III. FUNDAMENTOS E IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PROPOSTO

Com o propósito de simular um sistema elétrico, e também expor a necessidade de monitoramento da freqüência do sistema, utilizou-se para a simulação um sistema elétrico de 14 barras, modelo utilizado em artigos do IEEE e também disponível na biblioteca do software PAST (*Power System Analysis Toolbox*) [10].

Todo o sistema elétrico, desde a geração até a carga à qual está conectada por meio de sistemas de transmissão e distribuição, deve operar em equilíbrio, tanto de freqüência como de tensão. Esse equilíbrio é conseguido mantendo-se valores de tensão e freqüência dentro de níveis préestabelecidos, ao longo de toda a rede do sistema elétrico.

Como o sistema é quase todo interligado, o equilíbrio deve ser mantido, pois falhas em qualquer área podem prejudicar seu desempenho.

No sistema proposto (*ver figura 2*), ligado ao barramento B1 um gerador síncrono de 615 MVA representa uma unidade geradora hidráulica, este e composto com reguladores de Tensão e estabilizadores, juntamente neste barramento têm-se a representação de um barramento infinito,

simbolizando um equivalente de todo o sistema elétrico. Nos barramentos B3 e B2 como citado anteriormente tem-se duas unidades geradoras de 60 MVA, nos barramentos B6 e B8 duas unidades geradoras de 25 MVA, todas estas unidades citadas simbolizando um sistema de GD de turbinas a vapor.

Como o objetivo principal é analisar o comportamento da frequência no sistema proposto, pois a sua variação pode causar danos as palhetas das turbinas, criou-se duas situações hipotéticas:

- Caso 1 - Simulação de um curto-circuito trifásico localizado na barra 2
- Caso 2 – Simulação de ilhamento do gerador G2 localizado na barra 2

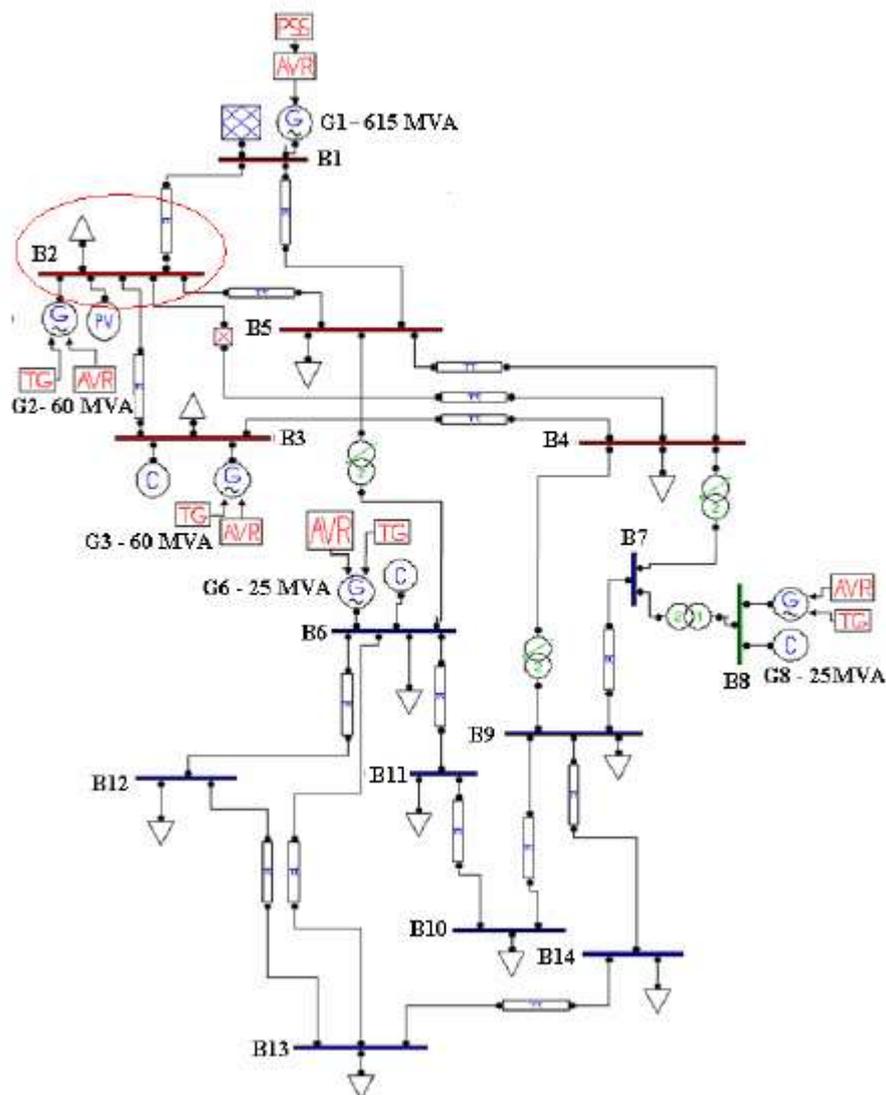


Fig. 2. Sistema elétrico para estudo de casos

A figura 3 mostra de um forma global a lógica computacional do algoritmo proposto. Para implementação deste algoritmo, utilizou-se o ambiente de linguagem de programação do software Matlab, visto que o sistema elétrico também foi simulado na mesma plataforma.

Para o bom entendimento do algoritmo, dividiu-se o mesmo em duas etapas seqüenciais.

1ª etapa - Condicionamento do sinal e análise AMR

Etapa 1.1 Nesta primeira etapa o sinal é recebido, este sendo um vetor contendo os valores referente a freqüência do sistema.

Etapa 1.2 O vetor é dimensionado conforme a freqüência de amostragem do sinal de origem, quanto maior a freqüência de amostragem da medição da freqüência, maior será o detalhe referente a resolução da freqüência. Nesta etapa também padroniza-se o tempo em que o sinal de freqüência será analisado, este tempo de análise e referente a freqüência de amostragem do sinal medido.

Nos estudos de casos simulados utilizou-se um tempo de simulação de 3 segundos, ou seja, a cada 3 segundos o sinal de freqüência e analisado.

Etapa 1.3 A técnica de wavelet AMR é aplicada ao sinal para detecção de um distúrbio, a escolha de uma base para a análise de fenômenos relacionados com sistemas elétricos de potência deve considerar sua capacidade de distinção entre o nível de freqüência do sinal original e o nível de freqüência dos distúrbios.

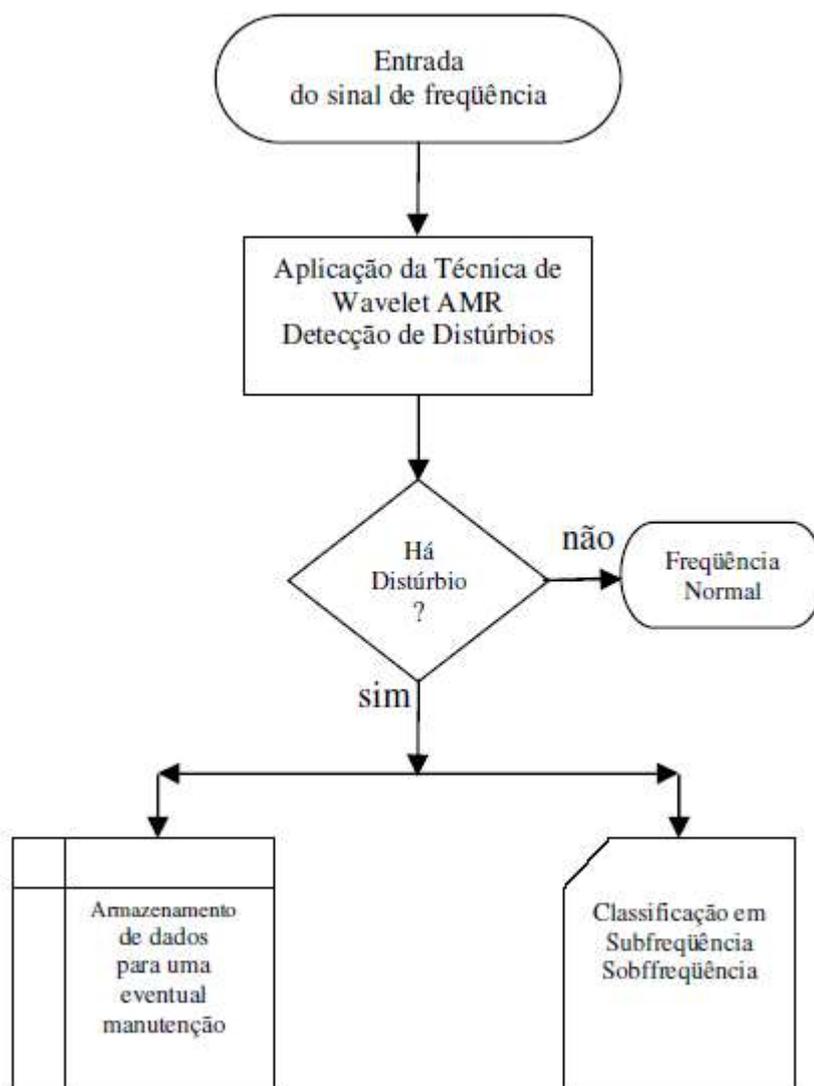


Fig. 3. Fluxograma do Algoritmo proposto

Devido ao comportamento em suavidade e oferecendo melhor resolução em frequência, neste trabalho a wavelet db4 (wavelets mãe Daubechies 4) de nível 5 foi utilizada para as eventuais análises, visto que foram testadas e analisadas varias famílias de Wavelets.

Utilizando-se a técnica AMR descrita, foram analisadas diversas situações de distúrbios, sendo escolhido como **referência o 1º detalhe** pois este se mostrou sensível as variações dos valores da frequência fundamental, ou seja, quando no sinal de entrada há alguma variação, no 1º detalhe da AMR há variações em escalas de amplitude notória.

Fazendo uso dos comandos da linguagem de programação do Matlab, o qual possui comandos específicos para análise AMR Wavelet, nesta etapa calcula-se a média do vetor **D1 (detalhe 1)** que é comparada com um sinal de referência (sinal este que não possui variações). Caso a média do sinal

seja diferente de zero, compreende-se que há um distúrbio. Com isto, o algoritmo verifica o tempo em que este distúrbio ocorreu através do sinal D1 analisado.

Resumindo, nesta etapa é detectado o distúrbio e o tempo em que este ocorre.

2ª etapa - Análise de sub e sobrefrequência do sinal

Nesta etapa verifica-se no sinal de entrada em análise, os valores de subfrequência e sobrefrequência e o tempo de permanência deste valor, através de um algoritmo lógico ifelse (*se-se_não*). Optou-se por dividir em intervalos as subfrequências e as sobrefrequências, sabe-se que os sistemas elétricos de potência são dotados de relés de frequência de proteção, que possuem um limite mínimo e um limite máximo para a variação de frequência do sistema, caso a frequência do sistema esteja fora deste padrão pré determinado o sistema é desligado, por exemplo 2% do valor nominal 58,8 a 61,2 Hz. Com isso o algoritmo verifica os intervalos descritos na tabela 1.

Quando o sinal possui alguma variação entre os intervalos descritos na tabela 1, o algoritmo verifica o tempo de duração e armazena este tempo, visto que o prejuízo causados nas turbinas por operarem fora da frequência nominal é cumulativo.

Ao final da análise tem-se o tempo estimado em que o sistema esteve operando em subfrequência e sobrefrequência, podendo estes dados serem utilizados na manutenção preditiva da turbina.

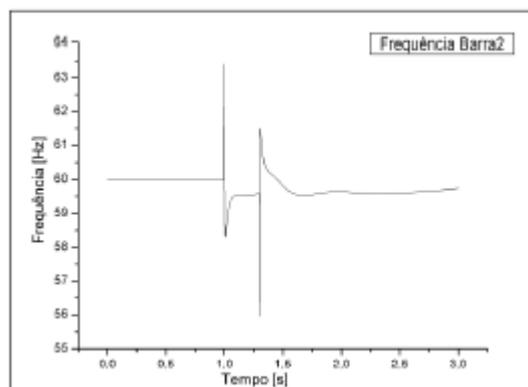
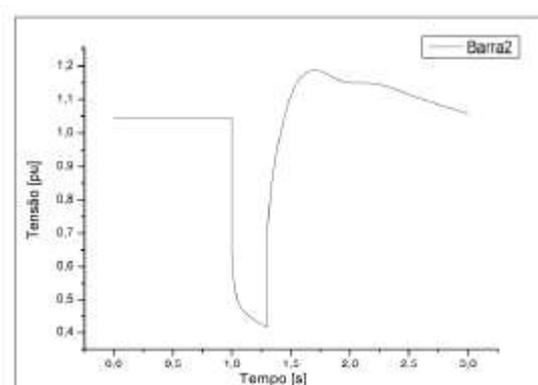
Tabela 1: Intervalos de análises de frequência

Distúrbio	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
Subfrequência [Hz]	57 a 58	58 a 59	59 a 59,9	-
Sobrefrequência [Hz]	60,1 a 61	61 a 62	62 a 63	63 a 64

Caso 1 - Simulação de um curto-circuito trifásico localizado na barra 2

Para a simulação do presente caso utilizou-se um curto-circuito com duração de 300ms, em um SEP real certamente o sistema de proteção atuaria antes deste tempo de 300ms se o curto não for de muito baixa intensidade (alta impedância de falta). Este valor serve para “calibração” e melhor verificação do algoritmo proposto, sendo que para outros valores de duração de curto-circuito o processo é análogo.

Na figura 4 e 5 tem-se dinâmica da frequência e da tensão, após a ocorrência do curto-circuito trifásico localizado na barra 2.

Fig. 4. Frequência na barra 2 **caso 1**Fig. 5. Tensão na barra 2 **caso 1**

Com relação ao comportamento da frequência mostrada na figura 4, verifica-se que esta se estabiliza na frequência nominal do sistema 60 Hz em aproximadamente 3 segundos.

Observam-se variações transitórias onde se tem a ocorrência de um valor pico com amplitude de 56,3 Hz e 63,4 Hz. Os súbitos desvios de sobre e subfrequência se deve ao afundamento de tensão provocado pelo curto. No instante inicial do curto sua tensão terminal cai, sua geração sofre um decréscimo e este acelera, como pode ser visto nas figuras 4 e 5. Este súbito aumento de rotação é refletido na frequência do sistema originando picos de frequência. Quando o curto é extinto temos uma dinâmica oposta. Salienta-se que a ação dos reguladores de velocidade do sistema interfere nesta dinâmica, com o objetivo de estabilizar o sistema. Verifica-se que a frequência no gerador da barra 2 oscilou durante pouco mais de 2 s.

Foi aplicada ao sinal de frequência a técnica de AMR Wavelet, os sinais de aproximação e os detalhes a3, d2, d3 foram desprezados. Neste caso, foi utilizado o detalhe d1, como já citado, por possuir uma característica sensível às variações de frequência. Observa-se o sinal d1 na figura 6 que evidencia dois picos de amplitude, um maior e outro menor, respectivamente, no início e final da duração do curto.

Esta característica mostra que haverá variações no valor médio do vetor $d1$ quando há distúrbios e que os picos de maior amplitude irão corresponder aos inícios destes distúrbios.

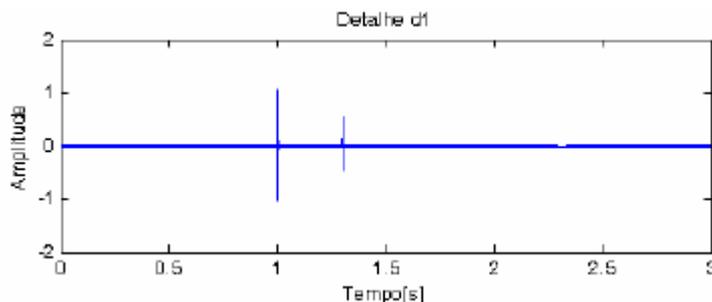


Fig. 6. Aplicação da AMR no sinal de frequência, **caso 1**

Com aplicação da segunda etapa do algoritmo obtém-se o sinal em análise, o qual é utilizado para elaborar os histogramas das figuras 7 e 8 os quais destacam o tempo de sub e sobrefrequência do sinal.

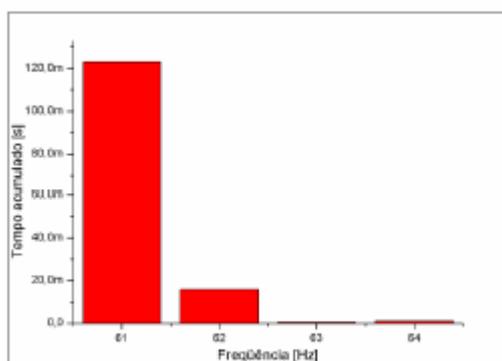


Fig. 7. Frequência acumulada - Sobrefrequência **caso 1**

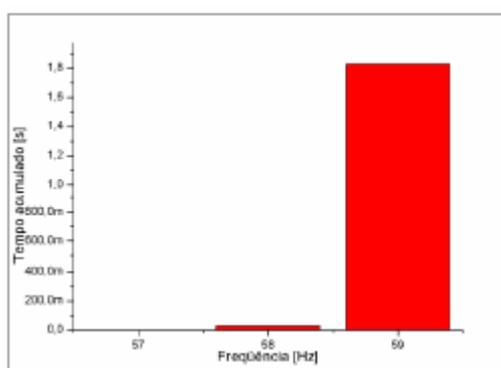


Fig. 8. Frequência acumulada - Subfrequência **caso 1**

Observa-se que, para o tempo de simulação de 3 segundos, tem-se em destaque uma frequência acumulada em subfrequência na faixa de 59 a 60 Hz de 1,825 segundos. Já para a faixa de sobrefrequência entre 60 e 61 Hz tem-se um tempo de 0,120 segundos. Estas durações parecem, em

primeira análise, pequenos, porém, deve-se ressaltar que os danos provocados pela operação de turbinas em faixas limitadas são cumulativos.

Caso 2 – Simulação de ilhamento do gerador G2 localizado na barra 2

No caso de geradores síncronos, embora haja inúmeros esquemas de proteção anti-ilhamento, até o momento, os relés baseados em medidas de frequência e/ou tensão são reconhecidos pela indústria de energia elétrica como os mais eficazes para detecção de ilhamento. Sob a perspectiva do consumidor auto-produtor, a passagem da operação em paralelo para o modo ilhado demanda que uma série de medidas seja tomada para garantir que a instalação industrial continue operando de forma segura e com qualidade de energia. Neste estudo de caso analisa-se a dinâmica da frequência frente a tal ilhamento. A figura 9 e a figura 10 representam o gráfico da frequência e tensão no instante em que o gerador G2 ficou operando de forma isolada.

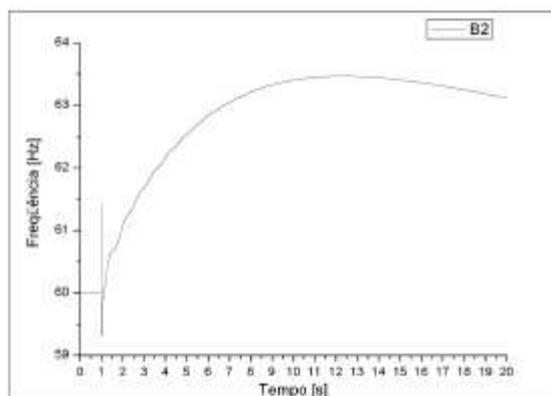


Fig. 9. Frequência na barra 2 **caso 2**

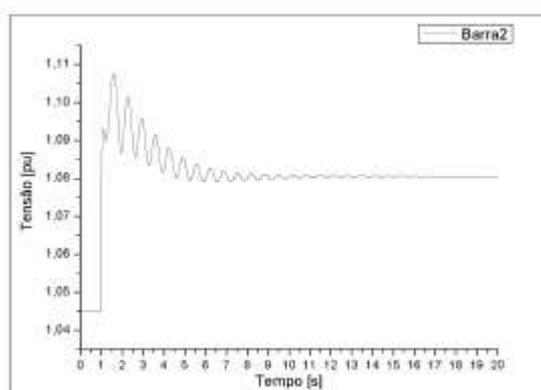


Fig. 10. Tensão na barra 2 **caso 2**

Na ocorrência deste ilhamento verifica-se que a frequência na barra 2 sofre uma grande variação. Da mesma forma a tensão sofre grandes oscilações transitórias devido ao isolamento e perda de carga. No instante inicial a tensão gerada pelo gerador G2 sofre um pequeno pico de tensão de 1.03 a 1.084

pu, no entanto com a ação do regulador a tensão entra em regime permanente em aproximadamente 14 segundos. Nota-se que a frequência possui um tempo de acomodação maior, o funcionamento do sistema de proteção relacionado com a sobrefrequência é de fundamental importância neste caso.

Fazendo uso do algoritmo proposto, abaixo temos a figura 11 representativa do vetor detalhe d1 proveniente das filtragens em AMR. Pelo vetor d1 nota-se o tempo de ocorrência do distúrbio, identificado pelo algoritmo em 1,002 segundos. Neste caso simulado de ilhamento nota-se que a frequência acumulada de sobrefrequência obteve maior destaque, comparado ao outro caso simulado (*caso 1*).

No tempo simulado de 20 segundos o regime permanente da frequência ficou acima da frequência normal.

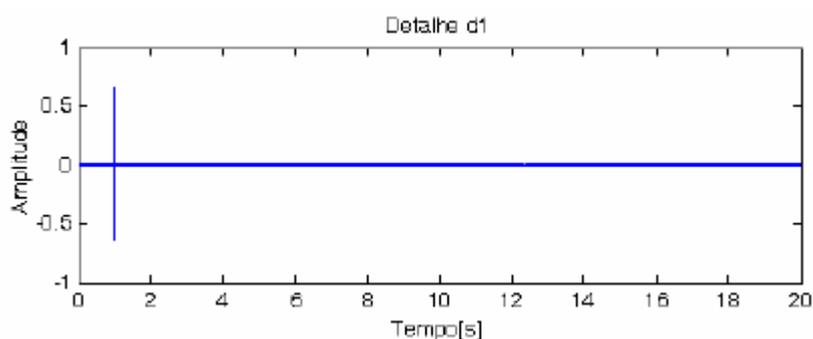


Fig. 11. Aplicação da AMR no sinal de frequência, **caso 2**

As figura 12 e 13 mostram nos gráficos de barras o tempo em que o sistema ilhado permaneceu em sobre e subfrequência.

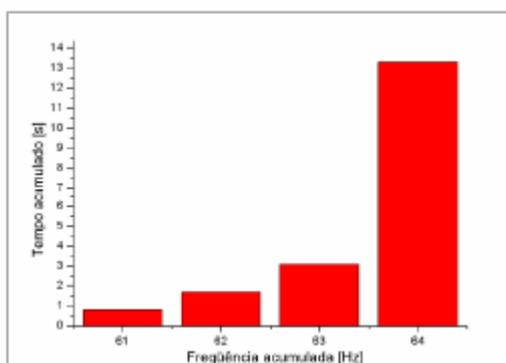


Fig. 12. Frequência acumulada - Sobrefrequencia **caso 2**

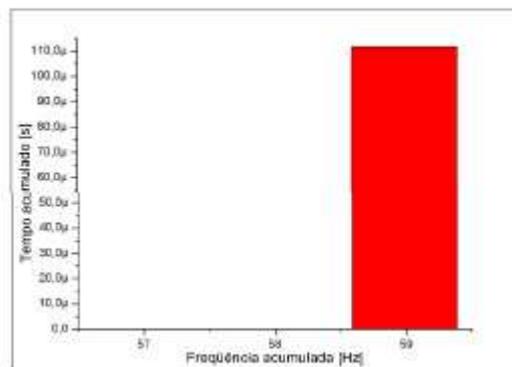


Fig. 13. Frequência acumulada - Subfrequência caso 2

IV. CONCLUSÃO

Utilizando a técnica de Wavelet AMR foi possível detectar o tempo em que ocorreu o distúrbio. O algoritmo apresentado mostrou-se satisfatório na obtenção da estimativa do tempo acumulado em que o sistema permaneceu em subfrequência e sobrefrequência. Uma especial atenção se deve ao caso de ilhamento onde o gerador do sistema ilhado perde o sincronismo com a frequência da rede, sendo necessário uma lógica de proteção rápida, pois o sistema tende a estabilizar fora da frequência nominal.

