

CLEBSON SANTOS CÂNDIDO
MARCOS ANDRÉ SILVA ARAÚJO

2
Volume

Engenharia sem **Fronteiras**

Uma era de Inovações

2020


Pascal
Editora

**CLEBSON SANTOS CÂNDIDO
MARCOS ANDRÉ SILVA ARAÚJO
(Organizadores)**

ENGENHARIA SEM FRONTEIRAS

UMA ERA DA INOVAÇÃO - VOLUME 2

**EDITORA PASCAL
2020**

2020 - Copyright© da Editora Pascal

Editor Chefe: Prof. Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte: Marcos Clyver dos Santos Oliveira

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Dr. Saulo José Figueredo Mendes

Dr. Glauber Túlio Fonseca Coelho

Dr^a. Will Ribamar Mendes Almeida

Dr. Raimundo José Barbosa Brandão

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E82ca4

Cândido, Clebson Santos, e Araújo, Marcos André Silva.

Coletânea Engenharia sem fronteiras: uma era da inovação / Clebson Santos Cândido e Marcos André Silva Araújo (Org).. São Luís - Editora Pascal, 2020.

169 f. : il. : (Engenharia sem Fronteiras; v. 2)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-86707-26-7

D.O.I.: 10.29327/523887

1. Engenharia. 2 Tecnologia. 3. Avanços da ciência. I. Cândido, Clebson Santos; II. Araújo, Marcos André Silva (organizadores). III. Título.

CDU: 62.9:658.5

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2020

www.editorapascal.com.br

contato@editorapascal.com.br

APRESENTAÇÃO

Ao apresentar a coletânea “Engenharia sem fronteiras”, percebe-se que as engenharias estão inseridas em contextos de resolução de problemas, como foco principal o atendimento às demandas para o bem estar social, tendo viés a favor da qualidade de vida das pessoas. Esta coletânea é norteadora, em cada capítulo é apresentado o caminho que tem o objetivo de orientar o leitor sobre as engenharias construídas e ricamente baseadas em suas magnitudes, com o objetivo de levar o leitor às inúmeras interpretações, proporcionando liberdade as imaginações diversas. É uma coletânea a ser lida por todos os que amam a engenharia e compreendem a importância de sua ação e grandiosidade, como relata Henry Petroski “A ciência é sobre saber, a engenharia é sobre fazer”. Portanto, ampliem vossos conhecimentos e alcancem os objetivos propostos através da coletânea “Engenharia sem fronteiras”.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 8

A TEORIA DA RESPOSTA AO ITEM NA AVALIAÇÃO EDUCACIONAL DO ENSINO BÁSICO

Eugenio Mendes Moraes Filho

CAPÍTULO 2..... 46

ESTUDO DA REAÇÃO DE OXIDAÇÃO DE ETANOL, UTILIZANDO ELETRODOS TRIMETÁLICOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS E CROMATOGRÁFICAS

Cláudia Virgínia Gomes Guerra Miranda

Isaide de Araujo Rodrigues

CAPÍTULO 3..... 80

RECURSOS HÍDRICOS E SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS DE FORNECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Marcos André Silva Araújo

Clebson Santos Cândido

Isabella Fernanda Gouveia Santos

CAPÍTULO 4..... 96

TECNOLOGIA BIM: UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Carlos Fernando de Araújo Pereira

Marcos André Silva Araújo

Wellington Santos Araújo

Jurandir Amorim Moraes Filho

CAPÍTULO 5..... 116

A IMPORTÂNCIA DO CAD E CAE NO GPEAA

Felipe dos Santos Azevedo

Carlos César Almeida Aranha Júnior

Patrício Moreira de Araújo Filho

CAPÍTULO 6..... 122

**PLANO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO APLICADO A EQUIPAMENTOS DE
UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO MARANHÃO**

Arthur Freire Santos de Freitas
Felipe Fonseca Barth
Gleudson Abreu de Jesus
Marcelle Fernanda Magalhães Silva
Marcus Diego S. Santos
Josinaldo Pereira Marques
Thauan Costa Cunha
Wellington da Silva Santos

CAPÍTULO 7..... 137

**TINGIMENTO TÊXTIL COM ÁGUA DO MAR PARA EFEITO DE LAVANDERIA:
UMA ALTERNATIVA PRÁTICA E SUSTENTÁVEL**

Iêda Letícia de Souza Ferreira
Aline Gabriel Freire
Fernanda Steffens
Fernando Ribeiro Oliveira

CAPÍTULO 8..... 151

**APLICAÇÕES DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM PROCESSOS DE USINA-
GEM**

Hugo Marcelo Silva Pinheiro
Patrício Moreira de Araújo Filho

AUTORES..... 161

ORGANIZADORES..... 168

CAPÍTULO 1

A TEORIA DA RESPOSTA AO ITEM NA AVALIAÇÃO EDUCACIONAL DO ENSINO BÁSICO

Eugenio Mendes Moraes Filho

Resumo

A importância da avaliação educacional tem sido evidenciada desde a última década. Cada vez mais se faz necessária uma abordagem que mostre o aspecto qualitativo de dados educacionais em detrimento de aspectos puramente quantitativos. Nesse contexto surge a Teoria da Resposta ao Item (TRI). No presente trabalho abordamos os fundamentos dessa teoria, com ênfase nos modelos logísticos que relacionam a probabilidade de acerto a determinados itens com a habilidade dos respondentes. Além disso, apresentamos o processo de estimação dos parâmetros dos modelos e das habilidades dos alunos. Uma aplicação com os dados do Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo (SARESP) foi realizada. A implementação computacional foi desenvolvida com o uso do software R.

Palavras-chave: Avaliação Educacional, Teoria da Resposta ao Item (TRI), Modelo Logístico.

Abstract

The importance of educational evaluation has been increased since the last decade. Increasingly an approach is necessary to show the qualitative aspect of educational data in detriment to purely quantitative aspects. In this context, the Item Response Theory (IRT) arises. In this academic work we will discuss the fundamentals of this theory, with emphasis on logistic models that correlate probability of success to particular items with the ability of the respondents. In addition, we present the process of estimating of the parameter's models and of student's abilities. An application with data from the Evaluation of Educational Achievement of the São Paulo State (SARESP) system is performed. The computational implementation was developed using the software R.

Keywords: Educational Evaluation, Item Response Theory (IRT), Logistic Mode.



1. INTRODUÇÃO

A avaliação educacional é um dos pilares do processo ensino aprendizagem, através dela é possível comparar o desempenho dos alunos ao longo dos anos, e observar se houve progresso ou não em determinados aspectos de interesse. Além disso uma avaliação educacional bem construída permite-nos atestar a qualidade do ensino, e verificar o desenvolvimento dos alunos em seu contexto de aprendizagem, com vistas a planejar ações futuras que desenvolvam neles essas habilidades básicas (Vendramini, 2005). Além disso, o educador pode aumentar a sua eficiência no trabalho desde que esteja munido de uma ferramenta que lhe permita realizar uma verificação criteriosa dos seus procedimentos de ensino e dos resultados alcançados. O acompanhamento da evolução no desempenho dos alunos indica não somente a realidade dos resultados das metodologias aplicadas, como também determina um conjunto de referências que permitem revisões e intervenções nos procedimentos do educador, bem como planejamento de atividades posteriores.

Ao aplicarmos uma avaliação de aprendizagem, elaboramos uma prova ou teste, e a partir dos resultados obtidos, classificamos os alunos dentro de uma escala que, geralmente, leva em consideração somente a quantidade de questões respondidas corretamente pelos mesmos. No entanto há de se observar que os resultados encontrados irão depender, tanto das questões aplicadas, quanto da amostra de respondentes a qual foi aplicada tal avaliação. Essa abordagem é comumente utilizada na Teoria Clássica dos Testes (TCT), que dessa forma não leva em consideração a

habilidade do indivíduo, apenas verifica seu score final no teste. Entretanto, um estudante poder ser descrito como brilhante ou mediano, em determinados aspectos que dificilmente podem ser medidos por uma avaliação que leva somente em consideração o score obtido, uma vez que certas qualidades de interesse são perceptíveis apenas intuitivamente. Qualidades ou habilidades escolares tais como: facilidade de leitura, saber relacionar várias fontes de informação, habilidades aritméticas, são aspectos dos estudantes que não podem ser medidas diretamente, cada um destes aspectos são denominados pela psicometria de aspectos não observáveis ou traços latentes. Segundo Francisco (2005), pode-se entender por traço latente as diferentes modalidades estruturais da inteligência que compreendem determinadas operações que o indivíduo utiliza para estabelecer relações entre os objetos físicos, os conceitos, situações, fenômenos e pessoas. As habilidades instrumentais referem-se especificamente ao plano do saber fazer e decorrem, diretamente, do nível estrutural das competências já adquiridas e que se transformam em habilidades. Isto é, a "capacidade de agir eficazmente em um determinado tipo de situação, apoiando-se em conhecimentos, mas sem se limitar a eles"(Perrenoud, 1998). A técnica denominada Teoria da Resposta ao Item (TRI) assume que o desempenho em um teste pode ser explicado em função desses aspectos ou traços latentes. Passaremos a nos referir a essas variáveis com os ter-



mos proficiências ou habilidades.

Há uma preocupação crescente com habilidades pouco desenvolvidas de leitura, escrita e aritmética que motiva a busca por testes de competência e habilidades básicas como um meio de certificar a obtenção de uma competência mínima (Anastasi, 2000). De acordo com Andrade (2000), a Teoria da Resposta ao Item (TRI) é uma metodologia que sugere formas de representar a relação entre a probabilidade de um indivíduo dar uma certa resposta a um item e seus traços latentes. A Teoria da

Resposta ao Item foi desenvolvida com propósito de resolver um problema na Teoria Clássica dos Testes que é a dependência da medida de proficiência em relação ao teste aplicado e dos parâmetros dos itens em relação ao conjunto dos respondentes. Segundo a Teoria da Resposta ao Item, a medida de habilidade de um examinado não depende dos itens apresentados a ele, e os parâmetros de discriminação e de dificuldade de cada item não dependem do grupo de respondentes. Na área 3

educacional é crescente o interesse pela aplicação de técnicas derivadas da TRI, já que esta metodologia visa um tipo de avaliação mais qualitativo, baseada em escalas de habilidades que permite posicionar os estudantes em tal escala de acordo com o nível de proficiência atestado pelo mesmo.

Um outro aspecto que deve ser citado, e que diferencia bastante a Teoria Clássica dos Testes da TRI, é que na Teoria Clássica, pelo fato de a análise psicométrica estar construída sobre o objeto de medição (prova), torna-se quase inviável a comparação entre populações submetidas a provas diferentes, ou pelo menos ao que se denomina formas paralelas de teste. No caso da Teoria da Resposta ao Item, os itens em si, tornam-se os elementos centrais da análise, o que permite comparar populações submetidas a provas distintas, desde que haja apenas alguns elementos, ou itens, em comum. Com isso é também possível avaliar o desenvolvimento de uma determinada série de um ano para outro, ou ainda comparar o desempenho entre escolas públicas ou particulares. Desta forma, várias questões de interesse prático podem ser respondidas de forma mais coerente por meio dessa abordagem.

Segundo Vendramini (2005), há dois pressupostos a serem observados para que possamos aplicar os modelos propostos pela Teoria da Resposta ao Item: o critério de unidimensionalidade (os itens devem medir uma única habilidade); e o critério da independência local (as respostas dos itens não devem ser influenciadas pelas respostas fornecidas a outros itens). Com relação à unidimensionalidade, em geral procura-se reunir itens para os quais supõe-se que uma certa proficiência ou habilidade é dominante. O pressuposto da independência local significa que quando a habilidade latente que está sendo mensurada pelo conjunto de itens é mantida constante, nenhum par de itens pode ser correlacionado. Este pressuposto implica que a probabilidade de acertar um item depende exclusivamente da habilidade do



examinado, não da ordem do item dentro da prova, do cansaço, etc. (Lord, 1980).

A TRI fornece modelos que atribuem parâmetros para itens e para indivíduos separadamente de forma a predizer probabilisticamente a resposta de qualquer indivíduo a qualquer item. Requena (1990) ressalta que as funções de resposta ao item estabelecem as relações, matematicamente formalizadas, de como cada resposta depende de certo nível ou grau de habilidade no traço considerado. Geralmente os itens podem ser avaliados por meio de modelos de um, dois ou três parâmetros. O modelo de um parâmetro envolve apenas a "dificuldade" (parâmetro b); o de dois, envolve além da dificuldade a "discriminação" (parâmetro a); e o de três, além dos dois já citados, a e b , leva em consideração a probabilidade de "acerto ao acaso" (parâmetro c). O parâmetro θ representa a habilidade dos examinados.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar os conceitos fundamentais da Teoria da Resposta ao Item, e avaliar a utilização deste método como alternativa ao que é feito na Teoria Clássica dos Testes. Em particular, utilizar a metodologia apresentada para analisar dados de rendimento escolar de alunos do Ensino Médio.

2. CURVA CARACTERÍSTICA DO ITEM

Neste tópico serão apresentados os modelos utilizados em Teoria de Resposta ao Item.

De acordo com Hambleton & Rogers (1991), há dois pressupostos relacionados com os modelos da TRI: a estrutura matemática da Curva Característica do Item e a estrutura dimensional dos dados do teste. Segundo Baker (2001), a Curva Característica do Item é o "bloco de construção" da TRI, todo restante do desenvolvimento dessa teoria depende do comportamento desta curva.

Inicialmente, precisamos entender que para medir a quantidade de traços latentes de uma pessoa é necessária uma escala de medida, ou seja, uma escala com uma certa métrica (Baker, 2001). Há, todavia, uma grande dificuldade técnica em definir tal escala, assim como o posicionamento dos números na escala e a quantidade de traços latentes envolvidos. Assume-se, portanto, para abordagem teórica dos conceitos iniciais da TRI uma escala arbitrária, levando-se em consideração apenas que tal escala de habilidade terá centro em zero, e uma métrica que variará entre -2 a 2 a -6 a 6, ainda que o intervalo desta escala possa variar, teoricamente, entre $(-\infty, +\infty)$.

O enfoque usual para se medir a quantidade de traços latentes ou habilidades de uma pessoa é desenvolver um teste consistindo de um número de itens (questões). Cada um desses itens irá medir um aspecto particular da habilidade em questão. A princípio esses testes podem tanto possuir questões de resposta livre, quanto questões de múltipla escolha, desde que os itens de resposta livre possam



ser corrigidos de forma dicotômica. Em termos práticos, no entanto, pela dificuldade de se criar uma escala de fácil manejo para avaliações deste tipo, principalmente devido ao fator da subjetividade, que influencia na correção da prova, a grande maioria dos testes desenvolvidos em TRI constituem-se de itens de múltipla escolha, sendo que cada resposta correta recebe o valor 1 e as demais alternativas recebem o valor 0, e por esse motivo, esses itens são geralmente denominados itens binários.

Segundo Baker (1992), um pressuposto lógico é que cada examinado em um teste de itens possua uma certa quantidade de habilidades mínimas, que fará com que o mesmo possa ser situado dentro da escala de habilidades. Esse valor será representado pela letra grega θ . Em cada nível de habilidade, haverá uma certa probabilidade de que um examinado com aquela habilidade dê uma resposta correta a um item. Essa probabilidade é denotada por $P(\theta)$. Em um teste típico essa probabilidade será baixa para examinados com baixa habilidade e será alta para examinados com alta habilidade. Traçando $P(\theta)$ como uma função da habilidade teremos como resultado uma curva suave em forma de S, como mostra a Figura 1.

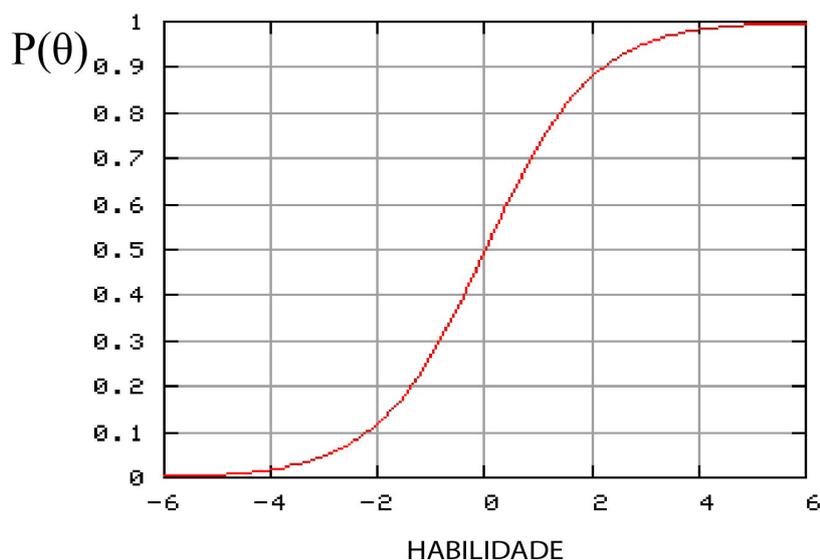


FIGURA 1: Exemplo de curva característica do item

Essa curva descreve a relação entre a probabilidade de resposta correta a um item e sua escala de habilidade. Na Teoria da Resposta ao Item tal curva é conhecida como Curva Característica do Item. Cada item em um teste irá possuir uma curva característica própria.