Um aspecto importante tratando-se dos dados obtidos é a formulação de dados estatísticos para uma eventual manutenção preditiva das palhetas das turbinas. Com um banco de dados dos tempos obtidos de sub e sobrefrequência é possível confrontar estes dados com as informações dos fabricantes das turbinas, e assim prever de forma programada uma manutenção. Na figura 14 temos os dados de uma turbina retirados da referência [11], sendo que tais dados de frequência e tempo máximo de operação são aproximados.

Como exemplo, tem-se na tabela 2 os dados analisados referente ao estudo de caso 2 simulado.

Frequência [Hz]	Tempo [s]
57 a 58	0
58 a 59	0
59 a 59,9	0,00011
60,1 a 61	0,89
61 a 62	1,6
62 a 63	3,2
63 a 64	13,4

Estes dados confrontados com os dados do fabricante da turbina (*ver figura 13*), tem-se uma previsão programada para uma manutenção desta turbina, haja vista que este tempo de sub e sobrefrequência são acumulativos, ou seja, no estudo de caso 2 onde teve-se um sobrefrequência na faixa de 63 a 64 Hz com duração de 13,4 segundos, observa-se na figura 14 que o tempo permitido para operação nesta faixa e de aproximadamente 30s. Portanto temos um tempo restante de operação de 16,6s para esta faixa de trabalho ($30s - 13,4s=16,6s$).

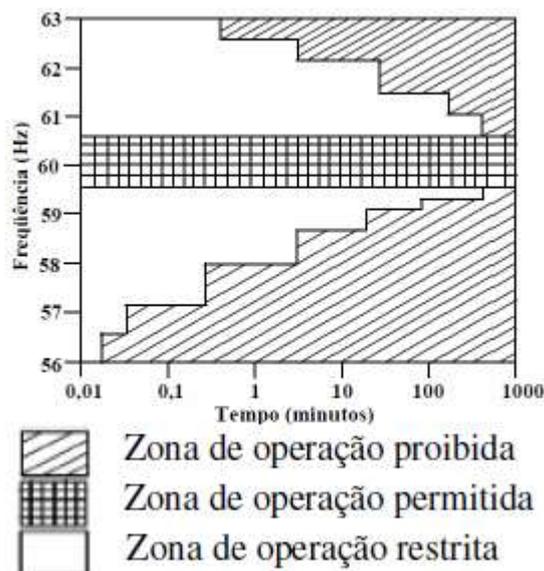


Fig. 14. Tempo limite versus frequência [11]

Em busca do desenvolvimento continuado desta pesquisa sugere-se para o desenvolvimento de trabalhos futuros: Submissão do algoritmo proposto a testes com dados reais, implementação física (real) de algoritmos utilizando a TW em reles digitais para fins de monitoramento e proteção e a análise dos impactos provenientes de ilhamentos em sistemas de GD compostos por geradores síncronos e assíncronos.

Foi possível analisar entre os estudos de casos propostos a dinâmica da tensão e principalmente a frequência do sistema elétrico, observando o tempo de sub e sobrefrequência. Tais análises possibilitaram atingir o objetivo proposto, como também expor a necessidade de estudos aprofundados na questão de ilhamento de sistemas de GD. Atualmente, há poucas pesquisas com resultados práticos avaliando a manutenção do sincronismo, monitoração entre as máquinas, as margens de carregamento, relés de proteção entre outros, que contemplem esta nova situação e também os resultados, demonstrando este assunto um campo vasto para pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REIMERT D. Protective Relaying For Power Generation Systems, Taylor & Francis Group, CRC Press, 2006.
- [2] PRADHAN, A. K.; ROUSTRAY, A.; BASAK, A. Power System Frequency Estimation Using Least Mean Square Technique, IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 20, No. 3, pp 1812-1816, JULY 2005.
- [3] DASH, P.K.; PRADHAN, A.K.; PANDA, G. Frequency Estimation of distorted Power System Signals Using Extended Complex Kalman Filter. Power Delivery IEEE Transactions on, Vol. 14, No. 3, pp. 761-766 July 1999.
- [4] CHEMIN, N.U, Aplicações de Controle e Supervisão Distribuídas em Subestações de Energia Elétrica Através do Uso de Relés Digitais de Proteção. 2008. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.
- [5] CHAARI, O.; MEUNIER, M.; BROUAYE, F. Wavelets: a new tool for the resonant grounded power distribution systems relaying. Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol 11, No. 3, pp 1301-1308, July 1996.
- [6] MAGNAGO, F.H.; ABUR, A., Fault location using wavelets, Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol. 13, No. 4, pp 1475-1479, October 1998
- [7] Daubechies, I. Where Do Wavelets Come From: – A Personal Point of View. Proceedings of the IEEE, Vol.84, No. 4, pp. 510-513. April 1996.
- [8] SANTOSO, S.; POWERS, E. J.; GRADY, W. M.; HOFMANN, P. Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No. 11, pp. 924-930. April 1996.
- [9] MISITI, M.; MISITI, Y.; OPPENHEIM, G.; POGGI, J. M. Wavelet Toolbox: User's Guide. Natick, MA: The MathWorks, 2008.
- [10] MILANO F. PSAT Power System Analysis Toolbox Manual for PSAT, version 2.1.2, 26 de junho de 2008, Universidad de Castilla-La Mancha, Espanha 2008.
- [11] TRINDADE, F. C. L. Análise dos Sistemas de Proteção e Controle de Sistemas Industriais com Geradores Síncronos Após a Ocorrência de Ilhamentos. Dissertação de mestrado - UNICAMP. Campinas, 2009.
- [12] IEEE. IEEE Recommended Practice For Emergency And Standby Power Systems For Industrial And Commercial Applications. IEEE Std 446-1995. USA, pp i-310, E-ISBN: 0-7381-1147-3 Jul 1996.

Capítulo 8



10.37423/211205152

O CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM TRANSPORTE TERRESTRE DA UFBA, UMA EVOLUÇÃO ATRAVÉS DOS ANOS: UM ESTUDO DO PERFIL DOS DISCENTES

José Lázaro de Carvalho Santos

Universidade Federal da Bahia

Ediana Santos Fiuza Conceição

Universidade Federal da Bahia

Elias Nasr Naim Elias

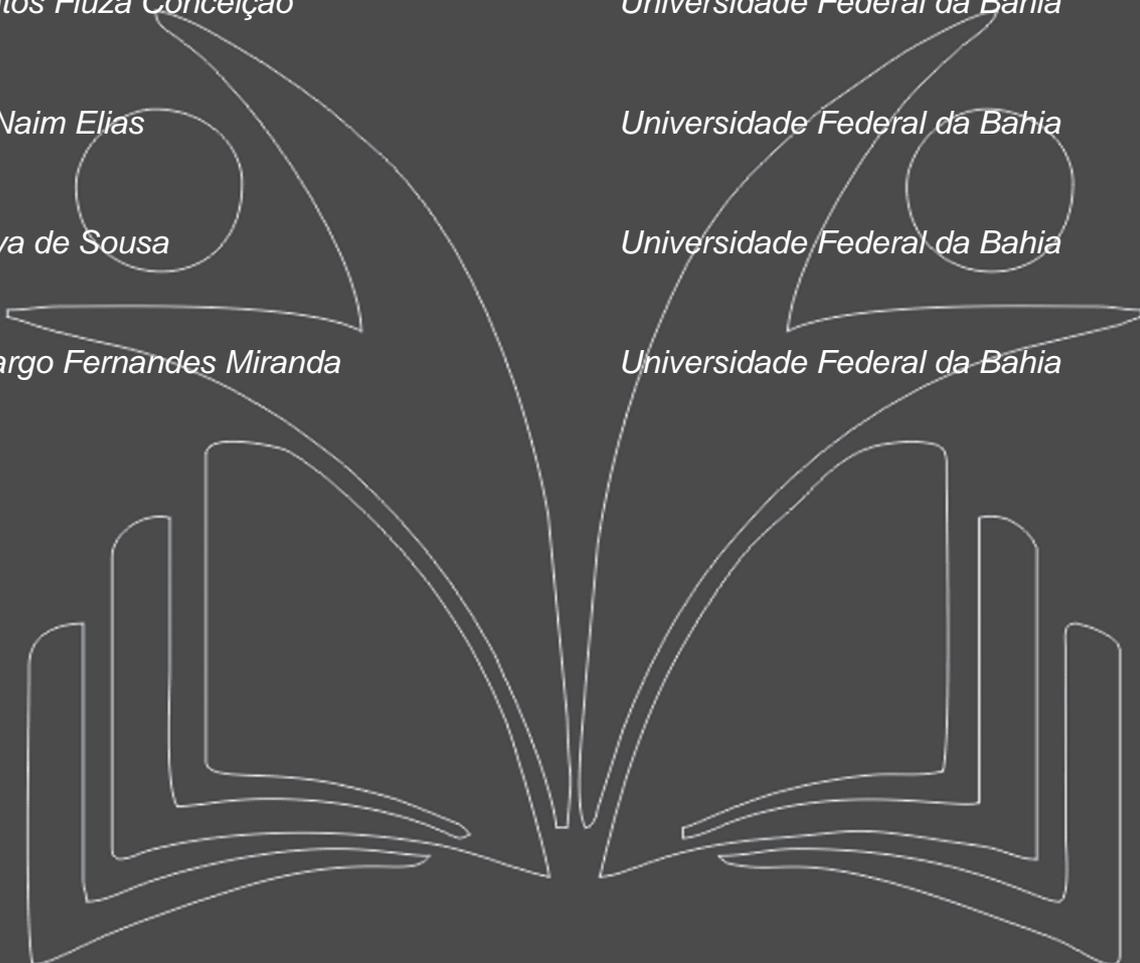
Universidade Federal da Bahia

Rebeca Silva de Sousa

Universidade Federal da Bahia

Silvia Camargo Fernandes Miranda

Universidade Federal da Bahia



Resumo: *O presente trabalho aborda as principais características do Curso Superior em Transporte Terrestre na Universidade Federal da Bahia (UFBA), relacionando os aspectos histórico na implantação do curso, relevância acadêmica, estrutura curricular e as principais linhas de pesquisa com a qual docentes e discentes desenvolvem as suas atividades. Tal abordagem permitiu expor a importância da criação deste em diversas aplicações, sejam estes voltados para o mercado de trabalho ou até projetos desenvolvidos na própria Universidade, onde o discente pode ser inserido. Além desta abordagem inicial, no intuito de expor a percepção do corpo discente sobre a estrutura do curso, foi realizada uma pesquisa com alunos e ex-alunos através de um questionário online, onde os mesmos puderam expor algumas opiniões sobre o curso, bem como, aspectos motivadores para a escolha do mesmo. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram apresentar os principais aspectos e vertentes do referido curso na UFBA, evidenciando como está disposta a estrutura acadêmica do mesmo e a pesquisa com os discentes evidenciou algumas características por parte do perfil do acadêmico dos mesmos, uma vez que, nas turmas iniciais os estudantes iam em busca de uma qualificação profissional no segmento dos transportes. Por sua vez, nas turmas mais recentes, os estudantes passaram a procurar o referido curso como uma formação profissional pioneira, houve um aumento do número de mulheres nos semestres mais atuais e a diminuição na faixa etária, evidenciando mudanças quanto aos aspectos relacionados aos estudantes.*

Palavras-chave: *Transporte. Tecnólogo. Ensino. Perfil*

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal da Bahia - UFBA por meio do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI, instituído pelo Decreto nº 6.096, de 24 de abril de 2007, permitiu a realização de construções em várias áreas dos campi, com a criação de novos pavilhões de aulas, centros esportivos, restaurantes universitários, áreas verdes e áreas de lazer. Ao ampliar a oferta de cursos de graduação e implementar a reforma curricular, com a implantação do regime de ciclos na educação superior, a UFBA constitui o Programa UFBA Universidade Nova.

Através da Universidade Nova ocorreram também a criação de cursos noturnos, permitindo que o estudante pudesse desenvolver suas atividades pela manhã e estudar em paralelo. Na Escola Politécnica - Zona I (Ondina/Federação) - foram criados cinco novos cursos, sendo estes em regime noturno. Os cursos podem ser observados abaixo, no quadro 1.

Quadro 1 - Ano de criação dos cursos de engenharia noturnos da Escola Politécnica - UFBA

CURSO	ANO DE CRIAÇÃO
Engenharia de Agrimensura e Cartográfica	2010
Engenharia da Computação	2009
Engenharia de Controle e Automação	2009
Engenharia da Produção	2008
Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre	2009

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A criação destes cursos teve como base a necessidade desse profissional no mercado de trabalho bem como a instituição de um viés acadêmico para pesquisas futuras dentro das temáticas dos cursos implantados, os quais foram identificados pelos próprios docentes dos departamentos, como por exemplo, os cursos de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica e o Tecnologia em Transporte Terrestre, que pertencem ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia - antigo Departamento de Transportes -, e são os primeiros com essa titulação na Bahia.

O Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre se mostrou de forma clara uma formação necessária quando se trata das questões relacionadas à mobilidade, acessibilidade e aspectos que tangem o transporte e trânsito na medida em que vem ganhando notoriedade no município de Salvador - BA, principalmente após a Lei 12.587/12, Política Nacional de Mobilidade Urbana, conhecida como Lei da Mobilidade Urbana, onde está disposto que cabe aos municípios acima de 20.000 habitantes, a tarefa de planejar e executar a política de mobilidade urbana através da elaboração de um Plano de Mobilidade Urbana, integrado e compatível com os respectivos planos diretores de

desenvolvimento urbano ou neles inserido. (BRASIL, 2012). Tornando importante formar profissionais qualificados para atuarem nestas questões no referido município e que estes possuam qualificação técnica de nível superior para tal.

E com base na importância de se ter um curso voltado para a temática como o transporte, este artigo tem como objetivo apresentar o Tecnólogo em Transporte da UFBA e conhecer o perfil dos discentes que escolhe cursar o Tecnólogo.

2 CURSO SUPERIOR EM TECNOLOGIA EM TRANSPORTE TERRESTRE: GESTÃO DO TRANSPORTE E TRÂNSITO URBANO - UFBA

O Curso Superior em Tecnologia em Transporte Terrestre: Gestão e Transporte e Trânsito Urbano - CSTTT, comumente conhecido como Tecnólogo de Transporte ou CTTT, se enquadra no segmento da educação profissional de nível tecnológico, e é regulamentado pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) e avaliado e regulado pela Secretaria de Ensino Profissional e Tecnológico do Ministério da Educação (MEC). O referido curso está inserido no eixo tecnológico – Infraestrutura – que compreende tecnologias relacionadas à construção civil e ao transporte.

O CSTTT foi aprovado pela Câmara de Ensino de Graduação - CEG da UFBA através do Parecer nº793/09 em 08 de setembro de 2009 com base no Processo nº23066.017314/09-11 e tem como base a Escola Politécnica da UFBA - EPUFBA, no Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia tendo como principais diretrizes e objetivo geral: formar e aperfeiçoar os profissionais que atuam na área de planejamento e gestão do transporte e trânsito, capacitando-os a enfrentar e a resolver os problemas da área e assegurar a melhoria das condições de vida da população. Quanto aos objetivos específicos, o curso oferece uma visão integrada das áreas que compõem o sistema transporte e trânsito, tanto no nível estratégico quanto no operacional, fazendo com que os técnicos tenham uma visão de conjunto para a análise dos problemas segundo os mais diversos enfoques. Qualificam-se os profissionais para atender as diversas instituições envolvidas com o Planejamento e Gerenciamento do Transporte e Trânsito, para atuação no desenvolvimento e avaliação de projetos, segurança e educação para o trânsito, ampliando e atualizando conhecimentos, contribuindo para um maior domínio da área. É um dos 14 cursos Superiores de Tecnologia em Transporte terrestre do país, o único no Nordeste (MEC, 2018).

2.1 CURRÍCULO DO CURSO

O referido curso é ministrado no regime noturno (código MEC 197140), com duração mínima de 3 anos e máxima de 5 anos. Para a integralização curricular, faz-se necessário cursar as 22 disciplinas de natureza obrigatória (1717 horas), mais as 306 horas de disciplinas optativas, e, no mínimo, 100 horas de atividades complementares feitas após o ingresso do aluno.

Vale destacar que, dentre as disciplinas obrigatórias, está a matéria de Estágio Supervisionado, contendo uma carga horária de 340 horas, onde o aluno deve desenvolver atividades programadas em centros capacitados, para proporcionar treinamento em setores profissionais específicos. Atualmente, duas instituições, uma pública e a uma privada, a Prefeitura Municipal de Salvador através da Secretaria de Mobilidade – SEMOB - e a INTEGRA - Consórcio das Empresas de Transporte Público por Ônibus do Município de Salvador, respectivamente, possuem convênio com a UFBA, onde, oferecem vagas de estágios remunerados de 4 e 6h diárias, exclusivamente para os discentes do CTTT, contribuindo assim para a interação de forma direta com o suposto mercado de trabalho, podendo ainda, aplicar de forma prática o conteúdo teórico visto em sala de aula.

2.2 CORPO DOCENTE

O corpo docente do referido curso é composto por 12 professores, oito em regime de dedicação exclusiva e quatro em regime parcial, em cumprimento à Seção II do Capítulo III do Título IX do Regimento Geral da UFBA (Art. 119). Segue abaixo a listagem dos docentes e suas respectivas titulações, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 – Disposição do Corpo Docente

DOCENTE	TITULAÇÃO	REGIME DE TRABALHO
André Luis de Oliveira de Melo	MESTRADO	PARCIAL - 20h
Denise Maria da Silva Ribeiro	MESTRADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
Francisco Ulisses Santos Rocha	PÓS-DOCTORADO	PARCIAL - 20h
Ilce Marília Dantas Pinto	DOUTORADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
Jorge Ubirajara Pedreira Júnior	MESTRADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
José Lázaro de Carvalho Santos	MESTRADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
José Ricardo Uchôa Cavalcanti Almeida	PÓS-DOCTORADO	PARCIAL - 20h
Juan Pedro Moreno Delgado	DOUTORADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
Marcella Sgura Viana	MESTRADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA
Marcelo Melo Correa	MESTRADO	PARCIAL - 20h
Sérgio Fraga Santos Faria	MESTRADO	PARCIAL - 20h
Sílvia Camargo Fernandes Miranda	DOUTORADO	DEDICAÇÃO EXCLUSIVA

Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo a formação de cada um dos docentes apresentados é possível dividi-los em algumas linhas de pesquisa com a quais desenvolvem suas atividades e realizam trabalhos. Alguns desses segmentos apresentados em suas pesquisas, são caracterizados da seguinte forma:

- Análise da Acessibilidade das Pessoas com Restrição de Mobilidade;
- Estudos dos Impactos dos Sistemas Transporte e de Trânsito;
- Gerenciamento de Projetos.
- Gestão do Território e Sistemas de Transporte;
- Modelos Analíticos e de Simulação;
- Pesquisa Domiciliar de Origem-Destino;
- Planejamento de Transportes;
- Sistema de Apoio a Tomada de Decisão;

É válido ressaltar que, em seus projetos, alguns destes docentes realizam atividades acadêmicas a partir da contratação discentes-bolsistas (iniciação científica e/ou extensão), que por meio das pesquisas realizadas, permitem obter respostas quanto aos desafios relacionados à mobilidade, viabilizando a estes alunos tanto a imersão no mercado de trabalho quanto, a estimulação de estudos/pesquisas de natureza científica e/ou tecnológica.

2.3 COMPETÊNCIA E REGISTRO PROFISSIONAL

O curso está inserido na Tabela de Títulos Profissionais do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia - CREA/BA, e as atribuições são estabelecidas segundo a Resolução N^o 313 de 26 de setembro de 1986, do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia – CONFEA (CONFEA,1986):

Art. 3^o - As atribuições dos Tecnólogos, em suas diversas modalidades, para efeito do exercício profissional, e da sua fiscalização, respeitados os limites de sua formação, consistem em:

- 1) elaboração de orçamento;
- 2) padronização, mensuração e controle de qualidade;
- 3) condução de trabalho técnico;
- 4) condução de equipe de instalação, montagem, operação, reparo ou manutenção;
- 5) execução de instalação, montagem e reparo;
- 6) operação e manutenção de equipamento e instalação;
- 7) execução de desenho técnico.

Parágrafo único - Compete, ainda, aos Tecnólogos em suas diversas modalidades, sob a supervisão e direção de Engenheiros, Arquitetos ou Engenheiros Agrônomos:

- 1) execução de obra e serviço técnico;
- 2) fiscalização de obra e serviço técnico;
- 3) produção técnica especializada.

CONFEA (1986)

3 O PERFIL DOS DISCENTES DO TECNÓLOGO EM TRANSPORTE

3.1 A PESQUISA E A METODOLOGIA

Com a finalidade de conhecer melhor o perfil dos estudantes do Curso Tecnólogo em Transportes Terrestres e suas deficiências, a Coordenação do CSTTT em conjunto com seus bolsistas se decidiu elaborar uma pesquisa sobre o perfil e as impressões dos discentes, ex-discentes e/ou concluintes.

A fim de se atingir este objetivo foi desenvolvida uma pesquisa, através de um questionário estruturado, contendo dezesseis perguntas, que versam sobre: gênero, faixa etária, ano de ingresso, opção de curso, atividades desenvolvidas em turnos opostos, grade curricular, trancamento e evasão.

Para aplicação dessa pesquisa, utilizou-se a plataforma digital do *Google Docs*, com a seguinte identificação – *Perfil dos Discentes do Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre - UFBA*, e em seguida, foi enviado o link do questionário para todas as pessoas que têm seus e-mails cadastrados no banco de dados da Coordenação, sendo estes discentes, ex-discentes e/ou concluintes.

3.2 RESULTADOS DA PESQUISA

Depois de realizada a pesquisa e tabulados os resultados, a os mesmos foram agrupados em grupos maiores para um melhor entendimento quanto às características dos alunos do CSTTT.

3.1 GÊNERO, FAIXA ETÁRIA, ANO DE INGRESSO E PRIMEIRA GRADUAÇÃO.

A primeira etapa da pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de obter uma caracterização básica a respeito dos ingressos no curso. Quanto ao gênero foram apresentadas três opções: masculino, feminino, ou outros, onde a pessoa especificou outra categoria não mencionada, dessa forma obteve-se um retorno de que 63,3 % dos discentes são do sexo masculino e 36,9% do sexo feminino. Não retornando nenhuma resposta que não essas duas categorias.

Já em relação a faixa etária, foram especificados intervalos, onde a primeira faixa com idade entre 17 e 22 anos correspondeu a um percentual de 23,3%, a segunda com idade entre 23 e 28 anos, que se mostrou a dominante com 30% das respostas, a terceira e a quarta com intervalos entre 28 e 33 e 33 e 38 anos, respectivamente, alcançaram ambas a porcentagem de 13,3%, a quinta e última faixa com um intervalo aberto para pessoas com mais de 38 anos correspondeu a um total de 20,1%.