Há duas propriedades que determinam a forma da curva característica: a dificuldade e a discriminação do item. A dificuldade descreve o quanto a escala de habilidades será alongada, por exemplo, uma função de item fácil, concentra examinados de baixa habilidade enquanto que uma função de item difícil, concentra examinados com alta habilidade, dessa forma, a dificuldade é um indicador local. A segunda propriedade técnica é a discriminação, a qual aponta o quão bem um item pode distinguir entre examinados que possuem habilidades abaixo ou acima da exigida para acertar o item. Essa propriedade essencialmente é notada pelo declive da curva característica do item em sua região central. Quanto mais inclinada

a curva, mais poder de discriminação possuirá o item. Quanto mais assentada ou linear for a curva, menos adequado será o item para discriminar os examinados uma vez que a probabilidade de resposta correta em um nível de baixa habilidade é quase a mesma que em um nível de alta habilidade.

A partir da discussão a seguir, ver (Baker, 2001) conseguimos perceber a afirmação de a dificuldade do item ser um índice local, ou indicador local. A Figura 2 mostra três curvas características do item, plotadas na mesma escala. Elas possuem o nível de discriminação muito próximos, mas diferem em suas respectivas dificuldades. A curva *I1* representa um item fácil, uma vez que, mesmo indivíduos com baixa habilidade tem grande probabilidade de acertá-lo. A curva *I2*, mostra um item com dificuldade média uma vez que no meio da escala de habilidade a probabilidade de acerto da questão é em torno de cinquenta por cento. Por fim, a curva *I3* representa um item de maior dificuldade, nota-se que mesmo indivíduos com alta habilidade tem apenas cerca de oitenta por cento de chance e acertá-lo.

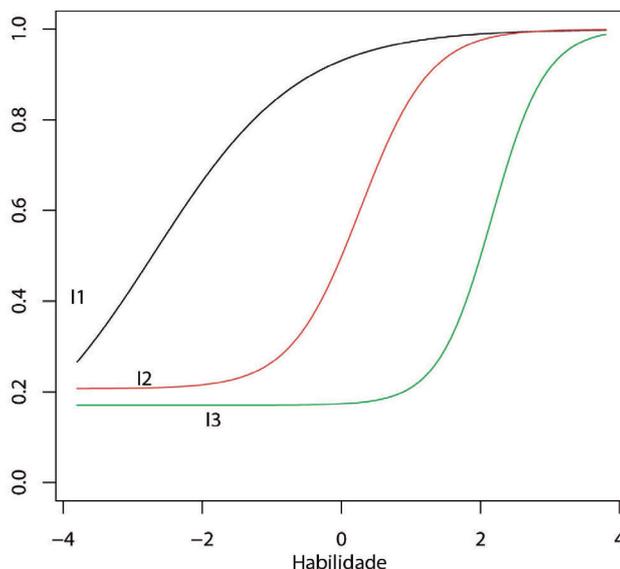


FIGURA 2: Curvas características com diferentes níveis de dificuldade.

Por sua vez, a Figura 3 contém três curvas características do item, possuindo nível de dificuldade muito próximo, só que desta vez o nível de discriminação é diferente para cada curva. A curva *I2*, mais linear, representa um item com baixo nível de discriminação, uma vez que ela não distinguiu bem entre examinados que tenham alta ou baixa habilidade, pelo fato da probabilidade de acerto para ambos os grupos serem bem próximas. A curva *I1*, que apresenta uma maior inclinação, representa um item com nível de discriminação médio, e por fim a curva mais inclinada, a *I3*, representa um item com alto índice de discriminação, percebe-se que para indivíduos com habilidade abaixo da metade da escala, a probabilidade de acerto no item é pequena, abaixo dos cinquenta por cento, e para indivíduos com habilidade acima da metade da escala, a probabilidade de acerto do item aproxima-se mais de cem por cento.

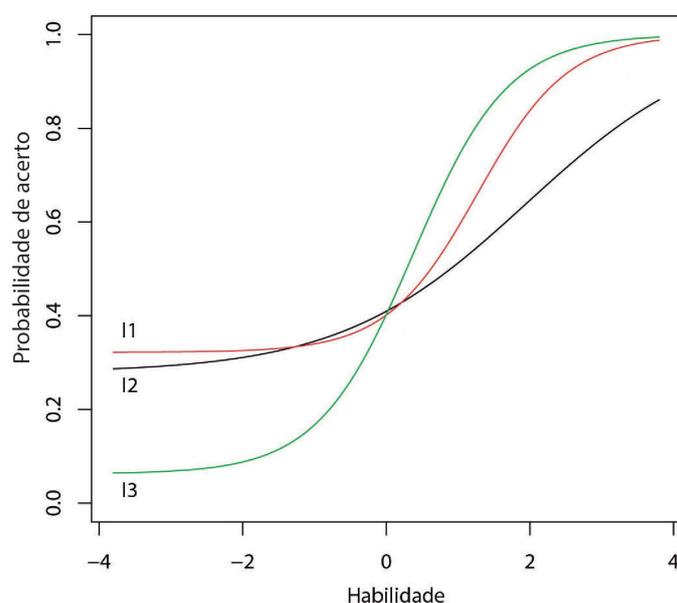


FIGURA 3: Curvas características com diferentes níveis de discriminação.

2.1 Modelos Matemáticos em TRI

Até agora foi feita uma abordagem geral das propriedades da Curva Característica do Item. Nesta seção iremos introduzir os modelos matemáticos para a Curva Característica do Item. Esses modelos partem de uma equação matemática que representa a relação entre a probabilidade de resposta correta a um item e a habilidade do respondente. Essa relação é sempre expressa de tal forma que quanto maior for a habilidade, maior a probabilidade de acerto no item. Além disso esses modelos juntamente com seus parâmetros, fornecem um veículo para a comunicação de informações sobre as propriedades técnicas dos itens.

Segundo Valle (1999) os modelos propostos dependem fundamentalmente de três fatores:

- da natureza do item - dicotômicos ou não dicotômicos;
- do número de populações envolvidas;
- do número de traços latentes que estão sendo medidos - apenas um ou mais de um.

Neste trabalho são considerados apenas os modelos que avaliam apenas um único traço latente ou habilidade, os chamados modelos unidimensionais. Na Teoria da Resposta ao Item, o modelo matemático padrão para a curva característica

do item é obtido a partir da função logística. Tal função tem as características e o formato das funções definidas na seção anterior. Particularmente a função logística é muito utilizada em ciências biológicas, nos modelos de crescimento de plantas e reprodução de animais. Foi primeiramente deduzida em 1844, e dentro do contexto da TRI vem sendo utilizada desde a década de 1950. Como consequência, principalmente, de sua simplicidade, e por ser uma função explícita dos parâmetros, o que permite um melhor manejo e maiores possibilidades de resposta computacional nos cálculos das estimativas. Diz-se isto, principalmente pelo fato de que no início do desenvolvimento da TRI, o modelo utilizado era baseado na distribuição normal acumulada, que é uma função implícita dos parâmetros.

Na verdade, os primeiros modelos de resposta ao item surgidos na década de 50, eram modelos em que se considerava que uma única habilidade, de um único grupo estava sendo medida por um teste onde os itens eram corrigidos de maneira dicotômica. Estes modelos foram primeiramente desenvolvidos na forma de uma função ogiva normal, como já citado, mas necessitava-se por questões de conveniência de um modelo mais simples. Birnbaum (1968) foi motivado pelo trabalho de Lord (1952) porém, sugeriu a troca da função ogiva normal pelo modelo logístico de dois parâmetros. Além disso Birnbaum introduziu o parâmetro de acerto ao acaso, também conhecido como "chute". Paralelamente a estes dois, Rasch (1960) por volta da década de 50 também, começou a desenvolver trabalhos utilizando modelos dicotômicos que acabaram levando seu nome e ficaram conhecidos como modelos de Rasch.