Quanto ao ano de ingresso, disponibilizou-se o período dos 5 anos anteriores ao ano de 2018, visto que os alunos têm até 5 anos para concluírem a graduação tecnológica, no máximo, contudo também foi inserida a opção “outros” caso algumas das pessoas que responderam a pesquisa tenham ingressado anteriormente a 2013, podendo a mesma identificar o ano em que ingressou. Outra observação a ser feita é de que só foram considerados os anos, independente se o ingresso foi pela entrada regular, ou seja, no primeiro semestre de cada ano letivo ou por meio de vagas residuais no segundo semestre do ano.

Das respostas obtidas, constatou-se que 20% das respostas são de ingressos do ano de 2018, 3,4% são referentes ao ano de 2017, enquanto que 26,6% das pessoas que responderam ao questionário ingressaram em 2016, 16,7 % em 2015, 13,3% para ambos os anos de 2014 e de 2013 enquanto que 6,7% em 2012.

3.2 OPÇÃO DE CURSO, FINALIDADE DE INGRESSO E ATIVIDADES DIÁRIAS

Esta parte da pesquisa destinou-se a indagar o motivo da escolha do curso, e se esta era a real intenção dos alunos que ingressaram: cursar Tecnologia em Transporte Terrestre. Visto que pelo atual sistema de ingresso na UFBA se dá através Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM/ Sistema de Seleção Unificada - SISU, onde é possível escolher dois cursos, um como primeira opção e um outro como segunda opção caso não ingresse no curso escolhido como prioridade. Deste modo, foi observado que 66,7% dos entrevistados ingressaram em sua primeira opção de curso, ou seja, escolheram o curso como primeira opção e que 36,7% não ingressaram em sua primeira opção, sendo sua segunda opção.

Nesta linha de perguntas, identificou-se que 6,8% dos entrevistados ingressaram no curso com o intuito de migrar para outros cursos da mesma área (área I), 6,6% ingressaram com o intuito de migrar para cursos de outras áreas e 86,6% não entraram com o propósito de migrar de curso.

Como o curso é noturno, buscou-se saber também se os ingressos exerciam algum tipo de atividade nos turnos opostos às aulas e deslocamento para a universidade, como resultado, 80% dos

entrevistados desenvolvem alguma atividade durante o dia, que 6,7% não desenvolvem quaisquer atividades e 16,7% desenvolvem algum tipo de atividade às vezes.

3.3 ASPECTOS GERAIS LIGADOS AO CURSO

Nestas etapas foram buscadas respostas a respeito da visão do ingresso em relação ao curso, sua localização, o turno, a grade e como está o relacionamento com o mesmo. E dessa forma, foi questionado se o deslocamento, desde a origem da viagem até o destino - a Escola Politécnica - se mostrou desfavorável ou não, o que resultou que 60% dos entrevistados concordam que o deslocamento até a universidade é desfavorável enquanto 40% discordam, não encontrando transtornos para realizar o trajeto.

Quanto ao turno, 83,3% concordam que o curso noturno é perigoso/inseguro, enquanto 13,3% discordam e 3,3% responderam que o fato não é o turno do curso e sim um problema de segurança pública de forma geral na cidade.

Quanto a grade curricular atual, 46,7% concordam que a mesma não é adequada para a classificação do curso, enquanto 46,7% não veem problemas na grade, e 6,6% não concordam nem discordam, apenas sugerem que seja feita a inclusão de disciplinas relacionadas a Psicologia e Segurança no Trânsito, com 3,3% e 3,3% diz que é preciso uma clareza no objetivo da formação dos alunos.

Relacionado às disciplinas ofertadas, 63,3% afirmaram que ingressaram no curso qualificando que o mesmo não continha disciplinas com conteúdos de ciências exatas, e 33,3% afirmaram que sabiam da existência destas disciplinas e 3,3% respondeu a opção "outros".

E como alerta das adversidades diárias, o trancamento curricular se tornou uma "válvula de escape" para os alunos, onde, 53,4% nunca efetuaram algum tipo de trancamento curricular, enquanto que 23,3% realizaram em algum momento o trancamento parcial, outros 23,3% já realizaram o trancamento total de curso totalizando um percentual de 46,6%, ou seja, quase 50% dos alunos já realizaram algum tipo de trancamento curricular.

Dentre estes trancamentos 33,3% realizaram esse procedimento apenas uma vez, enquanto 16,7% realizaram entre duas à três vezes. E como reflexo desses trancamentos observa-se que 66,6% das pessoas que responderam ao questionário não pensam e/ou nunca pensaram em abandonar o curso, 3,3% já abandonou ou pensa em abandonar, por motivos de viagens a trabalho, 3,3% devido a própria saúde ou de terceiros, 3,3% por não se identificar no curso, 10% por fadiga e desestímulo para frequentar as aulas noturnas, 6,9% por não concordar que a grade curricular seja adequada e 6,6% por

outros motivos. O que representa 66,6% contra 33,4%. Nesta vertente, 80% sugeriram mudança na grade curricular e aumento de atividades complementares como seminários, palestras e atividades práticas e os outros 20% preferiram não opinar a respeito do tema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito às questões relacionadas à cidade de um modo geral, profissionais técnicos responsáveis pelo planejamento e gestão do espaço urbano há vários especialistas em suas áreas de atuação (Engenharia, Urbanismo, “Arquitetura e Urbanismo”, Geografia, Sociologia, etc.) e que fornecem leituras mais específicas e necessárias sobre a mobilidade urbana, sobre a cidade, no que tange às suas especialidades, e conjuntamente contribuem para o processo de planejamento e gestão de transportes.

Na área de Mobilidade Urbana - Trânsito e Transporte, durante a conjuntura de pensamentos e pensadores do urbano, também se fazem necessários profissionais especialistas em transporte e suas áreas correlatas. E isso gera uma reflexão sobre a necessidade de um curso para formar e capacitar profissionais nessa área, preenchendo a esta lacuna do da sociedade e do mercado de trabalho (MAGALHÃES *et. al*, 2013). Há vários profissionais que tem atribuição técnica voltada a Mobilidade urbana, tais como Engenheiros Civis, Urbanistas, Engenheiros Agrimensores, Arquitetos e Urbanistas (CONFEA, 1986; MAGALHÃES *et. al*, 2013). Tais profissionais ligados a Mobilidade, seja ele o engenheiro de transportes ou o tecnólogo de transporte, por exemplo, desde que tenham a devida formação e qualificação para atender estas demandas sociais (MAGALHÃES *et. al*, 2013).

Junto a necessidade de se ter profissionais qualificados, também existe a necessidade de se pesquisar sobre essa temática de forma mais acadêmica em busca de tecnologias atuais e estudos que possam embasar a tomada de decisões dos técnicos nas mais diversas realidades urbanas. Dessa forma, o estudo de trânsito e transporte é de extrema importância para a formação do profissional bem como para o conhecimento acadêmico que está em constante movimento criando um ciclo de conhecimento e provimento de informações. Um ponto que se destaca de forma gritante perante os estudos de transporte é de que através do sistema de transportes que as pessoas se locomovem, se integram-se ao espaço urbano e realizam suas atividades cotidianas.

Com base na pesquisa que foi realizada observou-se uma mudança do perfil dos discentes que ingressam no Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre. Enquanto as primeiras turmas, de 2010.1 até 2012.2, continham apenas alunos que já tinham algum tipo de relação com a área de

transporte e trânsito, sendo em sua maioria atuantes no mercado, com o intuito de aumentar seus conhecimentos técnicos e possuir uma formação à nível superior, os ingressos a partir de 2013.1 já possuíam a primeira graduação, geralmente em Engenharia Civil, Urbanismo e Arquitetura e Urbanismo. E a partir de 2015.1 até o período atual, a maior parte dos ingressos passou a ser composta por pessoas recém-formadas no ensino médio que escolheram como primeira opção o Tecnólogo.

Ao analisar estes dois itens o da importância do Curso e a Pesquisa do Perfil, conclui-se que o Curso Superior de Tecnologia em Transporte Terrestre, apesar do pouco tempo de criação, já está se consolidando entre o meio acadêmico, podendo proporcionar ao estudante um ensino voltado para uma especialidade de suma importância para a sociedade como foi descrito anteriormente, em que pese sua importância regional, como único curso desta modalidade no Norte-Nordeste (MEC, 2018; MAGALHÃES et. al , 2013).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. REUNI - Reestruturação e Expansão das Universidades Federais: diretrizes gerais (Documento Elaborado pelo Grupo Assessor nomeado pela Portaria nº 552 SESu/MEC, de 25 de junho de 2007, em complemento ao art. 1º §2º do Decreto Presidencial nº 6.096, de 24 de abril de 2007). Brasília, 2007.

BRASIL. Nº, L. E. I. 12.587, DE 3 DE JANEIRO DE 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de circulação Urbana, 2012.

CONFEA (Brasil). Resolução nº 313, de 26 de setembro 1986. 1986. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=361&idTiposEmentas=5&Numero=&AnoIni=&AnoFim=&PalavraChave=tecnologo&buscarem=conteudo&vigente=vigenteambos>>. Acesso em: 05 maio 2018.

MAGALHÃES, et. al (2013). Do Fundamento à Formação: O Engenheiro de Transportes e Diretrizes Curriculares. XVIII ANPET. Belém.

MEC – Ministério da Educação (2018). Sistema e-mec. Cursos existentes de Tecnologia em Transporte Terrestre no país. Disponível em: < <http://emec.mec.gov.br/> >. Acesso em 20 de abr. de 2018.

Capítulo 9



10.37423/211205153

RESERVATÓRIOS PARA AMORTECER CHEIAS – VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO NUM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

ANDRÉ LUIZ DE LIMA REDA

Instituto Mauá de Tecnologia

BEATRIZ GOMES BUSSOTTI

Instituto Mauá de Tecnologia

FRANCESCO JUNQUEIRA CASULLI

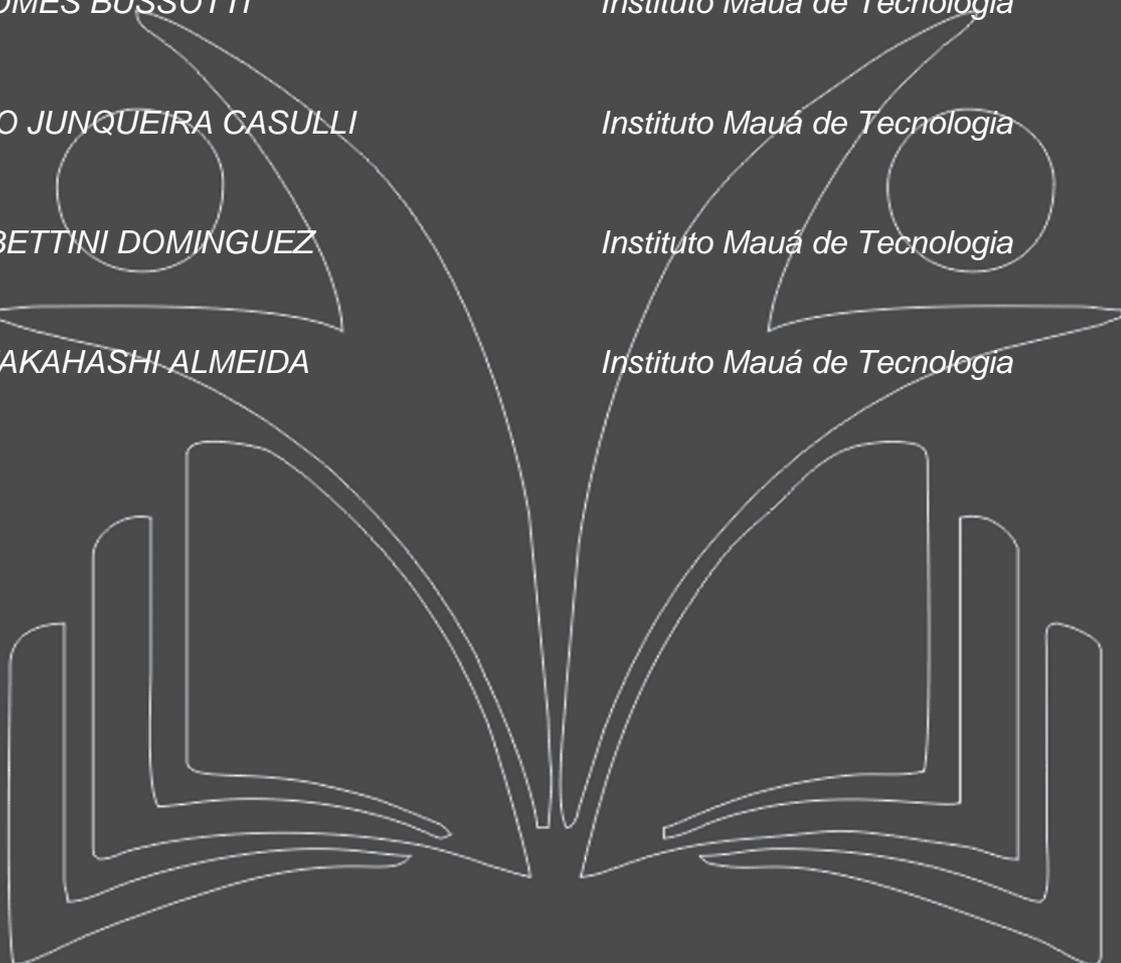
Instituto Mauá de Tecnologia

MARCELO BETTINI DOMÍNGUEZ

Instituto Mauá de Tecnologia

VICTÓRIA TAKAHASHI-ALMEIDA

Instituto Mauá de Tecnologia



Resumo: Chuvas intensas e os transtornos que causam à população são comuns na Região Metropolitana de São Paulo há mais de um século. Limitações no seu sistema de drenagem pluvial provocam alagamentos e inundações, crescentemente presentes no cotidiano. O campus São Caetano do Sul do Instituto Mauá de Tecnologia fica numa bacia inundada com frequência e é objeto deste estudo da viabilidade de implantar reservatórios de amortecimento de cheias – cujo mecanismo se baseia em retardar o aporte da água pluvial ao destino final para reduzir os efeitos das tormentas na região. Essa viabilidade depende da capacidade de amortecimento do reservatório e de aspectos financeiros. As características do sistema de drenagem e a topografia do campus foram base para o estudo, que começou por uma revisão bibliográfica dos métodos de amortecimento de cheias e dimensionamento de reservatórios. Após locados os reservatórios no campus, usou-se uma planilha Excel específica para neles simular routing matemático de cheia e determinar dimensões. Com base nesse pré-dimensionamento, eles foram orçados para se avaliar sua viabilidade econômica. Concluiu-se que, apesar do considerável amortecimento previsto, o elevado custo de execução estimado requereria uma combinação com medidas compensatórias da parte do poder público para viabilizar sua implantação e incentivá-la.

Palavras-chaves: Drenagem Urbana; Controle de Enchente; Piscinão; Reservatório de Amortecimento; Bacia de Detenção.

1. INTRODUÇÃO

Um problema que aflige a Região Metropolitana de São Paulo são os transtornos, prejuízos e mortes pelas chuvas intensas e consequentes inundações, principalmente no verão. No século XX, sua urbanização foi intensa, dada a acelerada transição do rural ao urbano. Com pouco mais de 31 mil habitantes em 1872, a Região setuplicou sua população no início do novo século e se tornou a maior metrópole do País e da América do Sul na sua segunda metade (SÃO PAULO, 2007). A urbanização extingue áreas vegetadas e alisa superfícies, impermeabilizando-as em parte. Junto a outros de seus fatores, ela eleva o volume do escoamento superficial e as vazões máximas, antecipando picos de cheias. Para mitigar esses efeitos, a gestão pública emprega vários métodos de engenharia, como relata o trabalho base donde foi extraído este (Bussotti et al., 2019). O artigo resume procedimentos e resultados de uma proposta para aproveitar e adaptar a rede coletora de águas pluviais no Campus São Caetano do Sul do Instituto Mauá de Tecnologia-IMT a conduzir boa parte delas a reservatórios de retenção de cheia e, ainda, oferecê-las para usos não nobres pela Instituição.

O artigo visa elencar potencialidades do uso das bacias de amortecimento de enchentes (“piscinões” e “piscininhas”, conforme seu porte), exemplificando-as ao explorar a viabilidade desta proposta desse tipo de medida para o Campus São Caetano do Sul do IMT.

2. ASPECTOS DO LOCAL ESTUDADO E DA BACIA DO RIO TAMANDUATEÍ

Desde o século XIX, quando o rio Tamanduateí invadia a Várzea do Carmo, perto da sua foz, no rio Tietê (hoje Parque Dom Pedro, em São Paulo), estudam-se suas inundações. Também inundava a montante, no ABC Paulista – São Caetano, São Bernardo, Santo André e Mauá. Medindo 35 km desde sua nascente, em Mauá, é o principal curso d’água da região do ABC. DAEE (1998) elenca suas vazões máximas anuais por muitas décadas: pico de 30 m³/s na Várzea do Carmo em 1893; depois, picos de 120 m³/s em 1930, 484 m³/s em 1977 e 800 m³/s no fim do século XX. Porém, o projeto de canalização, iniciado por obras na década de 1980, concebia uma calha para meros 480 m³/s – o que exigiu seguidas obras de ampliação, numa luta contra o tempo. Seu curso urbano ainda sofreu repetidos trabalhos de retificação no último século, elevando a vazão máxima admissível. O Consórcio Intermunicipal do Grande ABC atua desde 1990 administrando essa questão e determinou a construção de 46 piscinões na Região. No âmbito não estrutural, mudanças e adaptações também ocorreram nas legislações municipais de uso e ocupação do solo (DAEE, 1998).

FIGURA 1 - Campus do IMT. Fonte: Google Earth (2019).



O Campus São Caetano do IMT fica na bacia do ribeirão dos Meninos (Figura 1), afluente do rio Tamandateí. Nos últimos anos, seu entorno tem sofrido com frequentes inundações. Os efeitos conjugados do processo de urbanização descritos em Introdução resultam aumento e antecipação nos picos de vazão fluvial, além de elevação na parcela superficial dos volumes escoados. Há uma diversidade de métodos de engenharia à disposição dos gestores públicos e privados para mitigar tais efeitos. A próxima sessão resume os métodos principais – em especial, reservatórios para amortecimento de enchentes, que este estudo de caso se propõe a avaliar quanto à sua instalação dentro do campus.

3. TIPOS DE MEDIDAS DE CONTROLE DOS IMPACTOS DE INUNDAÇÕES

Canholi (2005) classifica as medidas de controle em estruturais e não estruturais. As estruturais têm caráter físico, requerendo ações de engenharia. São subdivididas em intensivas e extensivas. As intensivas podem ser classificadas nos quatro tipos abaixo:

- a) Ações para acelerar o fluxo a jusante. Exemplo: canalização de trechos de cursos d'água.
- b) Obras para retardar o escoamento a montante. Exemplos: construção de bacias de detenção ou retenção em pontos específicos de curso d'água ou galeria; restabelecimento da geometria natural de um corpo hídrico.
- c) Desvio de escoamento. Exemplos: túneis e canais de desvio de cursos d'água ou galerias.

d) Ações individuais nas edificações para blindá-las contra as consequências da inundação. Exemplo dessas medidas são os pôlderes com comportas em torno de edificações privadas.

Medidas extensivas incluem mudanças no uso e cobertura de partes de bacia urbana de porte relevante servidas por rede de drenagem. Exemplos: muitos reservatórios pequenos a jusante de pequenas áreas contribuintes (geralmente privadas) para armazenar temporariamente a água pluvial; reflorestamento para retardar a enxurrada em área com vegetação, por vezes também mitigando a erosão superficial na bacia de drenagem e evitando assoreamento a jusante.

Medidas não estruturais atuam nas esferas legal e institucional. Regem o uso de solo e a eventual urbanização em bacia contribuinte de curso d'água com problemas reais ou potenciais de inundação ou em área já afetada (nesta, para evitar usos sensíveis a inevitável inundação).

Sem intervenção física real, tais ações abrangem: zoneamento de áreas que sofrem inundação ou já afetadas; previsão de cheia; seguro contra inundação, leis relativas ao assunto; sistema de alerta de extravasamento em várzea sob risco. Sua eficiência depende de participação ativa da população e do governo, responsável pela ordenação legal e fiscalização.

A drenagem urbana começa nas propriedades e edificações individuais e coletivas, que contribuem com o sistema público de drenagem, composto de duas partes: microdrenagem e macrodrenagem. A primeira inclui pavimento de rua, galeria, poço de visita, boca de lobo, meio-fio, sarjeta, sarjetão, conduto forçado e estação de bombeamento. Dimensiona-se, em geral, para enxurradas de período de retorno de 10 a 15 anos. Visa evitar alagamentos em áreas menores e seu projeto se realiza passo a passo, trecho a trecho, combinando estudos, cálculos e decisões que envolvem topografia, terraplenagem, pavimentação, projeto urbano, hidrologia e hidráulica – simultânea, interativa e iterativamente, não havendo solução única no processo de criação (TUCCI, 2009). A macrodrenagem ocorre em fundos de vale importantes, com talvegue bem definido, mesmo que sem escoamento permanente (SÃO PAULO, 2012). Engloba medidas estruturais com obras de considerável dimensão, projetadas para cheias com períodos de retorno da ordem de 100 anos ou pouco superior – canais naturais ou projetados, reservatórios de retenção e detenção e galerias de maiores dimensões. Visa concentrar a condução das águas pluviais da bacia, recebendo as contribuições dos subsistemas de micro drenagem dentro dela. Também está sujeita a medidas não estruturais vigentes e pode, de modo ativo, levar à implantação de novas medidas deste tipo que possam servir a objetivos de planejamento. Seu dimensionamento se baseia, frequentemente, na consideração de um hidrograma de enchente de projeto, por drenarem bacias de médio porte (REDA, 1986). Na maioria das etapas de

fluxo e de cálculo das redes de micro- e macrodrenagem, o projeto pode empregar ou respeitar medidas estruturais ou não estruturais de controle de enchentes.

O rápido adensamento urbano pelo crescimento populacional do século XX tornou infraestruturas de drenagem dimensionadas do modo tradicional acima descrito insuficientes em muitas metrópoles, requerendo medidas não convencionais de drenagem, desde o âmbito da drenagem predial até a macrodrenagem pública. Canholi (1995) aborda novos conceitos de projeto de drenagem urbana surgidos em países desenvolvidos, agora internacionalmente propagados para reduzir a velocidade do escoamento, que aumentava com a implantação de canais e superfícies impermeabilizadas. Novas metodologias incorporam técnicas usuais e não usuais, tais como retenção em reservatório, reabertura de canal que tinha sido fechado e renaturalização de superfície impermeabilizada (estacionamento, pátio e praça, por exemplo). Telhado verde, pavimento permeável, boca de lobo retentora de resíduos, sarjeta permeável e poço e vala de infiltração também são exemplos de medidas não convencionais de pequeno porte que podem ajudar a contrabalançar ações que propiciam inundação e até mitigar a poluição difusa, melhorando a qualidade da água fluvial. Reservatórios de acumulação para uso posterior em rega de jardins e praças e como estrutura para barrar e dissipar energia e retardar enxurradas em canais também são exemplos dessas medidas, tanto em propriedades privadas quanto em redes de micro e macrodrenagem, revisados em Bussotti et al. (2019) – em especial, reservatórios de amortecimento, método aplicado ao estudo aqui sucintamente descrito. Esses reservatórios de águas pluviais são classificados sob três critérios, como segue:

- a) De *detenção* (volume detido é todo restituído ao fluxo após o pico da cheia) ou de *retenção* (parte do volume armazenado é retida – para infiltrar no solo ou para algum tipo de uso);
- b) *On line* (volume útil de armazenamento é contíguo à calha do rio, como extensão da várzea) ou *off line* (volume útil isolado da calha do rio; pode-se abrir ou fechar sua conexão com ela);
- c) De *porte pequeno* (“piscininha”) ou *grande* (“piscinão” – geralmente para macrodrenagem).