2.1.1 Modelo de Rasch ou de um Parâmetro

O modelo agora descrito foi primeiramente publicado pelo matemático dinamarquês George Rasch por volta de 1960. Ainda que Rasch já havia começado seu trabalho em medidas educacionais e psicométrica por volta de 1940. Neste modelo, o parâmetro de discriminação do item, para um modelo de dois parâmetros da curva característica, tem seu valor fixado como $a = 1$ para todos os itens; somente o parâmetro de dificuldade pode tomar diferentes valores. Por esse motivo o modelo de Rasch é frequentemente chamado de modelo logístico de um parâmetro (Baker, 2001).

Trata-se um modelo para dados dicotômicos, que expressa a relação entre a habilidade do respondente e a dificuldade do item proposto. Adota-se, portanto, o valor 1 para uma resposta correta e o valor 0 para uma resposta incorreta. Dado que a habilidade do respondente é representada pela letra grega θ , e o parâmetro de dificuldade é representado pela letra b , temos que o modelo em questão, assume que a probabilidade de uma resposta ser correta para um determinado item, ou é dada pela diferença entre a habilidade do respondente e a dificuldade do item, ou seja, $\theta - b$.



Dessa forma a função logística para o modelo de um parâmetro é dada por:

$$P(\theta) = \frac{\exp(\theta - b)}{1 + \exp(\theta - b)} \quad (2.1)$$

Ou como é mais comumente encontrado:

$$P_i(\theta) = \frac{e^{D(\theta-b_i)}}{1 + e^{D(\theta-b_i)}} \quad (2.2)$$

em que:

$P_i(\theta)$: a função resposta do item, que é a probabilidade de um examinado escolhido ao acaso, possuindo habilidade θ responder corretamente ao item; θ : nível de proficiência do respondente; b_i : parâmetro que representa a dificuldade do item i , medido na mesma escala da habilidade;

D : um fator de escala usado para aproximar a função logística da ogiva Gaussiana com valor de 1,7.

A Curva Característica do Item para o modelo de 1 parâmetro (também conhecido como ML1) é mostrada na Figura 4.

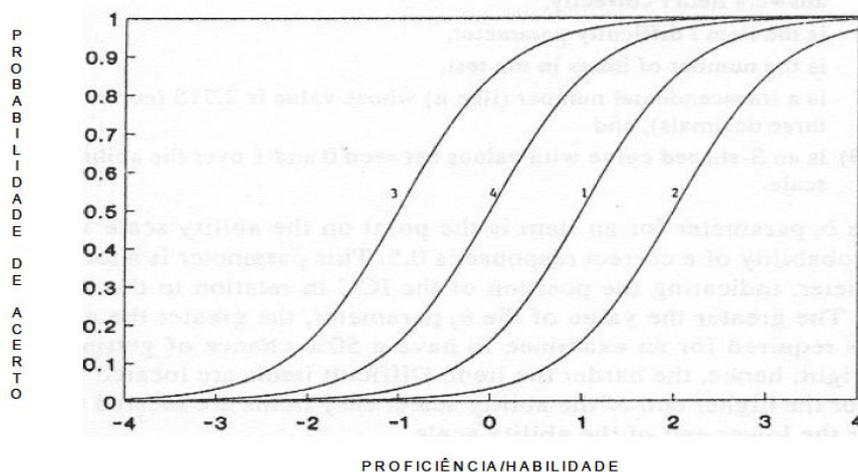


FIGURA 4: Curvas características para 4 itens utilizando o ML1.

Segundo Rasch (1960), quando a habilidade é igual à dificuldade, no modelo acima temos $P(\theta) = \frac{1}{2}$, ou seja, a probabilidade de acerto em um item quando a

habilidade se iguala à dificuldade do item é de 50%. Caso a habilidade seja maior do que a dificuldade do item, ou seja, $\theta > b$, temos que $P(\theta)$ toma valores positivos. No caso onde $\theta < b$, $P(\theta)$ toma valores negativos na escala de habilidade.

Há duas suposições assumidas para se aplicar os modelos da Teoria de Resposta ao Item. A primeira é a independência local, que significa dizer que a resposta de

um item não deve influenciar na resposta de outro (essa suposição é fundamental para o processo de estimação dos parâmetros do modelo). Uma outra suposição para aplicação do modelo é a chamada unidimensionalidade do teste, ou seja, deve haver apenas uma habilidade responsável pela realização de todos os itens do teste. Com relação à unidimensionalidade, segundo (Andrade, 2000), qualquer desempenho humano é sempre multideterminado ou multimotivado, dado que mais de um traço latente entra na execução de qualquer tarefa. Dessa forma, é suficiente admitir que haja uma habilidade dominante responsável pelo conjunto de itens. Este fator é o que se supõe estar sendo medido pelo teste.

O modelo de Rash centra-se na estimação conjunta da dificuldade (b_i) dos n itens $i, i = 1, 2, \dots, n$ e das proficiências dos j examinados θ_j em uma mesma escala.

A vantagem aqui em relação à Teoria Clássica dos Testes é que a TRI permite analisar as interações entre os respondentes e os itens, em termos de poder identificar as situações onde o respondente teria uma melhor probabilidade de responder corretamente aos itens do teste.

2.1.2 Modelo Logístico de Dois Parâmetros

Segundo Francisco (2005) Este foi o primeiro modelo criado para a Teoria da Resposta ao Item. Inicialmente esse modelo era baseado na função Gaussiana padronizada e tinha como expressão:

$$P(U_i|\theta) = \int_{-\infty}^{a_i(\theta-b_i)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz. \quad (2.3)$$

Posteriormente, Birnbaum (1968) substituiu a função Gaussiana padronizada pela função logística e o modelo passou a ser escrito como:

$$P(U_i|\theta_j) = \frac{\exp(Da_i(\theta_j - b_i))}{1 + \exp(Da_i(\theta_j - b_i))} \quad (2.4)$$

em que:

$P(U_i|\theta_j)$: Função Característica do Item; a_i : É o parâmetro que representa o poder de discriminação do item i , com valor proporcional à inclinação da tangente à curva no ponto de abscissa b_i ; b_i : É o grau de dificuldade do item; θ_j : é o nível de proficiência do respondente j ;

D : é um fator de escala usado para aproximar a função logística da ogiva Gaussiana com valor 1,7.

Na Figura 5 está representado 4 curvas características para o modelo logístico



de 2 parâmetros, também conhecido como ML2.

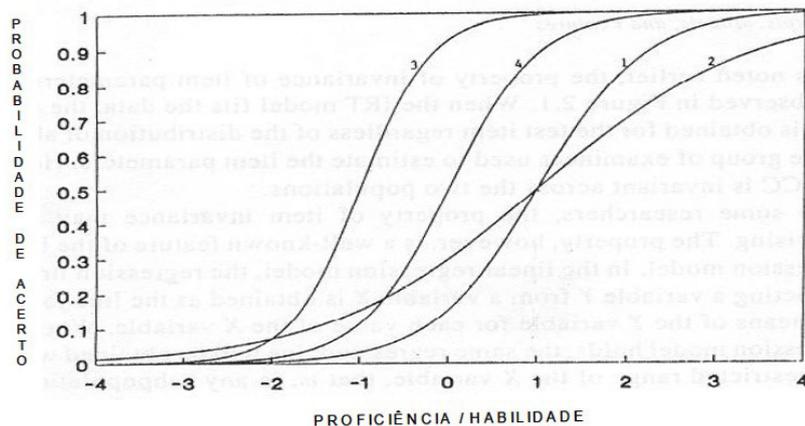


FIGURA 5: Curvas características para 4 itens utilizando o ML2.

Tanto o modelo de um ou dois parâmetros não leva em consideração a possibilidade de o aluno acertar por acaso a questão. Pensando-se nisso procurou-se um novo modelo que se incorpora esta possibilidade.