4. BREVE DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO

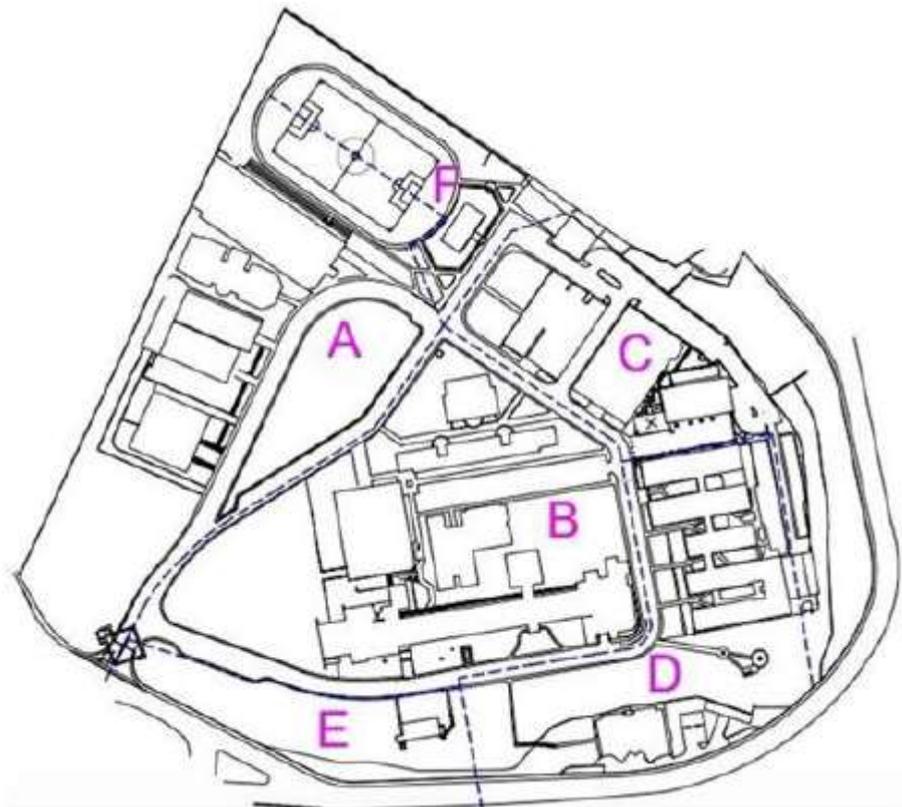
O Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), fundado em 1961, visa melhorias e atualização em ensino e pesquisa, ciência, desenvolvimento tecnológico e gestão, da graduação à pós-graduação. Seu curso de Engenharia Civil inclui pesquisa científica e tecnológica visando benefícios sociais e ambientais – sendo exemplo o Trabalho de Conclusão de Curso-TCC aqui resumido. Em São Caetano do Sul está seu principal campus universitário, com 130.000 m², a 12 km do centro de São Paulo. Sua infraestrutura

inclui biblioteca, prédios com salas de aula e administrativos, laboratórios e Centro de Atividades Físicas. Propõe-se, aqui, implantar pequenas bacias de amortecimento de cheia e contribuir para minorar as inundações no entorno do Campus, onde o ribeirão dos Meninos extravasa nas cheias e até invade partes mais baixas do campus. O estudo é pioneiro como exemplo para esse tipo de reservatórios num campus universitário privado e visa atenuar inundações no seu entorno pelo armazenamento parcial temporário de água pluvial. Revê os projetos arquitetônico e de drenagem e a planialtimetria do Campus, identificando subáreas de drenagem conforme a direção natural do escoamento, locais de coleta dessas águas e posições favoráveis à implantação dos reservatórios.

5. METODOLOGIA

Após análise das plantas cedidas pela Gerência de Manutenção e Serviços (GMS-IMT) e inspeção do Campus, percebeu-se que, por ficar numa colina, tem várias saídas de água pluvial, o que inviabiliza a implantação de reservatório único para toda a água nele coletada. Então, foi dividido em seis subáreas, denominadas com as letras de A a F (Figura 2), locando-se os reservatórios de forma a promover aproveitamento máximo da rede de drenagem atual. Desconsideraram-se as subáreas E e F nos cálculos pela dificuldade de encaminhar suas águas a um reservatório só para cada uma.

FIGURA 2 - Campus e subáreas. Fonte: Autores.



5.1 DIMENSIONAMENTO DOS TRECHOS DE CONDUTOS DE DRENAGEM

Verificou-se se a rede de drenagem atual pode drenar a chuva no Campus comparando, a cada trecho, capacidade hidráulica à vazão hidrológica estimada. Estimaram-se coeficientes de escoamento superficial, áreas drenadas e intensidade da chuva de projeto. A capacidade hidráulica de conduto foi estimada pela Equação de Manning e vazão hidrológica, pelo Método Racional. Ambos os enfoques foram aplicados a partes definidas de cada uma das áreas A, C e D, sendo cada uma destas tomada não no total, mas trecho a trecho, com a drenagem de cada um contribuindo para o próximo, alinhados na rede de drenagem como detalhado em Bussotti et al. (2019 – Apêndice B). Calculadas as vazões hidrológica e hidráulica para cada trecho, comparou-se uma à outra, verificando-se capacidades hidráulicas ao longo da rede.

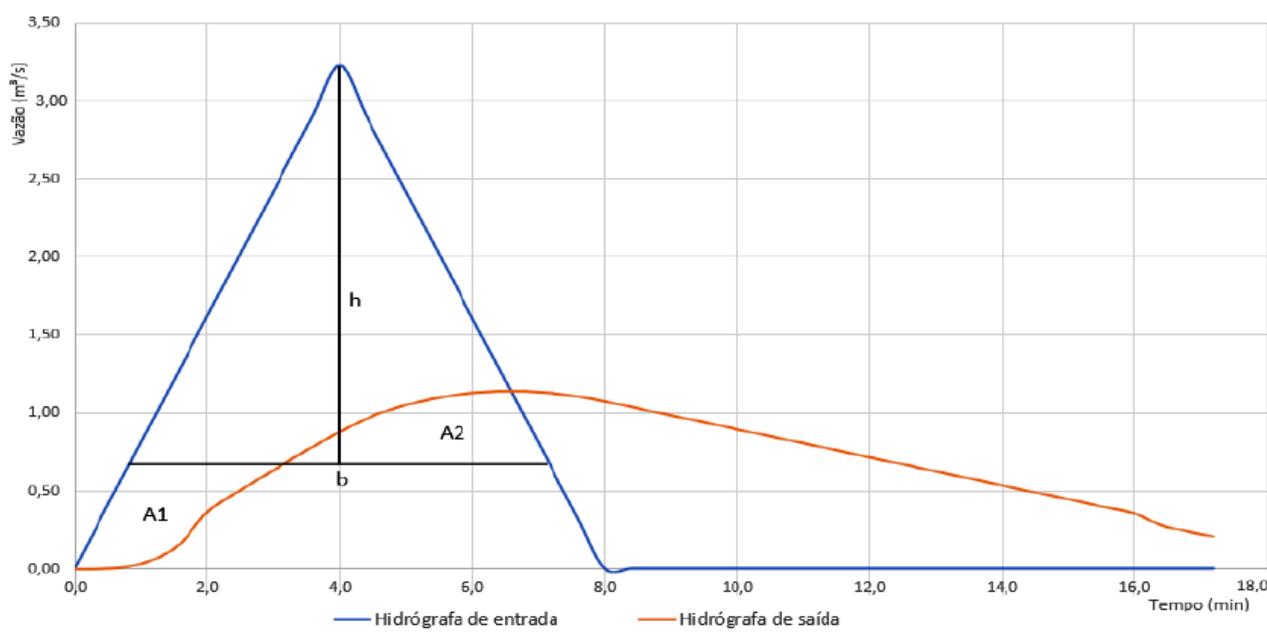
O cálculo hidráulico em tubulações envelhecidas adotou coeficiente de Manning de 0,017 e, nas sarjetas envelhecidas, 0,019 – maiores que 0,012, como indica a Associação Brasileira de Fabricantes de Tubos de Concreto-ABCT para concreto novo (a favor da segurança). Estimadas as vazões de pico e sabendo as características dos trechos de condutos de concreto, estimaram-se, então, velocidades de escoamento, não resultando mais de 5 m/s (o que evita erosão). Alguns trechos têm duas linhas de tubulação em paralelo; neles, somaram-se as duas vazões para obter a capacidade total no trecho. Com base na velocidade da água em cada trecho, calculou-se cinematicamente o tempo de percurso pelo conduto cruzando aquela parte da bacia. Em subáreas da bacia onde a água escoava pela superfície antes de atingir um conduto, estimou-se antes tempo de concentração, t_c , naquela parte da superfície, pelas fórmulas de Picking, Kirpich e DNOS. A soma do maior desses três resultados ao tempo de percurso no trecho de tubulação a jusante da subárea serviu como tempo de duração para estimar a intensidade da tormenta para calcular a vazão de projeto pelo método racional – como detalham Bussotti et al. (2019). Os coeficientes de *runoff* usados para cada tipo de superfície foram: para área impermeável, 0,95; para jardim, 0,75; para campo de futebol, 0,70; para estacionamento calçado com brita, 0,80.

5.2 DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DE AMORTECIMENTO OU PISCININHAS

Para cada sub-bacia (A, B, C ou D), busca-se o hidrograma de saída de projeto, a ser amortecido pelo respectivo reservatório (que ficaria no seu exutório). Para estimar a vazão de pico desse hidrograma (dado de entrada para dimensionar reservatório), estima-se antes o tempo máximo de percurso na sub-bacia, somando os tempos de percurso parciais na respectiva sequência de trechos – inclui

escoamento superficial e por condutos abertos e fechados. Adota-se esse tempo como duração da tormenta de projeto na equação regional de chuva intensa, que calcula a intensidade para estimar vazão de projeto na sub-bacia pelo Método Racional – a ser adotada no pico do hidrograma. Esse tempo máximo de percurso também é usado como tempo de pico do hidrograma de saída da sub-bacia. Adotando tempo de base igual ao dobro do tempo de pico e a vazão e o tempo de pico descritos acima, desenha-se um hidrograma simplificado, triangular (detalhes em BUSSOTTI et al., 2019). Daí, estima-se o amortecimento que o reservatório proposto produziria nesse hidrograma pela Planilha Excel com programação VBA criada e cedida pelo engenheiro pesquisador Matheus Cicolani, que adota o método de Puls (TUCCI, 2009) no *routing* matemático de reservatório e aceita geometria de reservatório e estruturas extravasoras a critério do projetista (CICOLANI, 2019). Para cada reservatório, resulta um hidrograma amortecido, como exemplifica a Figura 3 no caso da sub-bacia A.

FIGURA 3 - Hidrogramas de Entrada e Saída – reservatório da sub-bacia A. Fonte: autores.



Daí, estima-se o volume máximo que o reservatório armazenaria no instante crítico (volume de projeto), bem como profundidade máxima de projeto. No exemplo da sub-bacia A, Figura 3, a diferença das áreas sob os hidrogramas de entrada e de saída até o instante de pico deste é igual ao valor do volume máximo a ser suportado no instante crítico do amortecimento, ou seja, o “volume de projeto”. Com base na área disponível para construir o reservatório e a geometria desejada, estima-se sua profundidade. Na Figura 3, sendo as áreas A1 e A2 iguais, a área sob o triângulo indica o volume de projeto, por compensação de integrações gráficas. A planilha já faz essa estimativa e esse traçado (mais informação em BUSSOTTI et al., 2019).

6. RESULTADOS

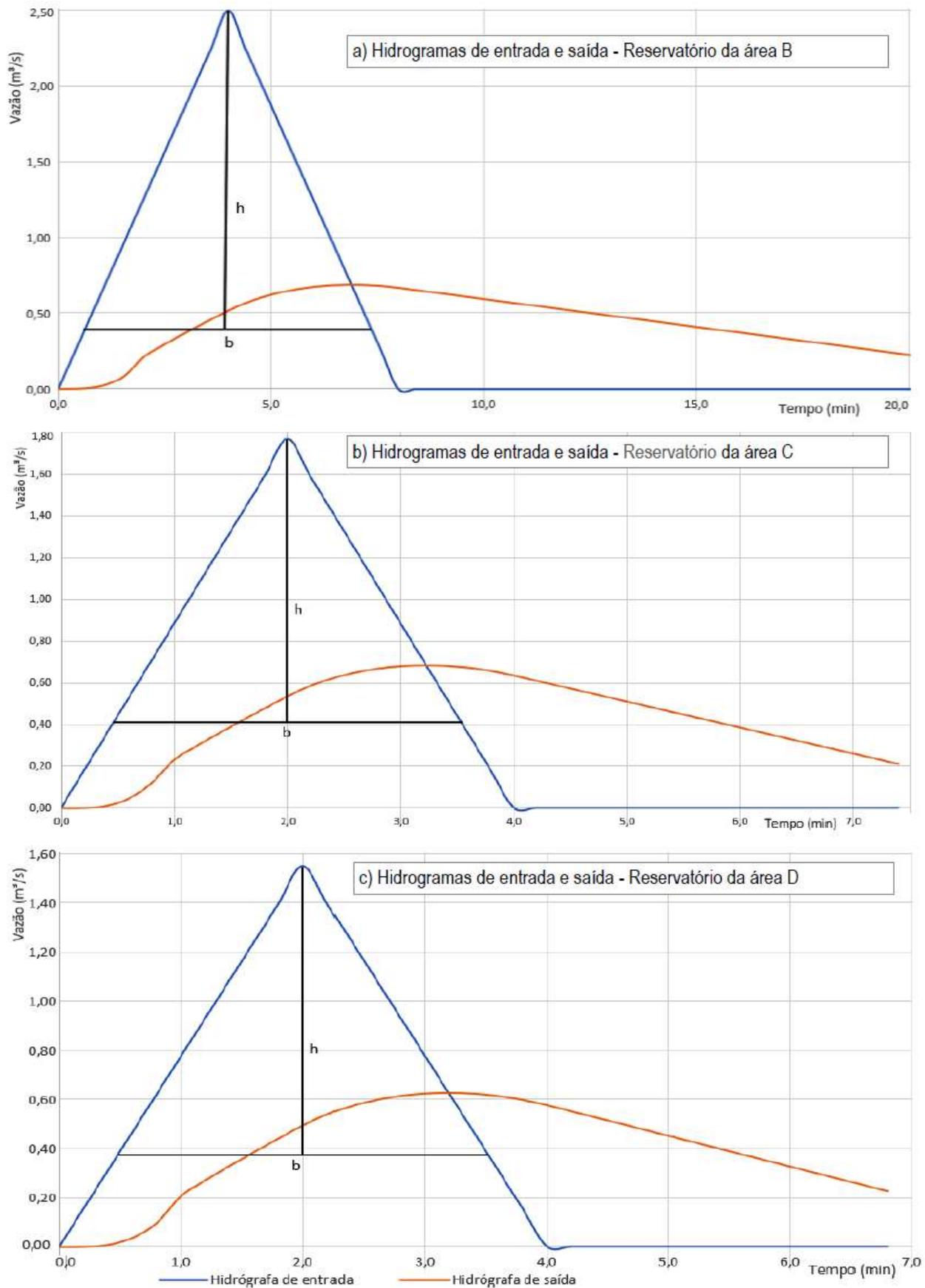
Após o estudo acima para as sub-bacias (BUSSOTTI et al., 2019), verificou-se se as capacidades hidráulicas calculadas para os trechos de rede de drenagem suportariam as vazões hidrológicas máximas estimadas. A verificação foi feita por amostragem, apenas nas sub-bacias A, C e D, resultando os valores da Tabela 1. O fato de A e C mostrarem vazão hidrológica acima da capacidade hidráulica não necessariamente denota rede mal projetada, pois talvez as escolhas feitas no projeto para os valores de rugosidade, declividade e dimensão de seção não coincidiram com as estimativas em campo pelos autores, feitas de forma expedita, sujeitas às dificuldades inerentes a uma rede enterrada, sem documentação completa nem acesso à medição geométrica. Admitindo os valores da Tabela 1, neste exemplo de cálculo se considera que, mantendo a rede existente, seria necessário adotar medidas de amortecimento nas sub-bacias A e C e, no caso da sub-bacia D, um eventual amortecimento por reservatório seria aparentemente desnecessário sob o prisma da drenagem interna do campus – mas, se adotado, poderia contribuir para mitigar picos de enchente na região. Assim, seguiu-se com este exemplo de estudo de viabilidade da adoção de reservatórios.

TABELA 1 - Comparação das vazões máxima hidrológica e de capacidade hidráulica estimadas.

Método Hidráulico	Método Hidrológico
m ³ /s	m ³ /s
0,097	0,198
0,418	0,647
4,930	1,121

Considerando que os resultados da estimativa de hidrograma de entrada para anteprojeto de reservatório e de pico do hidrograma de saída obtidos pelo routing matemático na planilha Excel já foram apresentados no caso da sub-bacia A – como exemplo em Metodologia – agora a Figura 4 mostra o processo gráfico e os respectivos resultados para as sub-bacias B, C e D.

FIGURA 4 - Hidrogramas de entrada e saída. Reservatórios: sub-bacias B, C e D. Fonte: autores.



Estimaram-se dimensões para os quatro reservatórios, que são mostradas na Tabela 2.

TABELA 2 – Dimensões obtidas para os quatro reservatórios pré-dimensionados

Sub-Área	Dimensões m	Profundidade m	Volume m ³	Diâmetro do orifício de Saída m
A	10 x 17	3,10	518,50	0,50
B	17 x 10	2,50	425,00	0,40
C	5 x 10	2,70	135,00	0,40
D	5 x 10	2,10	105,00	0,40

7. ORÇAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

Com base nas dimensões estimadas dos quatro reservatórios propostos, efetuou-se seu pré-orçamento, cujos resultados são detalhados de forma sucinta como exemplifica a Tabela 3, para a subárea A – que contaria com um reservatório com saída por orifício, com implantação orçada em R\$ 901.322,62. Tabelas análogas para os reservatórios das subáreas B, C e D são detalhadas no trabalho completo de Bussotti et al. (2019), sendo seus custos de implantação estimados, respectivamente, em R\$ 838.314,06, R\$ 381.182,35 e R\$ 349.436,47. Essa implantação de quatro reservatórios perfaria um orçamento de R\$ 2.470.255,50, só viável se alguma compensação fosse possível – por exemplo, incentivos fiscais por redução de impostos.

TABELA 3 – Exemplo de orçamento de reservatório resultante do estudo – para a subárea A. Fonte: Autores.

RESERVATÓRIO A	DESCRIÇÃO DE COMPONENTES	QUANTIDADE	UNIDADE	UNITÁRIO	BDI	TOTAL
	Sondagem	2	furos	R\$ 5.000,00	R\$ 6.750,00	R\$ 13.500,00
	Escavação mecânica C/ Bota Fora (Medido no Corte)	811,80	m ³	R\$ 14,18	R\$ 19,14	R\$ 15.540,29
	MO - Escavação	811,80	m ³	R\$ 21,29	R\$ 28,74	R\$ 23.332,35
	Reaterro	242,95	m ²	R\$ 10,81	R\$ 14,59	R\$ 3.545,49
	MO - Reaterro	242,95	m ³	R\$ 21,29	R\$ 28,74	R\$ 6.982,75
Reservatório	Concreto Fck=40 Mpa	134,50	m ³	R\$ 330,51	R\$ 446,19	R\$ 60.012,35
	MO - Concreto	134,50	m ³	R\$ 570,00	R\$ 769,50	R\$ 103.497,75
	Formas	1614,00	m ²	R\$ 52,00	R\$ 70,20	R\$ 113.302,80
	MO - Formas	1614,00	m ¹³¹	R\$ 25,00	R\$ 33,75	R\$ 54.472,50
	Armadura	10760,00	kg/m ³	R\$ 6,47	R\$ 8,73	R\$ 93.932,38
	MO - Armadura	10760,00	kg/m ³	R\$ 25,00	R\$ 33,75	R\$ 363.150,00
Orifício de saída	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 500mm	100	m	R\$ 123,19	R\$ 166,31	R\$ 16.630,65
	Assentamento de tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 500mm	100	m	R\$ 53,12	R\$ 71,71	R\$ 7.171,20
Projeto	Projeto					R\$ 26.252,12
VALOR TOTAL PARA O RESERVATÓRIO DA SUBÁREA A						R\$ 901.322,62

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Resumem-se, aqui, resultados parciais do estudo da viabilidade técnico-econômica de implantar reservatórios amortecedores de enchentes no Campus São Caetano do Sul do IMT, com anteprojetos de reservatórios para deter as enchentes oriundas das bacias parciais do Campus, como exemplo do potencial desse tipo de iniciativa em mitigar inundações regionais.

As conclusões sobre a viabilidade desse tipo de reservatório não têm abrangência genérica, seja para campi universitários ou outros tipos de ocupação do solo urbano. No entanto, o mecanismo de cálculo aqui proposto pode ser útil futuramente para a própria Instituição ou para quem mais decida empreender similar tarefa, com mais dados, detalhamento, tempo e recursos financeiros – quiçá, conjugados a outras medidas de controle.

Tanto no caso estudado quanto noutros, congêneres, pode-se potencializar a viabilidade econômica da adoção de reservatórios conjugando-a a medidas tais como incentivo fiscal para a redução de picos de contribuição à rede pública de drenagem; ampliação da área construída permitida como compensação pela detenção ou a retenção das chuvas; redução no consumo da água de abastecimento público para usos não de potabilidade, substituindo-a pela pluvial.

Em continuidade a este trabalho, sugerem-se: a) estudo econômico de aproveitamento da água reservada para usos adequados; b) dimensionamento estrutural dos reservatórios que permita orçamento completo, mais realista; c) estudos de caso com orçamento e análise de viabilidade econômica comparando o uso de reservatórios com outras medidas de gestão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas da GMS-IMT pelo relevante apoio ao providenciar as informações que serviram como inestimável base para a confecção deste estudo.