2.1.3 Modelo Logístico de Três Parâmetros

O modelo logístico de três parâmetros é definido por:

$$P(U_{ij} = 1|\theta) = c_i + \frac{(1 - c_i)\exp[Da_i(\theta - b_i)]}{1 + \exp[Da_i(\theta - b_i)]} \quad (2.5)$$

$$= c_i + \frac{1 - c_i}{1 + \exp[-Da_i(\theta - b_i)]}, \quad (2.6)$$

$j = 1, \dots, J$, em que, $P(U_j = 1|\theta_j)$: é a probabilidade do j -ésimo indivíduo escolhido ao acaso com grau de proficiência θ_j responder corretamente ao i -ésimo item;

U_{ij} : variável dicotômica que assume o valor 1 quando o j -ésimo indivíduo responde corretamente ao item i , e assume 0 quando o j -ésimo respondente não responde corretamente ao item i ; θ_j : representa o grau de proficiência do j -ésimo respondente; a_i : é o parâmetro que corresponde ao índice de discriminação do item; b_i : é o parâmetro que corresponde ao grau de dificuldade do item; c_i : é o parâmetro que representa a probabilidade de acerto ao acaso;

D : é um fator de escala usado para aproximar a função logística da ogiva Gaussiana com valor 1,7.

Na Figura 6 estão representadas 4 curvas características do item utilizando o modelo logístico de 3 parâmetros, também conhecido como ML3.

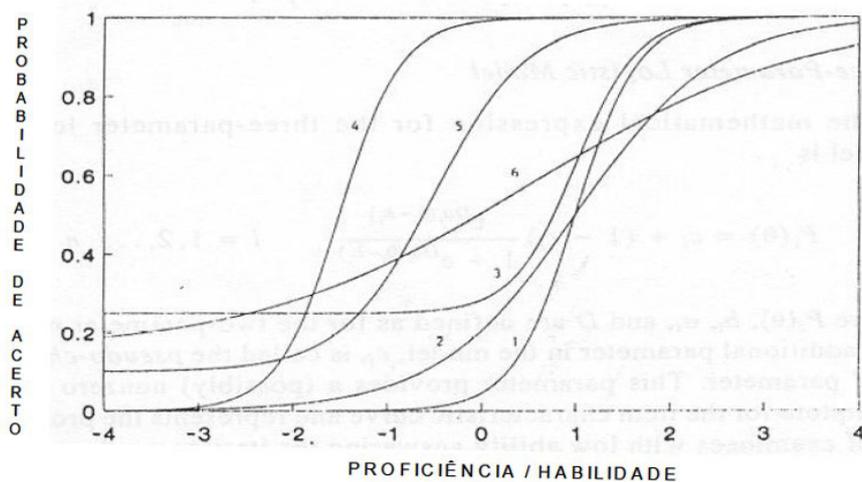


FIGURA 6: Curvas características para 4 itens utilizando o ML3.

2.1.4 Parâmetros da Curva Característica do Item

Segundo Andrade (2000), a $P(U_{ij} = 1|1)$ pode ser vista como a proporção de respostas corretas ao item i dentre todos os indivíduos da população com habilidade θ_j . A curva característica do item para $P(U_{ij} = 1|1)$ é mostrada na Figura 7.

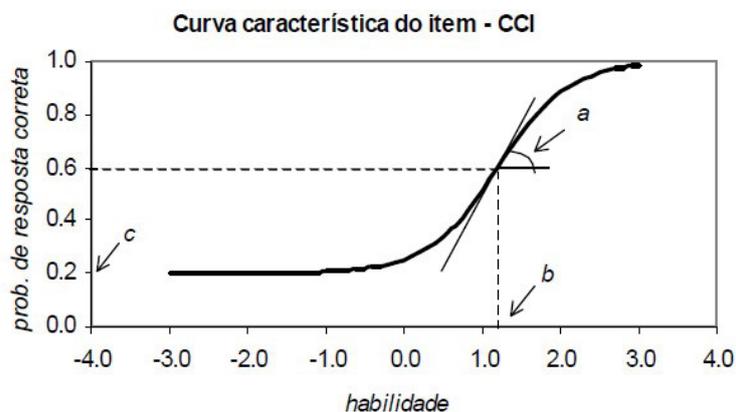


FIGURA 7: Curva característica do item e seus parâmetros.

Queremos enfatizar algumas propriedades dos parâmetros da Curva Característica do Item. Como já foi citado, o parâmetro a diz respeito à discriminação, o que implica dizer que este parâmetro está relacionado ao nível de conhecimento atestado pelos examinados. O valor de a é proporcional à derivada da tangente à curva no ponto b , ou seja, onde a curva muda de concavidade. Valores de a negativos não são esperados uma vez que isso significaria que a probabilidade de responder corretamente ao item diminuiria com o aumento da habilidade do examinado, para mais detalhes veja Francisco (2005), Andrade (2000) e Baker (1992).

Em termos práticos, uma curva mais íngreme sugere um grande poder discriminativo, o que ocorre para valores altos (positivos) do parâmetro a . O contrário ocorre quando o valor do parâmetro a tende a zero, o que fará com que a curva se torne mais achatada. Esse parâmetro também nos informa a qualidade que o item possui, e consequentemente a quão apropriada é a escala que está se usando.

O parâmetro b como já informado anteriormente, é medido na mesma escala da habilidade (θ). Em nosso contexto de estudo ele está relacionado com a dificuldade que um aluno tem em responder um determinado item. Sempre que b toma valores maiores, significa que a dificuldade do item aumenta e conseqüentemente é exigido do aluno um nível maior de habilidade. Segundo Andrade (2000), o parâmetro b representa a habilidade necessária para uma probabilidade de acerto igual a $\frac{1+c}{2}$.

O parâmetro c representa a probabilidade de um aluno com baixa habilidade responder corretamente ao item, também chamado de parâmetro de acerto ao acaso. Dessa forma, quando não é permitido chutar, c é igual a 0 e b representa o ponto da escala da habilidade onde a probabilidade de acertar o item é de 0,5 (Andrade, 2000).

Temos também ainda a considerar, a Função de Informação do Item, que determina a contribuição de cada item para a avaliação da habilidade. De modo geral, itens com alto poder discriminativo contribuem mais para a fidedignidade da medida do que itens com baixo poder de discriminação.

A função de informação do item é dada pela expressão

$$I_i(\theta) = \frac{[\frac{d}{d\theta} P_i(\theta)]^2}{P_i(\theta)Q_i(\theta)} \quad (2.7)$$

em que:

$I_i(\theta)$ é a informação fornecida pelo item i no nível de habilidade θ ;

$P_i(\theta) = P(X_{ij} = 1|\theta)$ e $Q_i(\theta) = 1 - P_i(\theta)$

A função de informação do teste, $I(\theta)$, é dada pela soma de informações de cada item (Hambleton & Rogers, 1991).

I

$$I(\theta) = \sum_{i=1}^n I_i(\theta). \quad (2.8)$$

$i=1$

Para o modelo logístico de três parâmetros temos a expressão da função de informação do item é:

$$I_i(\theta) = D^2 a_i^2 \frac{Q_i(\theta)}{P_i(\theta)} \left[\frac{P_i(\theta) - c_i}{1 - c_i} \right]^2 \quad (2.9)$$

Trazendo para nossa discussão sobre as implicações dos valores de cada parâ-

metro, temos que a informação é maior quando:

b_i se aproxima de θ_j ; quanto mais for o valor de a_i e quanto mais c_i se aproximar de 0.

3. ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

Uma das primeiras tarefas na TRI é a estimação dos parâmetros dos itens, assim como, das habilidades dos respondentes. Nos modelos da TRI, a probabilidade de uma resposta depende da habilidade do respondente, θ_j , e dos parâmetros que caracterizam o item. Há, no entanto, três situações que podem ocorrer: a primeira é quando se conhece os parâmetros dos itens, restando-nos portanto estimar as habilidades dos respondentes; uma outra situação ocorre quando são conhecidas as habilidades dos respondentes e restamos estimar os parâmetros dos itens; por fim há o caso mais comum que ocorre, quando não conhecemos nem os parâmetros dos itens, nem as habilidades dos respondentes. Na verdade, o que geralmente são conhecidas são as respostas dos examinados aos itens do teste. Em suma, o problema da estimação é, portanto, determinar o valor de θ_j para cada examinado e os parâmetros que compõe cada item do teste. Fazendo um paralelo com os modelos clássicos de regressão, onde os parâmetros que caracterizam o modelo de regressão (os coeficientes de regressão) devem ser estimados, nota-se duas grandes diferenças entre estes modelos e os modelos da TRI. O primeiro, é que o modelo de regressão geralmente é linear. Segundo, e mais importante, o regressor (variável independente) na análise de regressão é observável. Na TRI a variável θ é não observável. Esse aspecto dificulta bastante o problema de estimação dos parâmetros do modelo.

Em geral os métodos utilizados em TRI para estimação dos parâmetros dos modelos são baseados em máxima verossimilhança, com auxílio de algum procedimento iterativo, como o algoritmo de Newton Raphson ou o "scoring" de Fisher ver Andrade (2000). Alguns procedimentos Bayesianos também são aplicados com alguma frequência. A estimativa do parâmetro do item então fornece as informações das propriedades técnicas dos itens do teste. Na TRI, o processo de estimação dos parâmetros dos itens é conhecido como *calibração*.

Na situação em que desejamos estimar tanto os parâmetros dos itens, quanto as habilidades, há duas abordagens usuais: estimação conjunta, parâmetros dos itens e habilidades, ou em duas etapas, primeiro a estimação dos parâmetros dos itens e, posteriormente, das habilidades (Andrade, 2000).

Há alguns pontos a serem considerados, levando-se em conta cada tipo de abordagem. Segundo Andrade (2000), no caso da estimação conjunta, o número de parâmetros a serem estimados simultaneamente pode ser extremamente grande. Por exemplo, para o modelo logístico de três parâmetros, esse número seria de



$3I + n$, onde I representa o vetor de parâmetro dos itens. O que leva a uma grande exigência computacional que envolve a inversão de matrizes de ordem $3I+n$. Para contornar esse problema, Birnbaum (1968) propôs um processo conhecido como "back-and-fork" ou "vai e volta" o qual é iniciado com estimativas grosseiras das habilidades e envolve a estimação dos parâmetros dos itens considerando as habilidades conhecidas; após a obtenção das estimativas dos parâmetros dos itens, as estimações das habilidades são feitas considerando conhecidos os parâmetros dos itens. Esses passos são repetidos até que algum critério de parada do processo seja alcançado. A vantagem desse procedimento é ele permitir que os itens sejam estimados individualmente, como consequência da independência local, já assumida anteriormente, o que exige o tratamento de matrizes de ordem 3 para o ML3. Da mesma forma, a partir da independência entre as respostas vindas de indivíduos diferentes, as habilidades passam a ser estimadas individualmente, o que diminui drasticamente a exigência computacional. Há entretanto algumas considerações sobre esse procedimento que precisam ser levantadas: sabe-se que, para os parâmetros dos itens conhecidos, os EMV's das habilidades convergem para os seus verdadeiros valores quando o número de itens cresce; com as habilidades conhecidas, os EMV's dos parâmetros dos itens ζ_i , convergem para os seus verdadeiros valores quando o número de indivíduos cresce. Na estimação conjunta, as habilidades são denominadas de parâmetros incidentais, pois o número destes parâmetros (θ_j) cresce com o número de indivíduos; os parâmetros dos itens são denominados de parâmetros estruturais, e o número desses parâmetros não se altera quando a amostra cresce. Essas denominações são devidas a Neyman & Scott (1948), que notaram, em um contexto diferente da TRI, que na presença de parâmetros incidentais os EMV's dos parâmetros dos itens podem ser assintoticamente tendenciosos. Esse problema de falta de consistência dos parâmetros dos itens (ou habilidades) na presença de um número muito grande de indivíduos foi notado por Andersen (1973) e demonstrado para o modelo de Rasch. Porém, quando o número de itens e o número de indivíduos crescem, os EMV's dos parâmetros dos itens e das habilidades podem ser não viciados, como sugerido por Lord (1968) e demonstrado apenas para o modelo de Rasch. Resultados numéricos obtidos por Lord (1975) e Swaminathan & Gifford (1983) reforçam a conjectura de que os estimadores de máxima verossimilhança dos parâmetros dos itens e das habilidades são não viciados, quando o número de itens e o número de indivíduos crescem.

Devido ao fato de existir tal inconsistência sobre o viesamento ou não dos EMV's quando da estimação conjunta das habilidades dos respondentes e os parâmetros de habilidade dos mesmos, buscou-se ao desenvolvimento da estimação em duas partes. Este método baseia-se na existência de uma distribuição associada à proficiência dos indivíduos da população η . Isso possibilita que a estimação dos itens seja feita pelo método da máxima verossimilhança marginal, ou seja, considerando uma determinada distribuição para a proficiência dos indivíduos de η , cuja função densidade de probabilidade (fdp) é $g(\theta|\eta)$, onde η é o vetor de parâmetros associados à η e integrando a função de verossimilhança com relação a θ . Segundo Andrade (2000), após a estimação dos parâmetros dos itens, as proficiências são estimadas individualmente por máxima verossimilhança, ou pela moda ou média

da distribuição condicional de θ_j , sendo $u_j = (u_{j1}, \dots, u_{jI})$, o vetor de respostas do indivíduo j , $j = 1, \dots, n$, com $\zeta_i = (a_i, b_i, c_i)$, e o vetor de parâmetros do item i , $i = 1, \dots, I$, conhecidos.

Ainda, segundo Andrade (2000), embora este método tenha a vantagem de envolver, na primeira etapa, apenas a estimação dos parâmetros dos itens, a estimação é feita através de aplicação de métodos numéricos que dependem das derivadas segundas da log-verossimilhança com relação à ζ_i e ζ_k , com $i, k = 1, \dots, I$, que podem ser não nulas para $i \neq k$. O que acarreta termos que calcular a inversa de matrizes de ordem $3I \times 3I$ para o Modelo Logístico de Três Parâmetros, o que não deixa de ser bastante trabalhoso do ponto de vista computacional. Tendo estas dificuldades em mente, Bock & Aitkin (1991) fizeram uma modificação no modelo de Bock & Lieberman (1991) adicionando a suposição de independência entre os itens, de forma que as derivadas segundas citadas acima para $i \neq k$ sejam nulas. Dessa forma a matriz $3I \times 3I$ de derivadas segundas, no Modelo Logístico de 3 parâmetros, torna-se bloco diagonal, o que possibilita que os parâmetros dos itens possam ser estimados individualmente. Há ainda outras formas de estimação dos parâmetros dos itens e das habilidades dos examinados, entretanto aquelas aqui já citadas são as mais importantes e são as que fizemos uso neste trabalho.

Antes de prosseguirmos apresentaremos algumas notações utilizadas para o processo de estimação, além de suposições que servirão de suporte para podermos desenvolver melhor os modelos propostos.

Seja θ_j a habilidade e U_{ji} a variável aleatória que representa a resposta binária (ou dicotomizada) do indivíduo j ao item i , com

$$U_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{caso a resposta esteja correta, com } P(U_{ji} = 1) = \theta_j \\ 0, & \text{caso a resposta esteja incorreta, com } P(U_{ji} = 0) = 1 - \theta_j \end{cases}$$

Sejam $U_j = (U_{j1}, U_{j2}, \dots, U_{jI})$ o vetor aleatório de respostas do indivíduo j e $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ o conjunto de todas as respostas dadas. Da mesma forma representamos as observações por u_{ji} , u_j , e u . Seja então $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ o vetor de habilidades dos n indivíduos e seja $\zeta = (\zeta_1, \dots, \zeta_I)$ o conjunto dos parâmetros dos itens.

As suposições a serem aceitas serão as seguintes:

- As respostas dadas por examinados diferentes para determinado item são independentes;
- Examinados com a mesma proficiência (θ) respondem a todos os itens do teste de forma independente.



3.1 Estimação dos Parâmetros dos Itens pelo Método da Máxima Verossimilhança

Considera-se agora o caso onde é conhecida a habilidade θ (constante) do respondente a um determinado teste. Nosso objetivo é estimar os parâmetros dos itens que compõem esse teste. Na prática, essa situação não ocorre, mas o estudo matemático desse caso é importante para o desenvolvimento do caso mais complexo, que é estimar os parâmetros dos itens (a_i, b_i, c_i) e das proficiências (θ) simultaneamente.

Estimar os parâmetros de todos os itens de um teste simultaneamente requer recursos computacionais muito dispendiosos. Dessa forma, na maioria dos procedimentos em TRI, os parâmetros dos itens são estimados item por item. Considerando, portanto, que nosso objetivo é estimar um único item, digamos o item i , para obtermos os parâmetros dos I itens que compõem o teste, deveremos repetir o processo independentemente I vezes.