REFERÊNCIAS

- BUSSOTTI, B.G.; CASULLI, F.J.; DOMINGUEZ, M.B.; ALMEIDA, V.T. (2019). Viabilidade de implantação de um reservatório amortecedor de enchente numa área não pública. 108 f. Trabalho de conclusão de curso - Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2019.
- CANHOLI, A.P. Drenagem urbana e controle de enchentes. S. Paulo: Oficina de Texto, 2005.
- CANHOLI, A. P. Soluções estruturais não convencionais em drenagem urbana. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- CICOLANI, M.D. Programa para dimensionar reservatório de amortecimento de enchentes em área urbana com base em planilha Excel com aplicação a um estudo de caso. Relatório (Iniciação Científica, Engenharia Civil) - Universidade Presbiteriana Mackenzie - Escola de Engenharia, São Paulo, SP, 2019.
- SÃO PAULO, Prefeitura Municipal de. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Histórico Demográfico do Município de São Paulo. Disponível em
- <http://smul.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/tabelas/pop_brasil.php>. Acesso em 28 de setembro de 2019.
- REDA, A.L.L. (1985). Regionalização do hidrograma unitário para bacias rurais do Estado de São Paulo. 296p. Dissertação (Mestrado, Engenharia Civil) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, Dep. de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 1985.
- TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

Capítulo 10



10.37423/211205157

CONSTRUINDO UMA PONTE DE MACARRÃO

Glauceny Cirne de Medeiros

Universidade Católica de Brasília

Danillo José Vieira Gonçalves

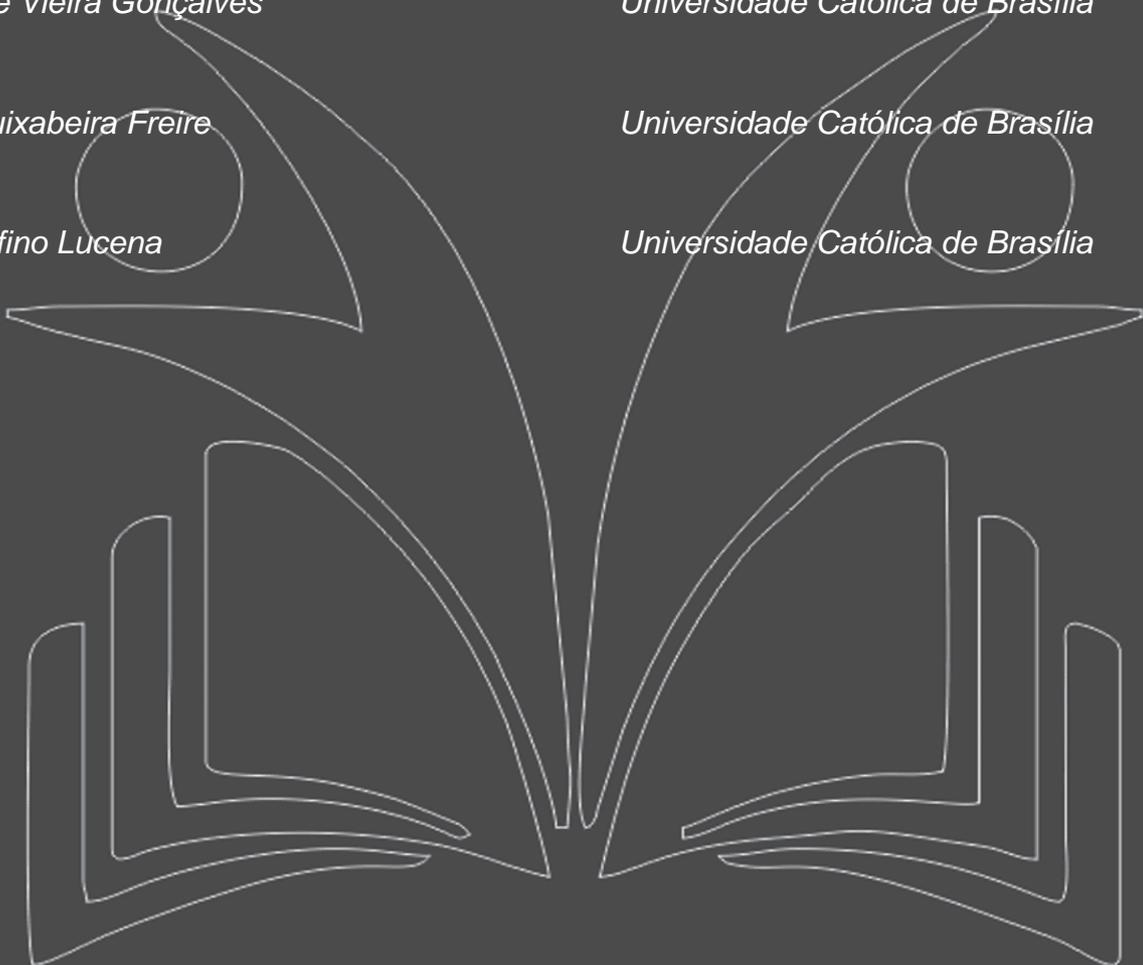
Universidade Católica de Brasília

Douglas Quixabeira Freire

Universidade Católica de Brasília

Gabriel Delfino Lucena

Universidade Católica de Brasília



Resumo: *Tem se constatado em várias experiências pedagógicas que uma forma de se obter êxito no processo ensino aprendizagem é através de práticas. Associar a teoria à prática provoca grande motivação nos alunos e uma vez colocada à mão na massa, a aprendizagem é mais significativa. Nesse sentido, a Universidade Católica de Brasília vem realizando a competição da ponte de macarrão, para complementar o estudo feito nas disciplinas de Mecânica dos Sólidos I, II e III, oferecida no fluxograma do curso. Esse trabalho tem como objetivo mostrar um pouco de nossa competição, apresentando resultados e dicas de como construir a ponte. Segundo depoimento dos alunos, a experiência agrega muito valor na graduação dos mesmos, que passa a ter outra perspectiva sobre o curso ao participar, pois vivenciam na prática o que é visto em sala de aula, aproximando a teoria ao mundo real.*

Palavras-chave: *Ponte de macarrão, Competição, Projeto.*

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Católica de Brasília - UCB, por meio do seu Grupo PET – Programa de Educação Tutorial vêm realizando há quatro semestres a Competição da Ponte de Macarrão. A competição é aberta a toda a comunidade acadêmica dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e nas quatro edições do evento, participaram em média 40 grupos, envolvendo 200 pessoas diretamente.

O objetivo principal do trabalho proposto é motivar nos alunos o desenvolvimento de habilidades que lhes permitam:

- ✓ aplicar conhecimentos básicos de Mecânica dos Sólidos para resolver problemas de Engenharia.
- ✓ utilizar computadores para resolver problemas de Engenharia.
- ✓ projetar sistemas estruturais simples.
- ✓ comunicar e justificar seus projetos em forma oral e escrita.
- ✓ trabalhar em grupo para executar seus projetos.

A competição tem sido realizada em várias instituições do país, com o intuito de proporcionar aos seus alunos oportunidades lúdicas de aprendizagem. É uma competição diferente, pois faz o aluno trabalhar em equipe e aprender a dimensionar uma ponte treliçada de macarrão. Cada competição abrange um edital onde são especificados parâmetros, tais como: tipo do macarrão a ser usado, colas permitidas, materiais para os apoios e a espessura da barra de aço que deve ser colocada no meio da estrutura (onde serão colocados os pesos no dia da competição). Todas as condições especificadas no edital devem ser seguidas à risca, sob penalização do grupo ficar impedido de participar caso alguma medida esteja em desconforme com o que foi proposto.

A competição consiste da construção e o teste de carga de uma ponte treliçada. A ponte deverá ser construída utilizando apenas massa do tipo espaguete número 7 da marca Barilla e colas epóxi, do tipo resina e cola quente (tipo silicone, aplicada com pistola).

Construindo Uma Ponte De Macarrão

Figura 1 – Materiais utilizados na ponte.



Espagueti BARILLA Nº 7



Colas Epoxi Tipo Resina



Colas Epoxi Tipo Massa



Cola Quente em Pistola

A competição apresenta muitos pontos positivos com relação ao aprendizado que os alunos podem adquirir participando da mesma. Alguns conhecimentos da área de Engenharia Civil são essenciais para a execução do projeto, tais como: Resistência dos Materiais, Pontes, Desenho Técnico (para fazer o desenho do projeto), Cálculo Estrutural, além de ensinar ao aluno a pensar e trabalhar em grupo, executar um projeto, calcular, montar e fazer o acabamento e estética da ponte.

Ao participar de várias competições ao longo do curso, o aluno passa a ter uma análise mais crítica sobre o próprio projeto, passa a identificar as possíveis falhas e erros, aprende uma maneira nova de executar a montagem e a colagem das barras, o grupo redimensiona o projeto para melhorar a estimativa de carga. O aluno e o grupo adquirem muito conhecimento na área.

Um sítio na internet da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pode ser usado pelos grupos para auxiliá-los no trabalho da ponte. Nesse sítio, alguns dados importantes com relação a características do macarrão são encontrados e, a partir desses dados, são realizados os cálculos da ponte de cada grupo. A UFRGS disponibiliza esses dados por ser uma instituição que tem mais experiência por ter sido a pioneira no Brasil a realizar esse tipo de competição.

Na Universidade Católica de Brasília (UCB), já foram realizadas quatro competições, organizadas pelo grupo PET – Estruturas, cujos resultados das pontes vencedoras seguem na tabela abaixo:

Construindo Uma Ponte De Macarrão

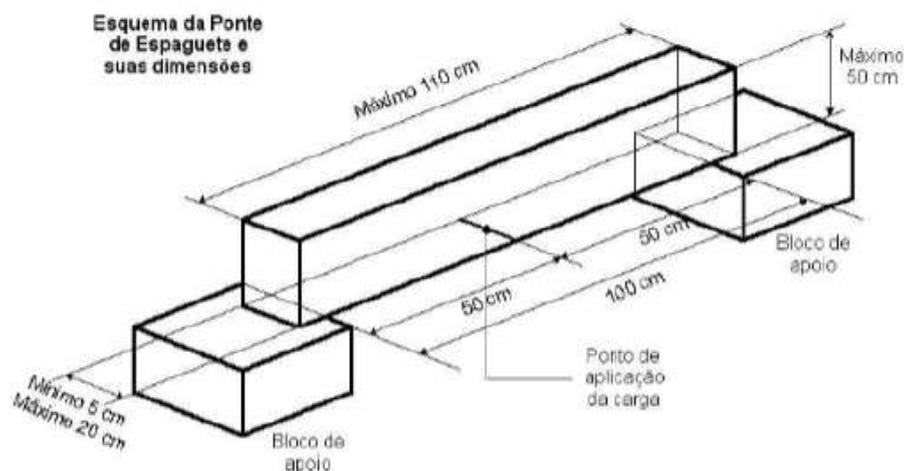
Tabela 1 – Resultados das pontes vencedoras na UCB.

Semestre / Ano	Carga de Ruptura (kgf)
2º / 2014	178,7 kgf
1º / 2015	84,4 kgf
2º / 2015	175,4 kgf
1º / 2016	176,4 kgf

Na UCB, em específico, o edital já traz as especificações das dimensões e do limite de peso próprio que a ponte deve ter. Seguem abaixo as especificações do edital e um croqui da mesma na Figura 2.

- ✓ A ponte deve ser indivisível, de forma que partes móveis ou encaixáveis não são aceitas;
- ✓ Deve possuir um vão mínimo de 100 cm e máximo de 110 cm;
- ✓ A altura máxima da ponte, medida verticalmente desde seu ponto mais baixo até o ponto mais alto não poderá ultrapassar 50 cm;
- ✓ A largura mínima deve ser de 5 cm e máxima de 20 cm ao longo de seu comprimento;
- ✓ O peso da ponte montada deverá ser de 1 Kg (já considerando o espaguete e as colas utilizadas);
- ✓ Neste limite de peso (1 Kg) não serão considerados os 2 tubos de PVC de ½" de diâmetro de 20 cm (utilizados para apoiar a ponte no dia do teste de carga, sendo que os mesmos devem estar fixados nas extremidades da ponte) e nem o peso da barra de aço de 8 mm de diâmetro e de comprimento igual à largura da ponte (que deve ser fixada no meio do vão livre, pois é nessa barra que serão concentrados os esforços na hora do teste), esses valores serão estimados em 150 g

Figura 2 – Esboço com as dimensões da ponte



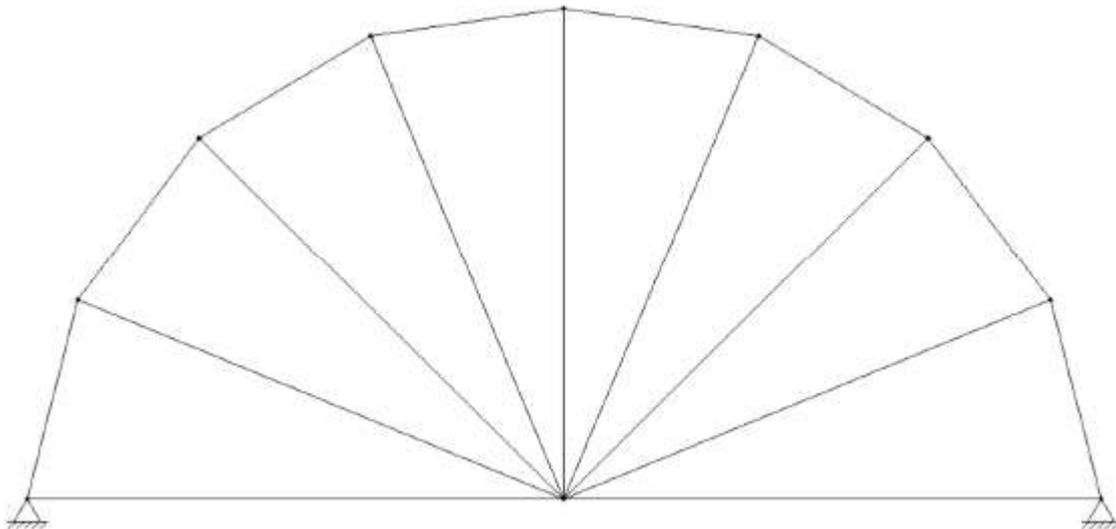
2. CALCULANDO A PONTE

A ponte deve ser capaz de vencer um vão livre de 1 m, com peso não superior a 1 Kg.

A construção da ponte deverá ser precedida da análise de algumas opções possíveis de tipos de pontes e do projeto detalhado do tipo de ponte escolhida, com estimativa da carga de colapso.

O modelo escolhido foi a arqueada, conforme mostrado na Fig. 2. As experiências em diversas competições tem mostrado que este modelo apresenta melhor desempenho, aguentando um maior peso. No entanto, apesar de ter se mostrado mais eficiente, é uma das mais difíceis de construir, exigindo que tenha um maior fator de segurança em relação aos outros modelos e maiores cuidados na execução.

Figura 2 – Modelo de ponte escolhido para o projeto.



Com esse modelo projetado, será considerada uma carga ' P ' no centro do eixo horizontal, que conseqüentemente fará com que as bases (que são os canos PVC) aumentem suas reações de apoio que será distribuída ao longo dos aros e dos arcos da ponte.

Conforme indicado anteriormente, o material utilizado foi o Barilla 7.0, cujas propriedades a serem utilizadas foram pesquisadas (GONZALEZ, 2016) e apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características para um fio de macarrão

Diâmetro médio dos fios	0,18	cm
Raio médio dos fios	0,09	cm
Área de um fio	0,0254469	cm²
Massa	0,001	Kg/fio
Gravidade em Brasília	9,78039	m/s²
Peso	0,00978039	N
<i>Padm</i>	42,67	N

Foi utilizado o método dos nós para determinação dos esforços nas barras, considerando que uma treliça estará em equilíbrio se os seus nós estiverem (HIBBELER, 2004). Dessa maneira, foram traçados os diagramas de corpo livre de cada nó e impondo o somatório das forças nas direções, vertical e horizontal, seja zero para cada nó, determinaram se os esforços em cada barra, indicando se cada barra estava sob tração ou compressão.

Contudo, esse cálculo foi feito todo em função de uma carga central unitária P, que será otimizada ao final do processo de cálculo a fim de verificar qual o máximo valor da carga que poderá ser utilizado para atender o peso da ponte de 1 Kgf definido em edital, estimando assim a carga de ruptura.

O próximo passo foi determinar o número de fios de macarrão que devia compor cada uma das barras. Esse cálculo é feito diferentemente se a barra está sob tração ou compressão, tendo em vista que a tensão admissível nas duas situações é diferente. Para barras tracionadas, o número de fios é dado por:

$$\text{Número de fios} = \frac{\text{CARGA}(N)}{42.67(N)} \quad (1)$$

Já para a compressão, é através do índice de esbeltez que consegue simplificar essa equação até que se possam determinar os números de fios dela, onde:

$$\text{Número de fios} = \sqrt{\frac{\text{CARGA}(N) \cdot l^2(mm)}{27906 \cdot r^4(mm)}} \quad (2)$$

Os cálculos obtidos para cada barra são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de esforços em cada barra e seus respectivos números de fios.

Barra	Esforço(N)	Tração/Compressão	Numero de fios
AJ	12,5	(T)	3
AB	103,08	(C)	48
BJ	20,4	(T)	5
BC	105,12	(C)	48
CJ	20,8	(T)	5
CD	107,24	(C)	48
DJ	21	(T)	5
DE	109,46	(C)	48
EJ	21,2	(T)	5
EF	109,46	(C)	48
FJ	21	(T)	5
FG	107,24	(C)	48
GJ	20,8	(T)	5
GH	105,12	(C)	48
HJ	20,4	(T)	5
HI	103,08	(C)	48
IJ	12,5	(T)	3

Para dar procedimento de maneira mais rápida, as barras de compressão com 48 fios, já são os resultados finais dessas barras, pois esses cálculos foram feitos para um lado da ponte. Como são dois lados, apenas foi necessário pegar o cálculo de um dos lados e multiplicar por dois, já que é influenciada tanto de um lado como do outro. Portanto, as barras de compressão sofreram um esforço que equivale à metade que está na tabela, logo, seria encontrado um resultado de 24 fios. Como sofrerão dois esforços semelhantes, foi multiplicado por dois e encontrado um novo valor, agora de 48 fios.

Considerando esse número de fios de macarrão indicados na Tabela 3 e o peso específico do material, verificou-se que para uma carga $P = 200 \text{ Kg}$, o peso dos macarrões necessários para combater os esforços calculados, equivale a 644 g. Logo, estima-se que esteja de acordo com o solicitado, visto que após o processo de fabricação e colagem, poderemos alcançar até 1150 g, incluindo o cano de PVC e a barra de ferro. Aumentando a carga para 250 Kg o peso do macarrão sobe para 725 g. Logo, optou-se em moldar a ponte calculada para 200 Kg.

Construindo Uma Ponte De Macarrão

Em seguida, deve-se fazer um esboço com as dimensões da ponte para dar início da construção dela.

3. CONSTRUINDO DA PONTE

a. Primeiramente separam-se os melhores macarrões, os mais retos possíveis porque os mais tortos interferem na hora da junção. Quanto mais simétrico ficar o raio de tração, mais difícil dele ser rompido.

Figura 3 – Separação dos melhores fios de macarrão.



b. Depois, juntam-se os macarrões para construção dos raios. Logo após a junção dos macarrões, é passada cola do tipo resina e colocado fio dental no meio do comprimento, esse processo é feito para diminuir os espaços vazios, procurando deixar os macarrões mais unidos.

Figura 4 – Colagem dos raios.



Construindo Uma Ponte De Macarrão

c. Juntam-se os macarrões para a criação dos arcos. Quando for executar esse processo é bom tentar deixar o mais junto possível um macarrão do outro, para ter uma superfície de contato entre eles, e dessa forma o rompimento ficará mais difícil.

Figura 5 – Adaptação dos raios para o comprimento correto.



Figura 6 – Formação do arco.



d. Depois da junção de todos os macarrões, raios e arco devidamente colados é realizado a união deles. Com o auxílio de uma máquina micro retífica, cortam-se os canos de macarrão nos seus devidos ângulos para a montagem do arco.

Construindo Uma Ponte De Macarrão

Figura 7 – Construção final da ponte.



e. É necessário criar uma espécie de braçadeira para unir os raios de tração, pois um único macarrão tem um comprimento de 25,8cm e a altura da base até o ponto mais alto do arco mede 50cm, dessa forma esses raios ficam mais firmes e menos propícios ao rompimento.

f. Depois de construído o arco e os raios é preciso junta-los, esse processo é feito com o auxílio de colas resinadas, de massa e algo para segurar os fios (que deve ser retirado antes do dia da competição). Neste processo deve-se ter muita paciência, pois quanto mais simétrica for a ponte, mais distribuídas as forças serão, logo terá um melhor desempenho.

Figura 8 – Reparos finais.



4. RESULTADOS OBTIDOS

Conforme realizado, essa ponte foi calculada para suportar uma carga de 200 kg. No dia do rompimento, os resultados obtidos foram de 176 kg e alcançando a segunda melhor marca que a Universidade Católica de Brasília já obteve. Um detalhe curioso é que, nem sempre, os resultados esperados serão os mesmo que os resultados obtidos. O motivo dessa mudança se deve a alguns fatores: o primeiro é a simetria, porque se a ponte não estiver simétrica, as cargas não serão distribuídas de maneira uniforme (conforme previsto nos cálculos), e isso faz com que haja um sobre carregamento em determinados aros e arcos, todavia essa obrigação foi alcançada. A segunda é a execução, que é muito importante a maneira de como passamos a cola. Se a cola não for bem distribuída nos macarrões, isso faz com que os aros e arcos possuam espaços vazios entre eles, interferindo diretamente no momento em que se coloca uma carga na ponte.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de pesquisa em questão tem por objetivo levar à outras instituições o conhecimento da Competição de Pontes de Macarrão, por ser um projeto integrador e que gera conhecimentos práticos da Engenharia Civil.

Foram abordados os métodos de cálculo desenvolvidos em um dos projetos participantes da IV Competição da Ponte de Macarrão da UCB, realizada no primeiro semestre de 2016. Nele constam os dados específicos do espaguete BARILLA Nº 7, que foram obtidos no sítio da UFRGS, o desenho da ponte escolhida, os cálculos (utilizando o método de treliças nas barras) e a quantidade de fios de macarrão utilizados em cada barra (a depender da estimativa de carga definida pelo grupo). A partir dos cálculos feitos, deve-se passar para a etapa de execução do projeto.

Nessa fase é necessário que o grupo tenha bastante cuidado para manter a simetria da ponte (definida em projeto) e garantir que todas as barras estejam coladas e fixadas, pois esses fatores garantirão que a ponte se aproxime (ou até mesmo supere) a estimativa de carga de projeto.

Como estudantes de graduação em Engenharia Civil, podemos notar que a competição agrega muitos conhecimentos nas áreas de Resistência dos Materiais, Cálculo Estrutural, Pontes e Desenho Técnico. Disciplinas que abrange desde os cálculos até o teste de carga da estrutura. É possível afirmar que um trabalho como esse enriquece muito a perspectiva sobre o curso na visão do aluno, pois ele aprende a desenvolver o projeto desde o início até a fase final, desenvolvendo um trabalho em grupo com outros colegas, aproximando a teoria que é vista em sala de aula ao mundo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LUIS ALBERTO SEGOVIA GONZÁLEZ (Porto Alegre). Universidade Federal do RioGrande do Sul. Competição de Pontes de Espaguete. Disponível em:

<<http://www.cpgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/>>. Acesso em: 30 maio 2016.

RIBBELER, R. C.. Estática: Mecânica para engenharia. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 544 p. Tradução de: Everi Antonio Carrara.

BEER, Ferdinand P. et al. Estática e Mecânica dos Materiais. 5. ed. São Paulo: MacGraw -Hill, 2013. 784 p.

Capítulo 11



10.37423/211205166

RESÍDUO SÓLIDO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE MOURÃO DE CONCRETO

Claudio de Jesus Souza

Universidade de Sorocaba

Leonardo Yuji Suzuki

Universidade de Sorocaba

Ricardo Vieira Santana

Universidade de Sorocaba



Resumo: O presente artigo teve por objetivo abordar um passo no desenvolvimento de um sistema de gestão de resíduos: a categorização, a quantificação e o seu reaproveitamento para a construção de mourões e verificar o seu comportamento diante de diferentes combinações de traços entre os agregados naturais e os agregados reciclados e diante disso analisar os seus respectivos fatores de resistência, por meio dos modelos de cálculos da norma NBR 6118/2007 e conceitos matemáticos de Momento Fletor, calculados a partir de diferentes corpos de prova. Esses testes foram realizados em outubro de 2015, no laboratório da empresa Engemix, no bairro de Aparecidinha, na cidade de Sorocaba-SP. Os resultados desses ensaios apresentaram valores que satisfazem os requisitos mínimos da norma técnica para a produção de mourões.

Palavras-chaves: Resíduos; concreto; mourões.

INTRODUÇÃO

Considerando a preocupação ambiental crescente nos últimos anos, impulsionada pela questão do desenvolvimento sustentável, há a necessidade de importantes mudanças na construção civil. A reciclagem dos resíduos de construção e demolição é uma alternativa para amenizar o impacto que o consumo de matérias primas e energia e a geração de resíduos causam no ambiente. Nos últimos anos a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo mundo, por questões políticas, econômicas e ecológicas. (LOVATO,2007).