A estimação dos parâmetros de qualquer um dos modelos logísticos da TRI é feita utilizando-se o método da máxima verossimilhança, quando as proficiências são conhecidas. Utilizamos o Modelo Logístico de 3 Parâmetros para exemplificação, uma vez que este é o mais utilizado e além disso os modelos de dois e três parâmetros podem ser derivados deste.

Considerando, portanto, o vetor U_j , de respostas correspondentes ao examinado j , para os n itens do teste, e sendo U a matriz do conjunto de vetores das respostas de ordem $m \times n$. Dentro deste contexto, tem-se que a função de verossimilhança do vetor de parâmetros dos itens

$$\zeta = (\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_I),$$

é dada por

$$L(\zeta) = P(U_{..} = u_{..} | \theta, \zeta).$$

Como:

$$L(\zeta) = \prod_{i=1}^n P(U_j = u_j | \theta_j, \zeta),$$

e

$$L(\zeta) = \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^I P(U_{ji} = u_{ji} | \theta_j, \zeta_i).$$

Onde se tem que a distribuição de U_{ji} só depende de ζ através de ζ_i



Usando a notação

$P_{ji} = P(U_{ji}=1|\theta_j, \zeta_i)$ e $Q_{ji} = 1 - P_{ji}$, tem-se:

$$P(U_{ji} = u_{ji}|\theta_j, \zeta_i) = P(U_{ji} = 1|\theta_j, \zeta_i)u_{ji}P(U_{ji} = 0|\theta_j, \zeta_i)1-u_{ji}$$

.

Logo:

$$P(U_{ji} = u_{ji}|\theta_j, \zeta_i) = P_{ji}^{u_{ji}} Q_{ji}^{1-u_{ji}},$$

e

$n I$

$$L(\zeta) = \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^I P_{ji}^{u_{ji}} Q_{ji}^{1-u_{ji}}.$$

$j=1 \quad i=1$

Aplicando-se o logaritmo na função de verossimilhança obtém-se a função log-verossimilhança que é o logaritmo natural da função de verossimilhança, e pode ser escrita como:

$n I$

$$\log L(\zeta) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^I \{u_{ji} \log P_{ji} + (1 - u_{ji}) \log Q_{ji}\}.$$

$j=1 \quad i=1$

que é então derivada em relação à cada um dos parâmetros a_i , b_i e c_i . Os EMV's de ζ_i , $i = 1, \dots, I$, são os valores que maximizam a função de verossimilhança, obtidos pelas soluções da equação:

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = 0, \quad \text{com } i = 1, \dots, I.$$

Escrevendo a equação acima de outra forma, temos:

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ u_{ji} \frac{\partial(\log P_{ji})}{\partial \zeta_i} + (1 - u_{ji}) \frac{\partial(\log Q_{ji})}{\partial \zeta_i} \right\}.$$

Aplicando-se a derivada do logaritmo, tem-se:



$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ u_{ji} \frac{1}{P_{ji}} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right) + (1 - u_{ji}) \frac{1}{Q_{ji}} \left(-\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right) \right\} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ u_{ji} \frac{1}{P_{ji}} - (1 - u_{ji}) \frac{1}{Q_{ji}} \right\} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right) \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{u_{ji} Q_{ji} - P_{ji} + u_{ji} P_{ji}}{P_{ji} Q_{ji}} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right) \right\} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{u_{ji}(Q_{ji} + P_{ji}) - P_{ji}}{P_{ji} Q_{ji}} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right) \right\} \quad (3.4)$$

Como $Q_{ji} + P_{ji} = 1$, temos que:

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{u_{ji} - P_{ji}}{P_{ji} Q_{ji}} \right\} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right).$$

Para as demonstrações a seguir utilizaremos a seguinte convenção $W_{ji} =$

$$\frac{P_{ji}^* Q_{ji}^*}{P_{ji} Q_{ji}} \text{ e } P_{ji} Q_{ji} = \frac{P_{ji}^* Q_{ji}^*}{W_{ji}}, \text{ onde } P_{ji}^* = \frac{1}{1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)}}, \text{ ou, equivalentemente } P_{ji}^* =$$

$\{1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)}\}^{-1}$ (Andrade, 2000) que é a probabilidade de resposta correta.

Além disso temos, $Q_{ji}^* = 1 - P_{ji}^*$, desta forma, $Q_{ji}^* = 1 - \{1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_j)}\}^{-1}$

$$Q_{ji}^* = \frac{e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)}}{1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)}}$$

Daí temos que $Q_{ji}^* = e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)} (1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)})^{-1}$, que corresponde à probabilidade de resposta incorreta. Aplicando-se estas considerações à equação

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{u_{ji} - P_{ji}}{P_{ji} Q_{ji}} \right\} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right).$$

Temos:

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{u_{ji} - P_{ji}}{\frac{P_{ji}^* Q_{ji}^*}{W_{ji}}} \right\} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right),$$

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{j=1}^n \left\{ (u_{ji} - P_{ji}) \frac{W_{ji}}{P_{ji}^* Q_{ji}^*} \right\} \left(\frac{\partial P_{ji}}{\partial \zeta_i} \right).$$

Para obtermos as equações de estimação dos parâmetros a_i , b_i e c_i , precisamos das expressões a seguir, que são derivadas do modelo logístico de três parâmetros:

$$P(U_{ji} = 1 | \theta_j) = C_i + (1 - C_i)(1 + e^{-D_{ai}(\theta_j - b_i)})^{-1}.$$



Derivando a expressão do ML3 em relação ao parâmetro a_i , temos:

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial a_i} = (1 - c_i)(-1) (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-2} e^{-D(\theta_j - b_i)} (-D(\theta_j - b_i)) + (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-1} \times 0$$

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial a_i} = D(1 - c_i)(\theta_j - b_i) (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-2} e^{-D(\theta_j - b_i)}.$$

Sendo $P_{ji}^* = \{1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)}\}^{-1}$ e $Q_{ji}^* = 1 - P_{ji}^*$, temos que,

$$P_{ji}^* Q_{ji}^* = (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-1} \left[1 - (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-1} \right]$$

$$P_{ji}^* Q_{ji}^* = (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-1} \frac{e^{-Da_i(\theta_j - b_i)}}{1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)}}$$

$$P_{ji}^* Q_{ji}^* = \frac{e^{-Da_i(\theta_j - b_i)}}{(1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^2}$$

Substituindo este valor na expressão $(1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-2} e^{-Da_i(\theta_j - b_i)} = P_{ji}^* Q_{ji}^*$, temos para o parâmetro de discriminação a_i ,

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial a_i} = D(1 - c_i)(\theta_j - b_i) P_{ji}^* Q_{ji}^*.$$

Da mesma forma, aplicamos a derivada do ML3 em relação a b_i , para obtermos a equação de estimação do parâmetro de dificuldade do item, e obtemos a expressão $\frac{\partial P_{ji}}{\partial b_i} = -Da_i(1 - c_i) (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-2} e^{-D(\theta_j - b_i)}$, e substituindo $P_{ji}^* Q_{ji}^*$ pelo valor encontrado na expressão da derivada do ML3 em relação ao parâmetro b_i , obtemos

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial b_i} = -Da_i(1 - c_i) P_{ji}^* Q_{ji}^*.$$

De forma idêntica, prosseguimos para encontrar a equação de estimação do parâmetro de acerto ao acaso do item (c_i), derivando o ML3 em relação a c_i , obtendo a expressão a seguir

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial c_i} = 1 - \frac{1}{1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)}}.$$

Ou equivalentemente,

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial c_i} = e^{-Da_i(\theta_j - b_i)} (1 + e^{-Da_i(\theta_j - b_i)})^{-1}.$$



Desta forma

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial c_i} = Q_{ji}^*$$

Estas equações nos permitem determinar as EMV's para os três parâmetros de cada item, para mais detalhes ver (Andrade, 2000).

3.2 Estimação dos Parâmetros Considerando o Agrupamento das Habilidades

Uma outra forma de estimar os parâmetros dos itens é considerar as proficiências dos respondentes agrupados. Isso torna-se possível quando os valores de θ são conhecidos, permitindo-nos separar as habilidades em q intervalos, cujos valores centrais (ou alguma medida central dessas habilidades) denotaremos por θ_k , $k = 1, 2, \dots, q$. Consideremos, para fins práticos, que todos os indivíduos pertencentes à categoria k possuam proficiências θ_k , com isto reduzimos significativamente a exigência computacional, o que torna este método de estimação bastante atrativo.