A finalidade deste trabalho foi analisar o comportamento do concreto produzido através da substituição dos seus agregados naturais, por resíduos sólidos da construção civil na produção de mourões e verificar se suas características atingem os especificados pela norma NBR 7176/13.

A CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Na origem da sociedade industrial, o desenvolvimento econômico significou a transformação da natureza de maneira a melhorar a qualidade de vida da parcela da população beneficiada (JOHN, 2000). O desenvolvimento econômico sempre foi confundido com o domínio de terras e as suas transformações. O ser humano não tinha a preocupação com os recursos naturais porque acreditavam que eram fontes inesgotáveis. A preservação da natureza sempre foi vista de forma desfavorável ao crescimento. Com o tempo, o homem percebeu que a qualidade do ar, das águas foram ficando cada vez piores e devido a essas ocorrências criou-se uma consciência maior em relação a preservação do Meio Ambiente.

A construção civil ocupa posição de destaque na economia nacional, quando considerada a significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) do país pela qual é responsável e também pelo contingente de pessoas que, direta ou indiretamente, emprega. Por outro lado, esta indústria é responsável por cerca de 50% do CO₂ lançado na atmosfera e por quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo (JOHN, 2000).

A CONSTRUÇÃO CIVIL E AS PERDAS

Entendendo o Conceito de Perdas O setor da construção civil está passando por um processo de reestruturação. Os recursos financeiros são cada vez menores, o mercado consumidor está cada vez mais exigente, os trabalhadores, por sua vez, têm buscado melhores condições de trabalho. Todos estes fatores têm exigido uma nova postura das empresas. Estas estão sendo obrigadas a adotar

estratégias empresariais mais modernas, focadas na qualidade, na racionalização e na produtividade, possibilitando a obtenção de um produto final de melhor qualidade e mais barato (COSTA e FORMOSO, 1998).

Diante deste contexto, as perdas geradas ao longo do processo de produção se tornam o centro das atenções, pois cada vez mais as empresas são obrigadas a produzir apenas o necessário com a mínima força de trabalho, ou seja, eliminando desperdícios. De acordo com Formoso et al (1996) perda é qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra e capital em quantidades superiores àquelas necessárias a produção da edificação. Sendo assim, as perdas englobam tanto a ocorrência de desperdícios de materiais quanto a execução de tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor.

Para Demajorovic (1998) apud Hood (2001) as perdas têm origens nas mais diversas etapas do ciclo de vida do edifício. Desde a fase de projeto, uma decisão equivocada pode ser responsável por desperdícios ou por gastos com retrabalho. Porém, é na fase de execução onde acontece a parcela mais visível das perdas, pois todas as decisões tomadas na fase anterior ganham dimensão física.

O setor da construção civil “além de ser um dos maiores da economia ele produz os bens de maiores dimensões físicas do planeta, sendo conseqüentemente o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia” (HOOD,2001).

Segundo o autor, o consumo de recursos naturais na construção civil é variável de acordo com cada região, sendo responsável pelo consumo de parte significativa dos recursos naturais do planeta, e depende de vários fatores tais como: taxa de resíduos gerados; vida útil ou taxa de reposição das estruturas construídas; necessidades de manutenção, inclusive as que visam corrigir falhas construtivas; perdas incorporadas nos edifícios; e tecnologia empregada.

Para John (2000), considerando que no Brasil são produzidas por ano cerca de 35 milhões de toneladas de cimento Portland e que este cimento é misturado com agregados a um traço médio de 1:6, pode-se estimar que 210 milhões de toneladas de agregados são consumidos anualmente somente na produção de concretos e argamassas, sem considerar o volume de agregados que são utilizados em pavimentação e as perdas.

Pode-se dizer ainda que o consumo de recursos naturais é maior do que o necessário devido ao elevado volume de perdas incorporadas às construções ou eliminadas como resíduos. De acordo com

John (2000) é inevitável que ocorra um determinado volume de perdas, porém a fração das perdas que excede ao limite mínimo característico da tecnologia empregada é considerada desperdício.

Segundo John (2000) “os limites entre perda inevitável e o desperdício são difíceis de estabelecer e para uma mesma tecnologia variam com características regionais. A perda incorporada apesar de na maioria das vezes ser menos perceptível que a perda que sai da obra na forma de resíduos é causadora de consumo excessivo de recursos e geração de desperdício.

RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA conceitua na resolução 307/2002, resíduos da construção civil como,

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Os resíduos gerados, provenientes das perdas ocorridas durante o processo de construção ou de demolições, são responsáveis por aumentar ainda mais o impacto ambiental provocado por este setor. A excessiva geração de resíduos e seu descarte irregular, em grande parte das cidades brasileiras, causam a poluição do ambiente urbano. Como exemplo, pode-se citar a obstrução e contaminação dos leitos de rios e canais, o comprometimento do tráfego em vias públicas e a degradação da paisagem das cidades, além da poluição do ar com gás carbônico liberado pelos veículos necessários para realizar o transporte dos resíduos.

Por todos estes motivos, a construção civil produz grandes impactos ambientais, aparecendo como o principal gerador de resíduos de toda a sociedade (estimativas apontam para uma produção mundial entre 2 e 3 bilhões de toneladas/ano). Estima-se que a construção civil é responsável por algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SJÖSTRÖM, 1992). Para citar um exemplo, em uma cidade como São Paulo, o esgotamento das reservas próximas da capital faz com que a areia natural seja transportada de distâncias superiores a 100km, gerando consumos de energia, além de poluição (JOHN, 2006) .

CARACTERIZAÇÃO, COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

O RCD apresenta-se na forma sólida, com características físicas variáveis que dependem do seu processo gerador, podendo ser encontrado tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares: pedaço de madeira, argamassas, concretos, plásticos, metais, etc. (ZORDAN, 2000)

a) Classificação dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

A Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) classifica os RCD em 4 classes distintas:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

No mundo, a quantidade de RCD gerado é muito grande. A comunidade Europeia anualmente produz 480 milhões de toneladas de resíduos inertes, sendo que deste total, 180 milhões correspondem a RCD com potencial de reaproveitamento, sendo reaproveitados apenas 50 milhões de toneladas que correspondem a 28% do total gerado. O restante é incinerado e depositado em aterros de acordo com Dorsthorst (2000) Hood (2001) apud.

UTILIZAÇÃO DO RCD COMO AGREGADO RECICLADO

Segundo Hood (2001) existe a possibilidade do RCD ser utilizado como agregado reciclado em substituição ao agregado natural em materiais cimentícios, relatando ainda que existem,

principalmente, três áreas onde estes podem ser utilizados: Concreto Convencional, argamassas e blocos de concreto.

MOURÕES

Mourões de concreto são peças pré-moldadas utilizadas na confecção de cercas em áreas residenciais, industriais ou rurais. São ideais para cercar sítios, jardins, chácaras, canis, grandes ou pequenas propriedades, etc.

FORMA E DIMENSÕES

Segundo a NBR 7176 Mourões de concreto armado ou protendido devem ter as seguintes formas e dimensões:

- Mourão retangular de 2000mm x 95mm x 105mm
- Mourão retangular esticador de 2000mm x 95mm x 105mm
- Mourão para apoio (escora) de 2000mm x 95mm x 95mm
- Mourão quadrado de 2000mm x 95mm x 95mm
- Mourão seção viga-laje de 2000mm x 95mm x 75mm
- Mourão triangular de 2000mm x 95mm x 95mm
- Mourão circular de 2000mm x 95mm
- Mourão alambrado de dois braços de 3500mm x 160mm x 85mm
- Mourão alambrado de um braço de 3200mm x 100mm x 100mm

REQUISITOS PARA A FABRICAÇÃO E DURABILIDADE

A NBR 7176 especifica que para a fabricação de mourões, todos os seus componentes devem seguir suas respectivas normas para a melhor qualidade possível do produto.

O mourão deve resistir à ação de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração sem perder sua forma, qualidade e capacidade de utilização durante sua vida útil. ZORDAN (2015).

CURA, LIBERAÇÃO PARA MANUSEIO E TRANSPORTE

A norma NBR 7176 diz que existem três métodos de cura para o mourão, a cura com água, térmica e química, sendo a com água a mais recomendada por sua facilidade de execução e eficiência. A cura é um fator fundamental para a qualidade, tem a finalidade de manter uma temperatura e teor de

umidade boa para o concreto para proporcionar um bom desenvolvimento do mourão, devendo ser iniciada rapidamente após a concretagem e preferencialmente com auxílio de uma lona plástica (exceto a de cor preto) colocado sobre a forma.

Sua liberação é feita somente se sua resistência, medida e classe de agressividade ambiental em função do fck (Resistência característica do concreto à compressão) atendam aos requisitos previstos na norma.

Os mourões devem ser manuseados por equipamentos apropriados para o peso de cada mourão buscando evitar ao máximo as fissuras, choques e movimentos bruscos. ZORDAN (2015).

ENSAIOS E INSPEÇÃO

Segundo a NBR 7176 para o ensaio o fabricante deve ter o pessoal e aparelhagens necessários ou contratar um laboratório devidamente credenciado. O tamanho da amostra, critérios de inspeção e métodos de ensaio devem seguir a norma.

Devem ser realizados os seguintes ensaios:

- **Ensaio de flexão**

São feitos com os mourões engastados e uma carga é aplicada na direção normal ao eixo do mourão a 150mm do topo.

- **Ensaio de fissura**

Com o fissurômetro são introduzidos algumas lâminas nas fissuras do mourão perpendicularmente à sua face só sendo finalizado quando as lâminas não conseguirem mais penetrar a fissura.

- **Ensaio de retilineidade**

É esticada uma linha de náilon em toda extensão do mourão e com uma fita métrica é medido a distância máxima entre a face do mourão e a linha.

- **Ensaio de cobertura de armadura geral**

Com a barra de aço da armadura descoberta em cinco pontos do mourão, é medido com um paquímetro e uma régua metálica a espessura do concreto em cada ponto com precisão de 0,1mm.

- **Ensaio de cobertura de armadura nas extremidades**

São descobertos as barras de aço em quatro pontos no topo e na base do mourão para então serem medidos com um paquímetro e uma régua metálica a espessura do concreto em cada ponto com precisão de 0,1mm.

- **Ensaio de absorção**

Realizado de acordo com a norma NBR 8451-3 (Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica Parte 3: Ensaios mecânicos, cobertura da armadura e inspeção geral), com amostras de mourões levados ao ensaio de flexão.

Antes de aceitar os mourões fabricados o comprador deve inspecionar o acabamento, dimensões, retilidade, furação, identificação com o nome do fabricante, data e tipo de peça.

Existe a especificação de nível de qualidade aceitável (NQA) que pode ser determinado em contrato de fornecimento, pois determina a quantidade de peças defeituosas aceitável em um lote.

Os mourões rejeitados devem ser trocados por novo e perfeitos ao comprador, se necessário deve-se apresentar o certificado da execução do controle de qualidade para provar sua qualidade, mas independentemente dos resultados o comprador pode aceitar ou rejeitar o lote ao seu critério.

Outro método de aceitação ou rejeição de um lote é determinado pela NBR 7176 segundo a tabela de grau de defeito para inspeção geral, que classifica os defeitos em crítico, grave ou tolerável. ZORDAN (2015).

METODOLOGIA

A metodologia abordada neste trabalho é a comparativa pois inicialmente tem se valores já pré-determinados em normas e ensaios que podem ser destrutivos ou não destrutivos.

Como já esta definido neste artigo o objetivo principal é a produção de artefato de concreto mais precisamente o mourão de concreto armado que é usado para cercas com alambrados, sendo este mourão um diferencial pois trata-se do uso de resíduos de construção civil na sua composição, que devidamente é separado conforme material e granulometria.

A NBR 7176/2013 para mourões de concreto tem suas características já definidas, neste caso do trabalho é para mourão de suporte:

- Comprimento longitudinal total= 3200mm;
- Largura=100mm;
- Altura=100mm;
- Mourão com curvatura=45°;

Comprimento da região de curvatura= 400mm á 600mm.

Conforme esta definido na norma 7176/2013 as condições específicas obtidas em ensaios de flexão com mourões engastados tem se os valores mínimos de resistências de carga nominal que é de 300N e de ruptura com 600N, esses valores são válidos especificamente para mourões de suporte.

Atendendo as normas, NBR 6118/2007 e a NBR 7176/2013 sobre concreto armado e mourão tem se os valores predefinidos para a estrutura:

- Cobrimento -20mm;
- Cimento Portland II- E32;
- Areia grossa;
- Brita nº 0
- Água limpa.

Para Aço (CA-50) de armadura os valores a seguir são:

- Longitudinal-diâmetro de 6,3mm;
- Armadura de estribo, diâmetro de 4,7mm;
- Espaçamento de estribo-150mm.

O traço usado para a execução de mourão conforme as normas 6118/2007 e 7176 de 2013 é o 1:2:3:1 com o fator água cimento igual a 0,83.

Peso específico dos compostos do traço:

- Cimento (1200kg/m³)
- Areia grossa seca (1800kg/m³)
- Brita nº 0 (1700 kg/m³)

Considerando que as características do artefato são parcialmente invariáveis.

Por que parcialmente?

Compreende-se que tem a possibilidade de variar os compostos do traço, com substituições de brita e areia por resíduo de construção civil, sendo possível substituir parcialmente e ou até na totalidade da parte, assim podendo variar suas capacidades de resistência final.

Portanto à análise dessas variáveis da se pelo traço do concreto usado para confeccionar os corpos de prova conforme a norma 5739/2007 que trata de ensaios de corpo cilíndrico. Esses ensaios definirá o fator característico de resistência do concreto (f_{ck}) a ser usado no mourão.

Os modelos de cálculos usados neste trabalho tem como base a NBR 6118/2007 e conceitos matemáticos:

Momento fletor:

- $MD = F \cdot d$
- $MD = M \cdot y_C$

Conforme a NBR 6118/2007, o presente trabalho desenvolveu modelos de cálculos dentro do domínio 3 de análise de estado limite ultimo das estruturas de concreto.

Sendo valor de $X_3 = 0,63 \cdot d$

Modelos de cálculo:

- $MD_3 = AS \cdot x_3 / F_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x_3)$
- $MD_2 = AS^2 / F_{yd} \cdot (d - d')$
- $M_d = 0,68 \cdot b_w \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4x)$
- $F_{ck} = (AS^3 \cdot F_{yd} \cdot z) + [AS^2 \cdot F_{yd} \cdot (d - d')] / (0,68 \cdot b_w \cdot X_3) \cdot (d - 0,4 \cdot X_3)$

Inicialmente foi produzido um corpo de prova (CP nº1) com o traço de concreto sem nenhuma alteração e posteriormente outros traços, porém com as devidas e controladas substituições de componentes, como será descrito a seguir, o cimento e à água considera-se não alterado em todos os casos:

- CP nº 2 -Areia grossa 100%, 75% de brita (nº0) e 25% de resíduo;
- CP nº 3 -Areia grossa 100%, 50% de brita(nº0) e 50% de resíduo;
- CP nº 4-Areia grossa 100%, 25% de brita(nº0) e 75% de resíduo;
- CP nº 5-Areia grossa 100% e 100% de resíduo(nº0);
- CP nº 6- brita(nº0) 100%,75% areia grossa e 25% de resíduo;
- CP nº 7- brita(nº0) 100%,50% areia grossa e 50% de resíduo;
- CP nº 8- brita(nº0) 100%,25% areia grossa e 75% de resíduo;
- CP nº 9- brita(nº0) 100% e 100% de resíduo;
- CP nº 10- 100% de resíduo(granulometria referente a brita) e 100% de resíduo(granulometria referente á areia grossa).

Para todo material citado anteriormente vale lembrar que é correto passar por um processo de separação granulométrica, no entanto para chegar aos valores de granulometria requisitada faz se o uso de peneiras específicas descrita a seguir:

- Peneira de serie intermediaria com malha de 12,5mm;
- Peneira de serie normal com malha de 2,4mm.

Os corpos de provas passarão por período de cura conforme NBR 6118/2007 e NBR 5739/2007, esse período de cura será de 7 dias e posteriormente será rompido em prensa hidráulica especificada para esse fim conforme a norma citada nesse paragrafo.

O local para produção dos corpos de provas, armazenamento em período de cura e rompimento foi realizado no laboratório da empresa Engemix localizada na Av. Três de Março ,1805- bairro de Aparecidinha na cidade de Sorocaba-SP.

Os corpos de provas depois de rompidos fornecerão valores de resistência característica de cada concreto respectivamente relacionado com cada traço já citado anteriormente.

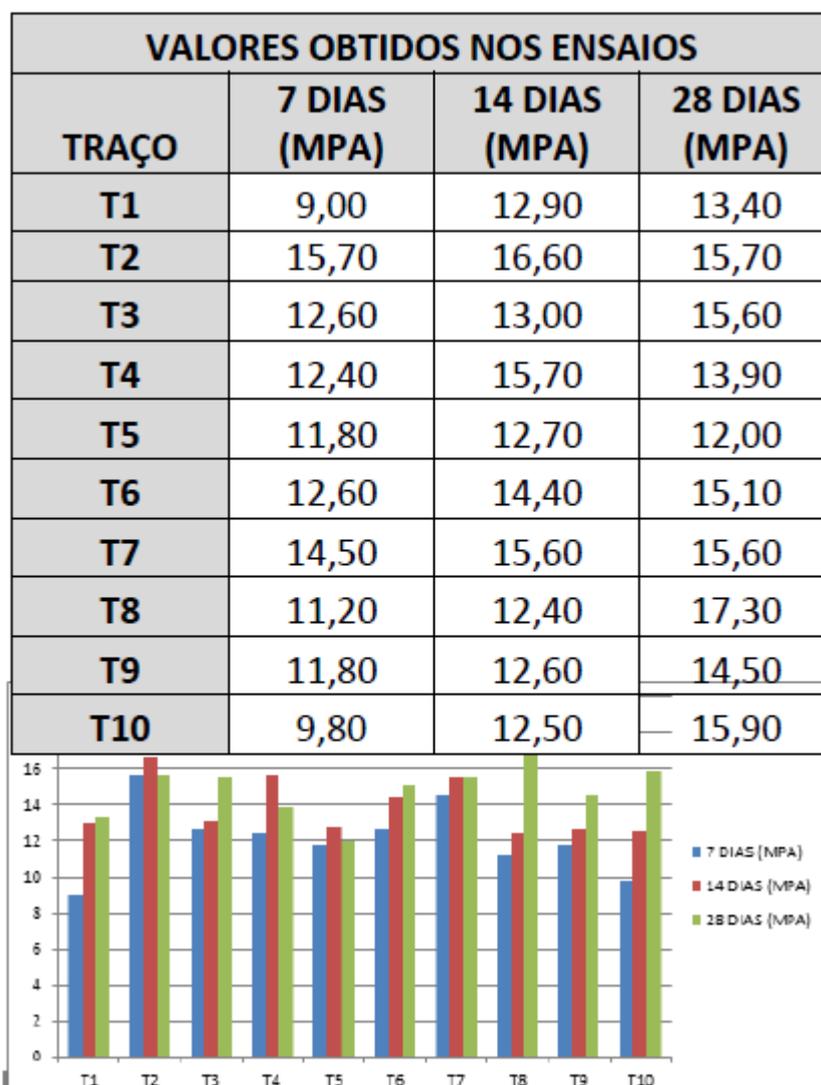
Segunda a NBR 6118/2007 conforme é o período de verificação das resistências, tem valores diferentes, por exemplos com 7 dias tem se um valor, com 14 e 28 respectivamente tem se outros valores de resistências.

Como verificamos no processo todo e percebemos características variáveis e não variáveis no sistema, as variáveis estão restrita praticamente ao traço de concreto, que consequentemente dá nos o valor do fator característico de resistência de concreto(f_{ck}). Nessa situação especifica terá 10(dez) valores diferente de f_{ck} para ser comparado.

Portanto fará se a verificação do fator de resistência característica de diversos traços, será comparado com o traço que não possui a adição de resíduo de construção civil.

RESULTADOS OBTIDOS

Conforme o gráfico e a tabela abaixo podemos identificar que diferentes traços apresentaram resultados diferentes porem dentro intervalo satisfatório de resistência mínima exigida conforme a norma NBR 7176-13 que trata da produção de mourão de concreto armado para alambrado.



CONCLUSÃO

Conclui-se que o traço que recebeu parcial ou total adição de resíduo de construção civil e atendeu á um valor de fck específico próximo do fck do traço convencional terá respectivamente momentos fletores e cortantes com valores mínimos que a NBR 7176/2013 define como requisito para a produção de mourões de concreto.

O traço que estiver dentro do mínimo exigido pela norma , poderá ser indicado como componente de substituição para o processo de produção de mourões de concreto armado para alambrado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022/2003: Informação e documentação Artigo em publicação periódica científica impressa Apresentação. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 7116/2013 Mourões de concreto armado para cercas de arame. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. ABNT NBR 15116:2004. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002. Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95 96.

Disponível: Em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONOMARES_2002_307.pdf> Acessado em 21 de abril de 2015. CONS

COSTA, A.L.; FORMOSO, C.T. Perdas na construção civil : uma proposta conceitual e ferramentas para prevenção. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7º, Florianópolis, 1998. Artigo técnico. Florianópolis, SC. 1998. v.2.

EVANGELISTA, P. P. A; COSTA, D. B; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para a destinação de resíduos de construção civil classe A: Sistemática para a reciclagem em canteiros de obras .Associação Nacional de Tecnologia do meio Ambiente Construído. Porto Alegre, julho de 2010.

HOOD, R. S. S. Análise de Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Tese (Doutorado) UFRS. Porto Alegre, 2006. Disponível em

<http://repositorio.rocca.utfpr.edu.br/jsspu/bitstream/1/1705/1/MD_COENNP_%202013_1_04.pdf> Acessado em 12 de abril de 2015.

DEMAJOROVIC, JACQUES. Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face a lógica do mercado. Disponível em:

< http://www.anppas.org.br/encontro-_anual//encontro2GT11/jacques_demajorovic.pdf> Acessado em 27 de maio de 2015.

JOHN, V M. Reciclagem de resíduos na Construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Dissertação (Livre Docência) Escola politécnica da Universidade de são Paulo, São Paulo, 2000.

DADOS DOS AUTORES



Claudio de Jesus Souza – Graduando em Engenharia Civil na Universidade de Sorocaba



Leonardo Yuji Suzuki – Graduando em Engenharia Civil na Universidade de Sorocaba



Ricardo Vieira Santana – Graduando em Engenharia Civil na Universidade de Sorocaba

Capítulo 12



10.37423/211205181

O CONTROLE DA CORROSÃO, OS BIOINIBIDORES E AS NOVAS TENDÊNCIAS PARA AS INVESTIGAÇÕES ELETROQUÍMICAS.

Jhonatan Peres de Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

João Vitor Rego Muniz

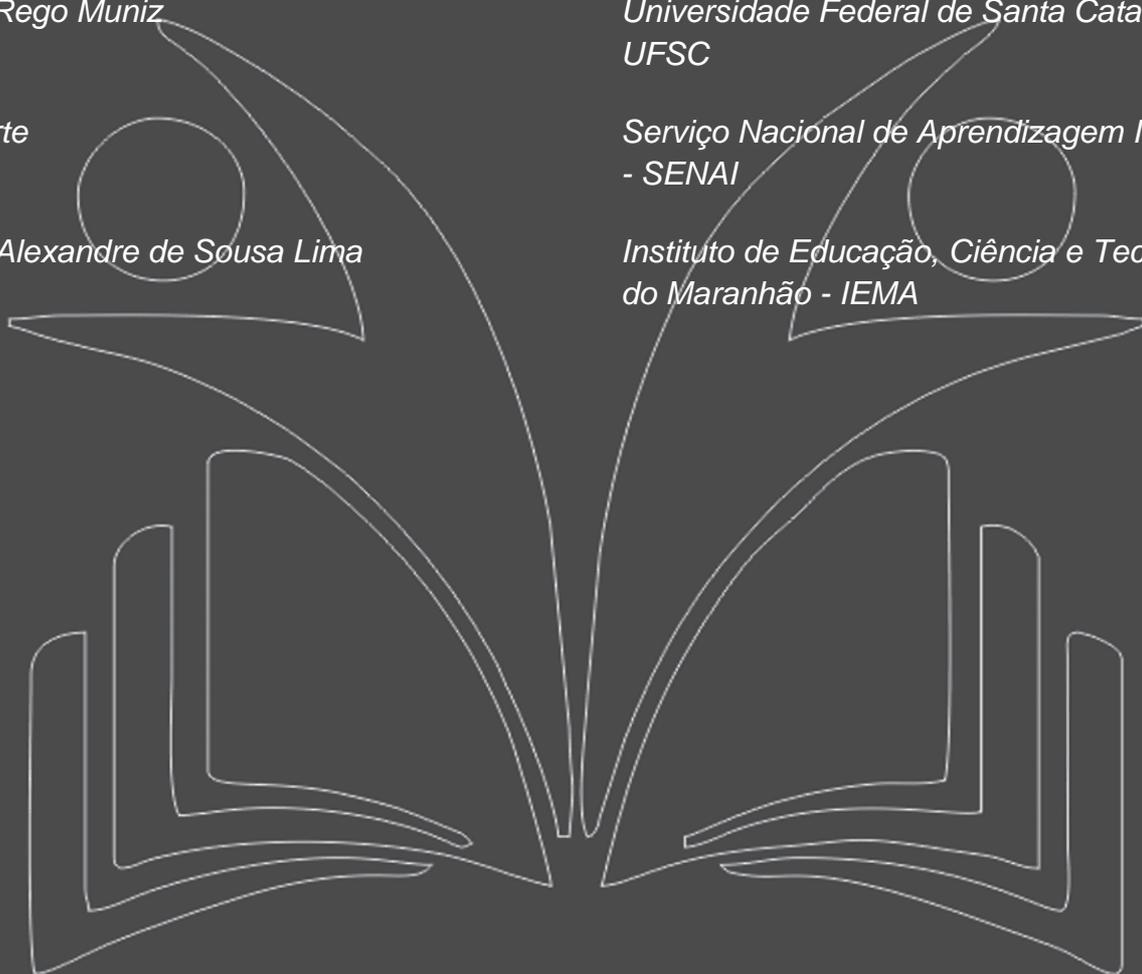
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Bruno Duarte

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI

Wallesson Alexandre de Sousa Lima

Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IEMA



Resumo: A redução dos custos provocados pela corrosão e a busca por métodos ambientalmente aceitos tem preocupado autoridades internacionais. O objetivo deste trabalho é disseminar, por meio de uma revisão bibliográfica, como as pesquisas estão avançando nesta temática tão relevante para o meio científico e industrial, assim como destacar as novas tendências para as investigações eletroquímicas em corrosão. Utilizou-se a pesquisa exploratória-descritiva e qualitativa baseada na coleta de dados em dissertações, artigos científicos nacionais e internacionais publicados, preferencialmente, nos últimos cinco anos. A ação protetora dos bioinibidores em condições hidrodinâmicas tem despertado o interesse dos pesquisadores por se tratar de condições de testes pouco exploradas. Os autores indicam esta linha de pesquisa, como uma nova tendência para as investigações eletroquímicas em corrosão, por agregar meios que contribuem para o desenvolvimento tecnológico sustentável.

Palavras-chave: Inibidores verdes; Corrosão em fluxo; Desenvolvimento sustentável; Técnicas eletroquímicas.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo espontâneo ligado a deterioração de um material, geralmente metálico, em virtude de uma ação de natureza química ou eletroquímica do meio ambiente, podendo está associada, ou não, a forças mecânicas [1]. Uma pesquisa revela que no Brasil, o custo estimado das perdas relativas aos desgastes provocados pela corrosão é de 3,5% do PIB [2], ou seja, em 2016, esses gastos aproximaram-se de R\$ 219 bilhões [3]. A Figura 1 ilustra algumas estruturas danificadas pela corrosão.

Quando o assunto é corrosão, a melhor maneira de combater este problema é a prevenção. Dentre as diversas maneiras de minimizar os danos causados pela corrosão metálica, os inibidores de corrosão constituem uma das melhores e mais conhecidas técnicas utilizadas pela indústria, uma vez que este método é caracterizado pelo baixo custo [4]. No entanto, a ameaça dessas substâncias a saúde e ao meio ambiente, em virtude do cromato e fosfato presentes em sua composição tem preocupado autoridades internacionais e impulsionado inúmeros pesquisadores a buscar soluções ambientalmente corretas e economicamente viáveis como alternativas promissoras, os chamados bioinibidores ou inibidores verdes de corrosão.

Os inibidores verdes consistem em produtos naturais como óleos essenciais, extratos de folhas, flores, caules, raízes, cascas e sementes que podem ser empregados como inibidores de corrosão [5] [6] [7].



Figura 1 – Estruturas danificadas pela corrosão: (a) Rotor de uma bomba; (b) e (c) Tubulações industriais de aço carbono; (d) Estrutura metálica de um galpão industrial; (e) Tubulação offshore corroída.

Fonte: Autores e adaptado de [8] [9] [10].

A técnica de controle da corrosão utilizando bioinibidores segue procedimentos laboratoriais regidos por normas internacionais, por meio das quais inúmeras investigações têm sido realizadas mundialmente. Diversos pesquisadores [4] [5] [6] [7] têm utilizado, principalmente, de técnicas eletroquímicas para investigar a atuação de extratos de plantas como bioinibidores de corrosão. Essas pesquisas têm ganhado certo destaque, principalmente pela preocupação ambiental que justifica o seu desenvolvimento. Vale destacar que a maioria dessas investigações abordam condições hidrostáticas, ou seja, representações laboratoriais de substâncias contidas em tanques de armazenamento nos mais diversos setores da indústria.

Pela grande relevância dos problemas que envolvem este objeto de pesquisa, novos rumos estão surgindo. Alguns investigadores [11] [12] [13] estão desenvolvendo pesquisas voltadas ao estudo de bioinibidores em fluxo, porém há um número escasso de pesquisas relacionados ao tema em virtude do seu caráter inovador.

O objetivo deste trabalho é disseminar, por meio de uma revisão bibliográfica, como as pesquisas estão avançando nesta temática atual e de extrema relevância para o meio científico, sendo assim uma importante contribuição, ao passo que também busca agregar meios que possibilitem o desenvolvimento de novas pesquisas que, por sua vez, possam promover soluções de problemas específicos da indústria.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa exploratória–descritiva e qualitativa. Teve-se como ponto de partida a coleta de dados, desenvolvida a partir de pesquisas em dissertações e artigos científicos de periódicos nacionais e internacionais especializadas no assunto publicadas, preferencialmente, nos últimos cinco anos.

Desta forma, foi elaborado um estado da arte sobre o tema, buscando assim disseminar uma importante linha de pesquisa que tem liderado as investigações relacionadas a corrosão com base em uma preocupação a saúde e ao meio ambiente.

3 O ESTADO DA ARTE

3.1 MÉTODOS DE CONTROLE DA CORROSÃO

Dentre uma gama de ligas metálicas, o aço carbono é o que apresenta a combinação favorável de propriedades, tornando assim amplamente utilizado em aplicações da engenharia [14]. As inúmeras

perdas estruturais e os elevados custos de manutenção em plantas industriais ocasionados pela limitada resistência do aço-carbono em meios altamente corrosivos, tem impulsionado a busca de novos métodos de controle da corrosão. Os métodos relatados por Gentil [1] estão esquematizados na Figura 2.

Para todos os métodos apresentados, o fator econômico e ambiental é fundamental, uma vez que é necessária uma análise detalhada da viabilidade de uma determinada proteção. Para Gentil [1], os gastos decorrentes da deterioração dos equipamentos e os prejuízos resultantes (paradas de unidades, perda da eficiência, perda de produtos e contaminações) são fatores que devem ser cuidadosamente analisados. Além disso, os impactos ambientais provocados por alguns métodos de proteção têm recebido forte atenção de autoridades internacionais. A aplicação de uma determinada proteção torna-se inviável quando o valor da descontaminação ambiental necessária para corrigir os impactos ambientais causados por determinadas corporações atingir valores superiores a limites pré-estabelecidos [15].

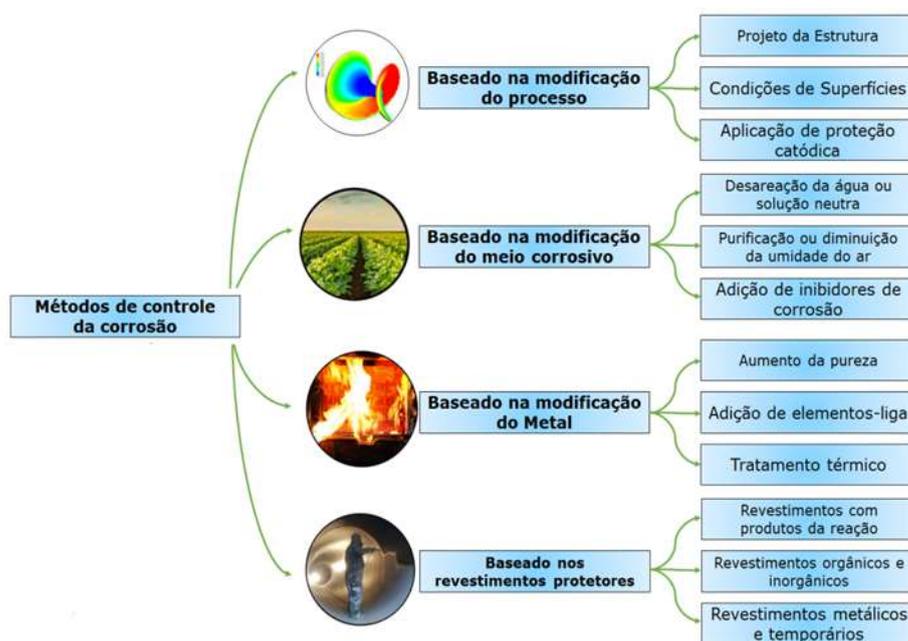


Figura 2 – Métodos de proteção para controle da corrosão.

Fonte: Compilado de [1].

Com o crescente aumento da consciência ambiental, a aplicação de bioinibidores tem ganhado certo destaque, uma vez que são compostos aceitáveis do ponto de vista ecológico, possuem baixo custo e apresentam-se em abundância na natureza [16].

3.2 AVALIAÇÃO DE BIOINIBIDORES DE CORROSÃO EM CONDIÇÕES HIDROSTÁTICAS

Pesquisas nacionais e internacionais revelam que os extratos provenientes de plantas estão se tornando cada vez mais importantes como fonte ecologicamente correta. A disponibilidade desses extratos na natureza, o baixo custo e também por serem renováveis para uma grande variedade de plantas são os fatores que impulsionam a comunidade científica na busca de inibidores verdes. Para Grosser [16], a natureza dispõe de uma fonte rica de componentes que possuem uma elevada eficiência de inibição a corrosão.

Os extratos oriundos de folhas, galhos, caules, raízes e frutos são alvos de muitos pesquisadores e alguns foram estudados para atuarem como efetivos inibidores de corrosão em diferentes meios agressivos. Desta forma, cresce o número de pesquisas e excelentes resultados já foram encontrados. A Figura 3 ilustra a montagem experimental comumente empregada pelos pesquisadores para avaliação de extratos como bioinibidores e a Tabela 1 sintetiza algumas pesquisas realizadas recentemente.

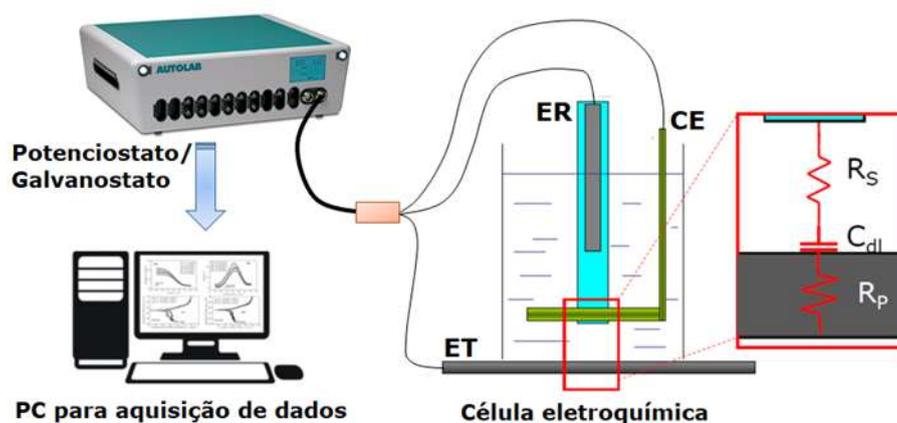


Figura 3 – Montagem experimental para realização de ensaios eletroquímicos hidrostáticos.

Nota: ET → Eletrodo de trabalho (metal), CE (contra-eleto) e ER (eletrodo de referência), R_s → Resistência da solução, C_{dl} → Capacitância da dupla camada elétrica e R_p → Resistência à polarização.

Fonte: Adaptado de [17].

Tabela 1 - Inibidores verdes de corrosão investigados por diversos pesquisadores em diferentes meios eletrolíticos.

EXTRATO (INIBIDOR VERDE)	MEIO AGRESSIVO	METAL	CONCENTRAÇÃO	EFICIÊNCIA MÁXIMA	TÉCNICAS EMPREGADAS	ANO, REFERÊNCIA
Curcuma	HCl 1M	Latão	200 ppm	83,6%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR e MFA	2017, [11]

Capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i>)	Água de campo petrolífero	Aço carbono	400 ppm	60,12%	Perda de massa, PPL, MEV, FTIR e EDS	2017, [12]
<i>Tilia cordata</i> (teja)	HCl 1M	Aço carbono	300 mg/L	96%	Perda de massa, EIE, PPL, MEV e EDS	2017, [13]
<i>Opuntia Ficus Indica</i> (OFI)	H ₃ PO ₄ 1M	Aço carbono	10% (v/v)	90%	Perda de massa, EIE, PPL e MEV	2018, [18]
Extrato de gengibre	HCl 1M	Aço carbono	150 g/L	91%	Perda de massa, PPL e MO	2018, [19]
Raíz da <i>Armoracia rusticana</i>	H ₂ SO ₄ 0,5 M	Aço carbono	100 mg/L	95%	EIE, PPL, FTIR, MFA e MEV	2018, [20]
<i>Brassica campestris</i>	NaCl 3%	Aço patinável	80 ppm	84%	EIE, PPL, MO e XPS	2018, [21]
Flavonóides de <i>Erigeron floribundus</i>	HCl 2M	Aço carbono	4 g/L	95%	Perda de massa e técnica Gasométrica	2018, [22]
Extrato metanólico da <i>Salvia Officinalis</i>	HCl 1M	Aço carbono	1,8 g/L	87%	EIE, PPL e MEV	2018, [23]
Casca de banana (Musa AAB)	HCl 1M	Aço carbono	0,6 g/L	90%	Perda de massa, OCP, EIE, PPL, FTIR e MEV	2018, [24]
Polpa de extrato de Jujuba	HCl 1M	Cobre	1 g/L	93%	EIE, PPL, MEV, MFA e FTIR	2018, [25]
Lipídio extraído de <i>Lepidium sativum L.</i>	HCl 1M	Aço carbono	2 g/L	93%	Perda de massa, EIE e PPL	2018, [26]
Óleo de coco babaçu	HCl 1M	Aço carbono	3 g/L	56,45%	EIE e PPL	2019, [27]
<i>Alchemilla Vulgaris</i> (ALV)	HCl 1M	Cobre	7 g/L	95,5%	Perda de massa, OCP, PPL, EIE e EDS.	2019, [28]
Semente de <i>Peganum harmala</i>	HCl 1M	Aço carbono	800 ppm	95%	EIE, PPL, FTIR e MEV	2019, [29]
Óleo comercial de eucalipto	HCl 1M	Aço carbono	1 g/L	95%	Perda de massa, EIE e PPL.	2019, [30]
Casca de lichia	H ₂ SO ₄ 0,5 M	Aço carbono	3 g/L	97,8%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR e MEV	2019, [31]
Folha de <i>Ficus hispida</i> (FHLE)	HCl 1M	Aço carbono	250 ppm	95,71%	Perda de massa, EIE, PPL, DRX, FTIR e MEV	2019, [32]
Extrato aquoso de <i>Dillenia pentagyna</i>	HCl 0,5 M	Aço carbono	1,2 g/L	93,01%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR e MEV	2019, [33]
Semente de mostarda	HCl 1 M	Aço carbono	200 mg/L	94%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR, MFA e MEV	2019, [34]
<i>Carrapato Hyalomma</i>	HCl 1M	Aço carbono	3 g/L	95%	EIE, PPL, FTIR, MFA e MEV	2020, [35]
Fruta de <i>Musa acuminata</i>	HCl 5 M	Aço carbono	4 g/L	90%	EIE, PPL e MEV	2020, [36]
Frutas <i>Idesia polycarpa Maxim</i>	HCl 0,5 M	Cobre	300 mg/L	93,8%	OCP, EIE, PPL, FTIR, XPS e MEV	2020, [37]
Pólen de abelha	HCl 1M	Cobre	7 g/L	94,5%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR, MFA e MEV	2020, [38]

Folha da <i>Portulaca grandiflora</i>	HCl 0,5 M	Aço carbono	20 mL/L	95%	Perda de massa, OCP, EIE, PPL, MO e FTIR	2020, [39]
<i>Lavandula mairei</i> (LM)	HCl 1 M	Aço carbono	0,4 g/L	92%	Perda de massa, EIE, PPL, MEV e XPS	2020, [40]
Folha de coco	HCl 1 M	Aço ARBL	400 mg/L	94,1%	Perda de massa, EIE, PPL, FTIR, MFA e MEV	2020, [41]

Nota:

EIE→ Espectroscopia de Impedância Eletroquímica; PPL→ Polarização Potenciodinâmica Linear; OCP→ Potencial de Circuito Aberto; MEV→ Microscopia Eletrônica de Varredura; MO→ Microscopia Óptica; MFA→ Microscopia de Força Atômica; DRX→Difração de Raio X; EDS→ Espectrometria de Energia Dispersiva; FTIR→ Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier; XPS→ Espectroscopia Fotoeletrônica de Raios X.

Normalmente, o poder inibidor desses extratos é atribuído à presença, em sua composição, de espécies orgânicas complexas tais como taninos, alcalóides e bases nitrogenadas, carboidratos e proteínas [42] [43]. Geralmente, o mecanismo de inibição atuante envolve processos de adsorção física ou química, originando assim uma fina película protetora constituída por moléculas inibidoras que se alojam na superfície metálica, minimizando a taxa de corrosão através da diminuição das reações anódicas, da diminuição da taxa de difusão dos reagentes para a superfície do metal e também da resistência elétrica da superfície metálica [16].

De acordo com Sanyal [44], a eficiência de um inibidor orgânico natural depende de uma série de fatores, tais como: estrutura química, como o tamanho da molécula orgânica; aromaticidade e/ou ligação conjugada, como o comprimento da cadeia de carbono; tipo e número de átomos ou grupos de ligação na molécula π ou σ ; natureza e as cargas da superfície metálica do modo de adsorção, bem como a força do substrato metálico; capacidade para a camada protetora se tornar compacta ou reticulada e tipo de solução eletrolítica como solubilidade adequada no ambiente

4 NOVAS TENDÊNCIAS PARA AS INVESTIGAÇÕES ELETROQUÍMICAS

Pesquisas realizadas em décadas passadas dificilmente levavam em consideração o efeito do fluxo nas investigações eletroquímicas. Pesquisas recentes já revelaram que a intensidade do fluxo pode sim influenciar nos resultados e, por conseguinte, nas decisões correspondentes [45] [46] [47]. Vale destacar que tubulações industriais, adutoras, plataformas de petróleo e gás e unidades de processamento de fluidos em geral, operam em condições de fluxo, isso indica a necessidade de experimentos que simulem, em escala reduzida, esta realidade.

Apesar da importância deste parâmetro, existem poucos estudos científicos direcionados a investigações eletroquímicas em fluxo, menos ainda abordando inibidores verdes de corrosão nesta condição. Já existe um consenso entre diversos pesquisadores que investigações nesta área são fundamentais, pois fornecem informações que auxiliam na escolha de materiais e inibidores eficientes em condições envolvendo fluxo [47] [48] [49].

Com o intuito de inovar nos testes laboratoriais e avaliar a influência do fluxo nas investigações eletroquímicas, as pesquisas mais recentes desenvolveram algumas plataformas que possibilitam avaliar o efeito desta variável nos ensaios, como ilustra a Figura 4.

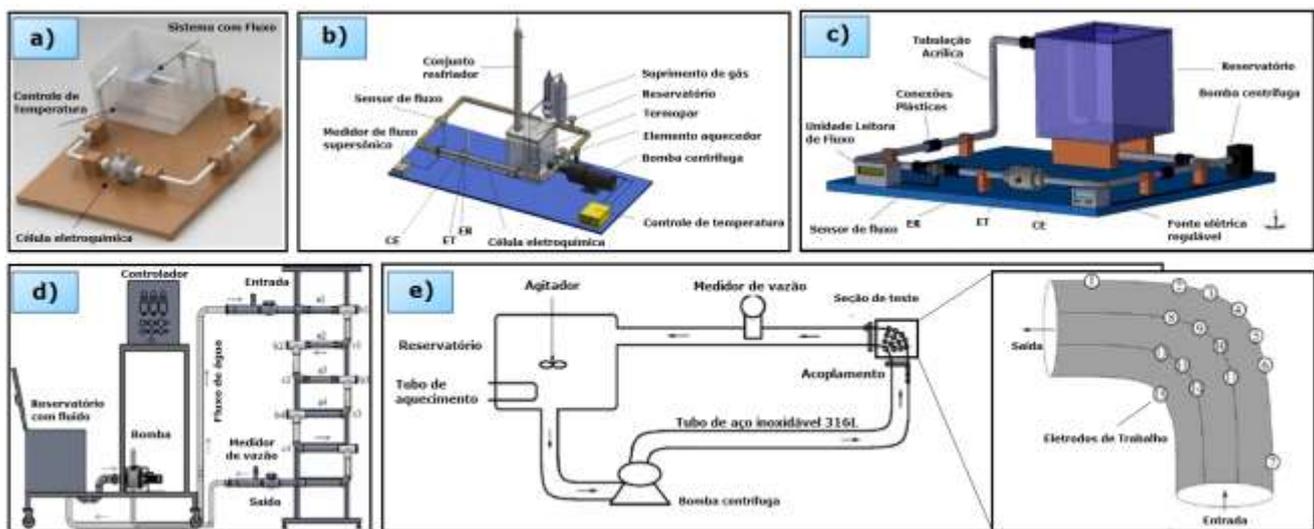


Figura 4 – Estações laboratoriais desenvolvidas para a realização de ensaios eletroquímicos hidrodinâmicos com destaque aos seus componentes.

Fonte: Compilado e adaptado de [45] [46] [47] [48] [49].

O interesse em pesquisas analisando a influência do fluxo ou investigando a eficiência de inibidores verdes em condições hidrodinâmicas foi abordado por alguns pesquisadores [50] [51] [52] [53]. Neste contexto, destacam-se algumas pesquisas recentes que indicam as novas tendências para as investigações eletroquímicas.

Jing et. al [49] investigaram o efeito da velocidade do fluxo sobre o comportamento à corrosão da liga de magnésio AZ91D num cotovelo utilizando um sistema de circuito fechado aliado as técnicas de polarização potenciodinâmica e dinâmica dos fluidos computacional (CFD). Notou-se que a taxa de corrosão aumenta com o aumento da velocidade do fluxo e que uma velocidade de escoamento crítica poderia existir na corrosão da liga de magnésio AZ91D. Foi verificado que o fluxo do fluido aumenta a

convecção e difusão de espécies reativas, acelerando as reações eletroquímicas de corrosão e que o fluxo acelera a remoção de produtos de corrosão na superfície do eletrodo.

Olvera et. al [46] estudaram a influência do fluxo turbulento sobre o desempenho de inibidores de corrosão no aço API 5LX32 pela técnica do eletrodo de cilindro rotativo (RCE) em ambientes aquosos contendo CO₂. Notou-se que a corrosão é influenciada pela intensidade do fluxo e que a corrosão interna pode ser controlada pela adição de inibidores pela formação de filme na superfície metálica. Os autores concluíram que, em velocidades constantes, com um aumento da concentração ocorre uma diminuição na taxa de corrosão. Foi sugerido que existe uma concentração limitante, ou seja, nem sempre um melhor desempenho está associado ao aumento da concentração do inibidor.

Obot e seus colaboradores [50] investigaram uma formulação alternativa chamada benzimidazol (BPMB) e benzimidazol formulado com mercaptoálcool (BPMB + ME) como inibidor verde de corrosão para o aço carbono em solução de salmoura saturada com CO₂ em regime turbulento, simulando uma condição representativa de dutos que transportam petróleo e gás. Técnicas eletroquímicas (EIE e PPL) juntamente com a MFA e DRX foram utilizadas na investigação. Os autores concluíram que a turbulência, em um curto tempo de imersão (1h), reduziu a eficiência de inibição do BPMB. Entretanto, com o tempo de imersão prolongado (12 h) e a adição de ME ao sistema, observou-se uma elevação no valor de eficiência (99,0%). O tratamento dos dados indicou que o BPMB e ME podem interagir fortemente com a superfície do aço na condição de fluxo investigada e que a presença do ME possibilita a formação de uma película mais densa na interface metal/eletrólito.

Yahya et al. [48] investigaram o potencial inibidor do extrato da palha de arroz (PA), lignina (L) e etilenoglicol (ETG) para o aço em condições hidrodinâmicas de NaCl 3,5% por meio de um sistema de fluxo multifásico confeccionado para a realização dos testes. Embora em fluxo, a investigação se baseou principalmente na técnica de perda de massa e MEV. O estudo inicial realizado em branco a 30oC, demonstrou leves danos ao eletrodo com aparecimento de corrosão e crescimento de óxidos. Observou-se que a presença do ETG desencadeou uma corrosão severa ao passo que o uso da PA e da L reduziram significativamente a taxa de corrosão. Em suma, o extrato da palha de arroz (PA) apresentou melhor desempenho inibidor e a ordem PA>L>ETG foi destacada pelos autores nesta discussão. O poder de inibição foi atribuído a presença dos constituintes químicos, da estrutura, dos grupos funcionais e também da composição dos compostos.

Ajmal e seus colaboradores [51] estudaram a eficiência do hidrazida de ácido oleico (HAO) como inibidor verde de corrosão para o aço API X70 em sistema com fluxo turbulento contendo água de

campo petrolífero sintético como eletrólito. Técnicas eletroquímicas, XPS, espectroscopia Raman e FTIR foram empregadas. Os autores destacam que foi a primeira vez que este composto foi testado em condições de fluxo. Mantendo uma velocidade fixa, os testes ocorreram na curva ou cotovelo (90°) da plataforma, local considerado mais crítico em um sistema de fluxo contínuo. A justificativa para a escolha deste local está no fato de que, a falha catastrófica de uma tubulação fabricada em aço de baixa liga, geralmente ocorre em locais com maior tensão de cisalhamento na parede e em locais mais susceptíveis a corrosão em virtude dos efeitos difusivos proporcionados pelo fluxo turbulento. Das concentrações do HAO investigadas (0,05, 0,15 e 0,30 g/L), a eficiência máxima do inibidor encontrada foi de 87,7% a 0,30 g/L. A formação da monocamada protetora foi confirmada por espectros obtidos pelas técnicas XPS, espectroscopia Raman e FTIR.

Ashassi-Sorkhabi e Kazempour [52] investigaram a influência do fluxo do fluido no desempenho do polietilenoglicol (PLT) como bioinibidor de corrosão para o aço carbono em meio H₂SO₄ 0,5 M por meio de técnicas eletroquímicas (EIE e PPL). O fluxo foi simulado por meio de um eletrodo de cilindro rotativo (ECR) cuja velocidade de rotação variou entre 250 e 500 rpm. Os resultados obtidos indicaram uma proteção mais efetiva do aço em concentrações mais elevadas do PLT. Além disso, foi observado uma queda significativa na eficiência de inibição na passagem de condições hidrostáticas para hidrodinâmicas, uma vez que a resistência à corrosão (R_{corr}) reduziu de 162 Ω/cm^2 (condição hidrostática) para 65,7 Ω/cm^2 (condição hidrodinâmica) com rotação de 250 rpm na presença de 5 g/L de PLT. Os autores atribuíram este fenômeno aos movimentos caóticos e aleatórios proporcionados pelo fluxo, que possibilita, de forma mais intensa, o transporte de produtos de corrosão da superfície do metal, o que dificulta a formação de uma película protetora mais aderente na superfície do aço.

Lavanya e seus colaboradores [53] investigaram o efeito do amido como inibidor verde de corrosão para a liga de alumínio 6061 em água do mar simulada em condições hidrodinâmicas por meio de um impacto de jato multifásico. O foco da pesquisa foi estudar a corrosão-erosão da mencionada liga que possui inúmeras aplicações na engenharia e mitigar este processo por meio de um inibidor ecologicamente correto. Uma plataforma experimental foi construída, onde foi possível verificar o efeito da temperatura e da taxa de fluxo na eficiência do inibidor explorado. As técnicas eletroquímicas foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Observou-se que o aumento da vazão e da temperatura reduziram a eficiência de inibição do amido. Além disso, os resultados revelaram que o amido pode mitigar a corrosão-erosão em até 58% (eficiência de inibição) na temperatura de 303 K e taxa de fluxo de 4 L/min. Os autores confirmaram a atuação do inibidor explorado na condição

investigada, uma vez que os valores de resistência a transferência de carga (R_{ct}) nos ensaios de EIE e as análises por perda de massa corroboraram entre si.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que o assunto em questão envolve uma temática extremamente relevante que está inserida em um contexto científico biotecnológico com ampla abordagem multidisciplinar. Além disso, aponta para a consolidação da pesquisa e o desenvolvimento tecnológico sustentável [54]. Os produtos, extratos ou formulações empregadas nas pesquisas, de maneira geral, apresentam princípios ativos naturais, baixa toxicidade, além de serem abundantes na natureza.

No que tange aos mecanismos de inibição, processos físico-químicos de adsorção têm sido amplamente discutidos nas pesquisas. Amparados por modelos teóricos matemáticos com interpretações explanadas na literatura [55], observa-se as isotermas de Langmuir, Temkim, Frumkin como os mecanismos mais presentes nas investigações envolvendo inibidores de corrosão. No entanto, mesmo com a existência desses modelos, a ação inibitória de alguns extratos guarda ainda segredos e requerem, por exemplo, uma busca mais apurada para descobrir o princípio bioativo responsável pelo efeito inibidor.

Nota-se as excelentes contribuições a partir das pesquisas recentemente desenvolvidas (hidrostáticas e hidrodinâmicas). Destaca-se o uso das técnicas eletroquímicas (EIE e PPL) como fundamentais para as investigações desta natureza e como o uso dessas técnicas estão sendo aprimoradas para a realização de investigações hidrodinâmicas.

Em termos experimentais, aponta-se que independente da condição investigada, a escolha criteriosa do Circuito Elétrico Equivalente (CEE) para os resultados obtidos por Impedância Eletroquímica e a escolha adequada dos pontos para a aplicação do Método de Extrapolação de Tafel nas curvas de Polarização Potenciodinâmica Linear, constituem os principais caminhos para a interpretação adequada e confiável dos dados eletroquímicos.

Vale ressaltar que os trabalhos desenvolvidos se baseiam em normas internacionais regulamentadas pela ASTM (American Society for Testing and Materials). As principais normas adotadas são:

- ASTM G59-97 [56] que trata do posicionamento dos eletrodos, assim como das conexões existentes entre o computador, célula eletroquímica e o Potenciostato;
- ASTM S110 [57] que regulamenta as unidades convencionais para os ensaios de corrosão;
- ASTM G184-06 [58] que trata do cálculo da eficiência de inibidores de corrosão.

Destaca-se os estudos abordando o fluxo eletrolítico como a nova tendência para a linha de inibidores de corrosão. Dentre um limitado número de trabalhos publicados, percebe-se um olhar mais direcionado para ensaios laboratoriais envolvendo o escoamento em regime turbulento. Na prática, este regime é bem presente nas instalações industriais, pois permite maior velocidade no transporte de fluidos, permitindo assim um ganho de tempo e um aumento expressivo na produtividade dessas companhias. Entretanto, demonstra-se agressivo à integridade física das tubulações, pois é caracterizado por movimentos caóticos e aleatórios das partículas que compõem o fluido processado [59] [60].

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que, embora já existam algumas pesquisas que abordem a aplicação de extratos como inibidores verdes de corrosão em fluxo, as mesmas integram um quantitativo reduzido e isso tipifica uma linha de pesquisa a ser bastante explorada, pelo seu caráter inovador e por estar associada ao desenvolvimento tecnológico sustentável. Uma ampla variedade de condições pode ainda ser investigada, tais como a aplicação de diferentes extratos como bioinibidores de corrosão em diferentes meios eletrolíticos e principalmente em diferentes condições de escoamento e temperatura, a fim de que os resultados obtidos estejam cada vez mais próximos da realidade da aplicação industrial. A ação protetora de inibidores verdes de corrosão em condições envolvendo alto fluxo constitui uma linha de pesquisa inovadora e uma nova tendência para as investigações eletroquímicas em corrosão.

REFERÊNCIAS

- [1] GENTIL, V. Corrosão, LTC Livro Técnico e Científicos SA, 6a edição, cap. 19-23. Rio de Janeiro, 2011.
- [2] PORTELLA, K. F. et al. Physicochemical performance of metals and concrete structures used in electricity distribution networks: case study in Manaus region. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 724-734, 2006.
- [3] AGÊNCIA IBGE. Revisão do PIB de 2016 mostra queda de 3,3% em relação ao ano anterior. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 de Março de 2021.
- [4] OBOT, I. B.; OBI-EGBEDI, N. O.; UMOREN, S. A. Antifungal drugs as corrosion inhibitors for aluminium in 0.1 M HCl. *Corrosion Science*, v. 51, n. 8, p. 1868-1875, 2009.
- [5] BENSABAH, F. et al. Chemical Composition and Inhibitory Effect of the Essential Oil from *Lippia Citriodora* Irrigated by Wastewater on the Alkaline Corrosion of Aluminum. *Portugaliae Electrochimica Acta*, v. 32, n. 6, p. 381-393, 2014.
- [6] SINGH, A. K.; MOHAPATRA, S.; PANI, B. Corrosion inhibition effect of Aloe Vera gel: Gravimetric and electrochemical study. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 33, p. 288-297, 2016.
- [7] AFIA, L. et al. Electrochemical Evaluation of Linseed Oil as Environment-friendly Inhibitor for Corrosion of Steel in HCl Solution. *Portugaliae Electrochimica Acta*, v. 33, n. 3, p. 137-152, 2015.
- [8] STD ENGENHARIA. Corrosão em tubulações. Disponível em: <<http://www.stdengenharia.com.br/>>. Acesso em: 18 de Março de 2021.
- [9] CONSTRUTORA INFO. Cuidados com o desgaste de estruturas de aço contra a corrosão. Disponível em: <<https://construtora.info/cuidados-com-o-desgaste-de-estruturas-de-aco-contra-a-corrosao/>>. Acesso em: 19 de Março de 2021.
- [10] SILVA, M. L. D. Análise de dutos metálicos com defeitos de corrosão. 2011. 202f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- [11] GADOW, Hend Elsayed; ELABBASY, Hanaa Mohamed. Electrochemical study on the efficiency of curcuma extract as a green Inhibitor for corrosion of α -brass in 1M HCl. *Int. J. Electrochem. Sci. International Journal of Electrochemical Science*, v. 12, p. 5867-5887, 2017.
- [12] DEYAB, M. A. et al. Green approach towards corrosion inhibition of carbon steel in produced oilfield water using lemongrass extract. *RSC advances*, v. 7, n. 72, p. 45241-45251, 2017.
- [13] FOUDA, A. S.; ABOUSALEM, A. S.; EL-EWADY, G. Y. Mitigation of corrosion of carbon steel in acidic solutions using an aqueous extract of *Tilia cordata* as green corrosion inhibitor. *International Journal of Industrial Chemistry*, v. 8, n. 1, p. 61-73, 2017.
- [14] HEGAZY, M. A. et al. Novel cationic surfactants for corrosion inhibition of carbon steel pipelines in oil and gas wells applications. *Journal of Molecular Liquids*, v. 214, p. 347-356, 2016.

[15] SANTOS, Érica da costa dos. Aplicação de resíduos da indústria de malte como inibidores de corrosão do aço-carbono 1020 em meio altamente corrosivo da indústria de petróleo. 2015. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Pós-graduação em Engenharia Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

[16] GROSSER, Fabiana Nogueira. Inibidores orgânicos de corrosão: estudos com compostos naturais obtidos de diversas espécies de mentas. 2015. 114f. Tese (Doutorado em Química) – Pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

[17] BRITO, Crystopher Cardoso de et al. Parâmetros térmicos e microestruturais na solidificação transitória de Ligas Al-Mg e Al-Mg-Si e correlação com resistências mecânicas e à corrosão. 2016. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

[18] OULABBAS, A.; ABDERRAHMANE, S. Natural extract of *Opuntia ficus indica* as green inhibitor for corrosion of XC52 steel in 1 M H₃PO₄. *Materials Research Express*, v. 6, n. 1, p. 015513, 2018.

[19] FIDRUSLI, A. et al. Ginger extract as green corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid solution. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. p. 012087.

[20] HALDHAR, Rajesh; PRASAD, Dwarika; SAXENA, Akhil. *Armoracia rusticana* as sustainable and eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M sulphuric acid: Experimental and theoretical investigations. *Journal of environmental chemical engineering*, v. 6, n. 4, p. 5230-5238, 2018.

[21] CASALETTO, Maria Pia et al. Inhibition of Cor-Ten steel corrosion by “green” extracts of *Brassica campestris*. *Corrosion science*, v. 136, p. 91-105, 2018.

[22] ABENG, Fidelis Ebunta; IDIM, Veronica David. Green corrosion inhibitor for mild steel in 2 M HCl solution: Flavonoid extract of *Erigeron floribundus*. *World Scientific News*, v. 98, p. 89-99, 2018.

[23] BOURAZMI, H. et al. Methanolic extract of *salvia officinalis* plant as a green inhibitor for the corrosion of carbon steel in 1 M HCl. *Journal of Materials and Environmental Science*, v. 9, p. 928-938, 2018.

[24] EURIDES, Ana Luiza G. et al. Extrato de casca de banana (*Musa AAB* subgrupo Prata) como inibidor verde de corrosão do aço carbono 1020 em ácido clorídrico 1M. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CORROSÃO. Anais [...] INTERCORR: São Paulo, 2018. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2018/INTERCORR2018_161.pdf.

[25] JMIAI, A. et al. Application of *Zizyphus Lotuse*-pulp of Jujube extract as green and promising corrosion inhibitor for copper in acidic medium. *Journal of Molecular Liquids*, v. 268, p. 102-113, 2018.

[26] CHATOUI, K. et al. An investigation of carbon steel corrosion inhibition in 1 M HCl by *Lepidium sativum* oil as green inhibitor. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, v. 9, n. 4, p. 1212-1222, 2018.

[27] PERES, Jhonatan et al. Estudo da eficiência do *Orbignya oleifera* como inibidor verde de corrosão para aço com baixo teor de carbono comparado com inibidor comercial em solução HCl 1M. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 24, n. 3, 2019.

[28] AHMED, Rasha Khalid; ZHANG, Shengtao. Extrato de *Alchemilla vulgaris* como inibidor verde da corrosão do cobre em ácido clorídrico. *Int. J. Electrochem. Sci*, v. 14, p. 10657-10669, 2019.

[29] BAHLAKEH, Ghasem et al. Novel cost-effective and high-performance green inhibitor based on aqueous *Peganum harmala* seed extract for mild steel corrosion in HCl solution: detailed experimental and electronic/atomic level computational explorations. *Journal of Molecular Liquids*, v. 283, p. 174-195, 2019.

[30] HAFEZ, B. et al. Environmentally friendly inhibitor of the corrosion of mild steel: Commercial oil of *Eucalyptus*. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, v. 8, n. 3, p. 573-585, 2019.

[31] SINGH, M. Ramananda; GUPTA, Prachi; GUPTA, Kaushal. O extrato de casca de lichia (*Litchi Chinensis*) é um potencial inibidor verde na prevenção da corrosão do aço macio em solução de H₂SO₄ 0,5 M. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 12, n. 7, pág. 1035-1041, 2019.

[32] MUTHUKRISHNAN, P. et al. O estigmasterol extraído das folhas de *Ficus hispida* como um inibidor verde da corrosão do aço macio em solução 1 M de HCl. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 12, n. 8, pág. 3345-3356, 2019.

[33] HEGDE, Manjunath; NAYAK, S. P. Aqueous extract of *Dillenia Pentagyna* Fruit as green inhibitor for mild steel corrosion in 0.5 M hydrochloric acid solution. *J. Mater. Environ. Sci*, v. 10, n. 1, p. 22-31, 2019.

[34] BAHLAKEH, Ghasem et al. Highly effective mild steel corrosion inhibition in 1 M HCl solution by novel green aqueous Mustard seed extract: Experimental, electronic-scale DFT and atomic-scale MC/MD explorations. *Journal of Molecular Liquids*, v. 293, p. 111559, 2019.

[35] BIDI, Mohammad Amin; AZADI, Mahboobeh; RASSOULI, Maryam. A new green inhibitor for lowering the corrosion rate of carbon steel in 1 M HCl solution: *Hyalomma tick* extract. *Materials today communications*, v. 24, p. 100996, 2020.

[36] KUMAR, Harish; YADAV, Vikas. *Musa acuminata* (Green corrosion inhibitor) as anti-pit and anti-cracking agent for mild steel in 5M hydrochloric acid solution. *Chemical Data Collections*, v. 29, p. 100500, 2020.

[37] ZHANG, Xin et al. Evaluation of *Idesia polycarpa* Maxim fruits extract as a natural green corrosion inhibitor for copper in 0.5 M sulfuric acid solution. *Journal of Molecular Liquids*, v. 318, p. 114080, 2020.

[38] AHMED, Rasha Khalid; ZHANG, Shengtao. Bee pollen extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for pure copper in hydrochloric acid. *Journal of Molecular Liquids*, v. 316, p. 113849, 2020.

[39] FADHIL, Ahmed A. et al. *Portulaca grandiflora* as new green corrosion inhibitor for mild steel protection in hydrochloric acid: Quantitative, electrochemical, surface and spectroscopic investigations. *Surfaces and Interfaces*, v. 20, p. 100595, 2020.

[40] BERRISSOUL, A. et al. Evaluation of *Lavandula mairei* extract as green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. Experimental and theoretical approach. *Journal of Molecular Liquids*, v. 313, p. 113493, 2020.

- [41] CHEN, Siyi; ZHU, Bin; LIANG, Xing. Corrosion inhibition performance of coconut leaf extract as a green corrosion inhibitor for X65 steel in hydrochloric acid solution. *Int J Electrochem Sci*, v. 15, p. 1-15, 2020.
- [42] GAYATHRI, V. S. et al. Green inhibitors: Anti corrosive propensity of *Garcinia mangostana* for Aluminum 1100. *Solid State Phenomena*. Trans Tech Publications, p. 109-112, 2012.
- [43] GUNAVATHY, N.; MURUGAVEL, S. C. Corrosion inhibition studies of mild steel in acid medium using *Musa Acuminata* fruit peel extract. *Journal of Chemistry*, v. 9, n. 1, p. 487-495, 2012.
- [44] SANYAL, B. Organic compounds as corrosion inhibitors in different environments—a review. *Progress in Organic Coatings*, v. 9, n. 2, p. 165-236, 1981.
- [45] LEÓN, LD López et al. Corrosion of Carbon Steel in a Synthetic Environment and Kerosene on a System with Continuous Flow. *Int. J. Electrochem. Sci*, v. 10, p. 7582-7595, 2015.
- [46] OLVERA-MARTÍNEZ, María Elena; MENDOZA-FLORES, Juan; GENESCA, J. CO₂ corrosion control in steel pipelines. Influence of turbulent flow on the performance of corrosion inhibitors. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 35, p. 19-28, 2015.
- [47] SOUSA, J.P. Estudo da eficiência do Limoneno como inibidor verde de corrosão para aço de baixo carbono em sistema com fluxo turbulento. 2019. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís, 2019.
- [48] YAHYA, S.; OTHMAN, N. K.; ISMAIL, M. C. Corrosion inhibition of steel in multiple flow loop under 3.5% NaCl in the presence of rice straw extracts, lignin and ethylene glycol. *Engineering Failure Analysis*, v. 100, p. 365-380, 2019.
- [49] JING, T. I. A. N. et al. Effect of flow velocity on corrosion behavior of AZ91D magnesium alloy at elbow of loop system. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, v. 26, n. 11, p. 2857-2867, 2016.
- [50] OBOT, Ime Bassey; ONYEACHU, Ikenna B.; UMOREN, Saviour A. Alternative corrosion inhibitor formulation for carbon steel in CO₂-saturated brine solution under high turbulent flow condition for use in oil and gas transportation pipelines. *Corrosion Science*, v. 159, p. 108140, 2019.
- [51] AJMAL, T. S. et al. Influence of green inhibitor on flow-accelerated corrosion of API X70 line pipe steel in synthetic oilfield water. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, v. 55, n. 6, p. 487-496, 2020.
- [52] ASHASSI-SORKHABI, Habib; KAZEMPOUR, Amir. Influence of fluid flow on the performance of polyethylene glycol as a green corrosion inhibitor. *Journal of Adhesion Science and Technology*, v. 34, n. 15, p. 1653-1663, 2020.
- [53] LAVANYA, M.; MURTHY, V. Ramachandra; RAO, Padmalatha. Erosion corrosion control of 6061 aluminum alloy in multi-phase jet impingement conditions with eco-friendly green inhibitor. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 28, n. 2, p. 340-347, 2020.

[54] FELIPE, Maria Beatriz MC et al. Aspectos gerais sobre corrosão e inibidores vegetais. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 4, p. 746-759, 2013.

[55] DO NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, Biblioteca de Ciências e Tecnologia, 2014.

[56] STANDARD, A. S. T. M. G59–97. Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2009.

[57] BARROW, Bruce et al. American National Standard for Metric Practice - (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, and ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011). IEEE/ASTM SI-10.

[58] ASTM, G. 184-06. Standard Practice for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage. Current edition approved on Jan15, 2006.

[59] WHITE, F.M., Mecânica dos Fluidos, 6 ed., Porto Alegre, AMGH Editora, 2010.

[60] BRUNETTI, F., Mecânica dos Fluidos, 2 ed., São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2008.