Considere, portanto, os q grupos de f_{ki} , com $k = 1, \dots, q$, indivíduos com proficiências θ_k conhecidas. Seleccionamos então estes q grupos de uma população de respondentes do item i . Seja r_{ki} o número de indivíduos do grupo k que responderam corretamente ao item i .

Considerando a independência local entre as repostas dos diferentes examinados, podemos assumir que r_{ki} , $K = 1, \dots, q$, tem distribuição Binomial com parâmetros f_{ki} e P_{ki} sendo P_{ki} o modelo logístico de 3 parâmetros.

Substituindo-se θ_j por θ_k , a função de verossimilhança assume a forma

$$L(\zeta) = \prod_{k=1}^q \prod_{i=1}^I \left\{ \binom{f_{ki}}{r_{ki}} P_{ki}^{r_{ki}} Q_{ki}^{f_{ki}-r_{ki}} \right\}$$

A log-verossimilhança será dada, portanto, por

$$\log L(\zeta) = C + \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^I \{ r_{ki} \log P_{ki} + (f_{ki} - r_{ki}) \log Q_{ki} \}, \quad (3.6)$$

em que:

$$C = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^I \binom{f_{ki}}{r_{ki}}$$



é constante em relação a ζ .

Tomando-se a derivada da equação (3.6) em relação a ζ_i , obtemos:

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{k=1}^q \frac{1}{P_{ki} Q_{ki}} (r_{ki} - f_{ki} P_{ki}) \left(\frac{\partial P_{ki}}{\partial \zeta_i} \right).$$

Sendo

$$P_{ji} Q_{ji} = \frac{P_{ji}^* Q_{ji}^*}{W_{ji}},$$

obtemos

$$\frac{\partial \log L(\zeta)}{\partial \zeta_i} = \sum_{k=1}^q (r_{ki} - f_{ki} P_{ki}) \frac{W_{ki}}{P_{ki}^* Q_{ki}^*} \left(\frac{\partial P_{ki}}{\partial \zeta_i} \right).$$

Agora repetimos o procedimento de derivar O ML3 em relação a cada um dos parâmetros, como já feito anteriormente, ficando com as seguintes expressões:

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial a_i} = D(1 - c_i)(\theta_j - b_i) P_{ki}^* Q_{ki}^*, \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial b_i} = -D a_i (1 - c_i) P_{ki}^* Q_{ki}^*, \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial P_{ji}}{\partial c_i} = Q_{ki}^* \quad (3.9)$$

Desta forma as equações de estimações para os parâmetros dos itens, a_i , b_i e c_i , quando as proficiências são agrupadas, são dadas por:

$$a_i : D(1 - c_i) \sum_{k=1}^q (r_{ki} - f_{ki} P_{ki}) (\bar{\theta}_k - b_i) W_{ki} = 0, \quad (3.10)$$

$$b_i : -D a_i (1 - c_i) \sum_{k=1}^q (r_{ki} - f_{ki} P_{ki}) W_{ki} = 0, \quad (3.11)$$

$$c_i = \sum_{k=1}^q (r_{ki} - f_{ki} P_{ki}) \frac{W_{ki}}{P_{ki}^*} = 0 \quad (3.12)$$

A solução do sistema formado pelas equações (3.10)-(3.12) não pode ser obtida diretamente, por isso, faz-se uso de métodos iterativos como Método de Newton-Raphson ou o "scoring" de Fisher para obtermos as EMV's dos parâmetros dos itens.

Optamos por fazer uso do software R Core Team (2013) para otimização dos



processos de estimação e construção das curvas relativas à TRI, para mais detalhes teóricos sobre o uso do método de Newton Raphson ou “scoring” de Fisher, sugerimos a leitura de Francisco (2005) e Andrade (2000).

4. APLICAÇÕES

Neste capítulo utilizamos o modelo TRI com três parâmetros para analisar dados do sistema SARESP

4.1 Utilização do R na Estimação de Parâmetros em Dados do SARESP

Utilizaremos o apoio computacional do sistema R (R Core Team, 2013). R é uma linguagem e ambiente para computação estatística e gráficos. Faz parte da filosofia do Projeto GNU e está disponível como Software Livre sob os termos da “Licença Pública Geral do GNU” da Fundação do Software Livre (Free Software Foundation’s GNU General Public License) na forma de código fonte. Ele compila e roda sobre uma larga variedade de plataformas UNIX e sistemas similares (incluindo FreeBSD e Linux), Windows e MacOS (Fontana, 2009).

O R é um software de código aberto que permite fazer o tratamento dos dados utilizando pacotes otimizados para tarefas relacionadas com a psicometria fazendo uso da TRI. Seguimos a sugestão de (Anjos & Andrade, 2012) fazendo uso de um conjunto de pacotes organizados na área de Psicometria chamado *Psychometrics*, que pode ser acessado em <http://cran-r.c3sl.ufpr.br/web/views/Psychometrics.html>. Em particular utilizamos os pacotes *irtoys* (Partchev, I., 2010), *ltm* (Rizopoulos, 2006), *Deducer* (Fellows, 2012), *plink* (Weeks, 2010) e *CTT* (Willse, 2014). A versão do R utilizada foi a “R version 3.1.1 (2014-07-10)”.

4.2 Aplicação do Modelo de TRI com 3 Parâmetros

Os dados a seguir foram obtidos do SARESP - Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado São Paulo e correspondem a um teste com trinta itens de língua portuguesa aplicados a alunos do Ensino Médio dos três turnos, matutino, vespertino e noturno, e estão disponíveis em <http://www.ufpr.br/~aanjos/TRI/sinape/dados/saresp.dat>, tendo como fonte a Secretaria Estadual da Educação de São Paulo (Anjos & Andrade, 2012).



4.3 Leitura do Arquivo

Antes de continuarmos, devemos indicar a forma como os dados estão apresentados para podermos identificar cada característica de interesse neste exemplo.

ABDCAABCDCAADBDDABDDDCDCADADBC

ADCDAAADBCCCABABDBCABADCABBBDBC

BDCACABACACABADDABDBADCABDBBBC

```
1 1011001138433m07 ADDCAADBDBABDDABABCBCBDCCAADBC 1
1011002964093m07 DBACAACDABACDBBAABDDBCAACDADBC
```

```
1 1011004154243m07 ABDCAABCDDAADBDDABDADCDDADACBC 1
1011005367283m07 DCDCACABADCCCCADCBCABCCCCAABCD
```

```
1 1011007519633m07 DBDCABCDBAABDBDCCDBDDBADBBABBA
```

```
1 1011008054863m07 DDBCAACDBAAACBBBCBDDDBADBCACBC
```

```
1 1011008066103m07 DBADBACDBAACCBBBCABDDCBADBDABBC
```

```
1 1011008864603m07 DBDDADDCDCDCDDDAABBDBDBABDBBBB
```

```
1 1011010038713m07 ADCCABCDABCADBABABDACBADBCACDC
```

O arquivo está organizado da seguinte forma: as três primeiras linhas são o gabarito do teste, um referente a um turno de ensino, a linha 1 corresponde ao gabarito do turno matutino, a 2 ao gabarito do turno vespertino e por fim, a linha 3 corresponde ao gabarito do teste aplicado aos alunos do turno noturno.

Abaixo das três primeiras linhas, a primeira coluna corresponde ao turno de ensino, sendo 1 para matutino, 2 para vespertino e 3 para o noturno. A segunda coluna corresponde ao teste aplicado; a terceira, que é uma sequência com 15 algarismos, corresponde a um identificador referente a cada aluno, e por fim, a última coluna são as respostas dos alunos aos trinta itens do teste em questão.

Para fazermos a leitura destes dados basta inserir-mos as seguintes linhas no software R:

```
> saresp<-read.fwf(
```

```
'http://www.ufpr.br/~aanjos/TRI/sinape/dados/saresp.dat', widths=c(1,-1,1,-1,12,3,-1,rep(1,30)), header=FALSE,skip=3,na.strings=' ') colnames(saresp)<-
```



```
-c('grupo','escola','id','turno', paste('i',1:30,sep=' '))
```

Vejamos, portanto, o significado de cada argumento na linha de comando:

o comando `saresp<-read.fwf()`, juntamente com o endereço virtual fornecido, permite ao R buscar e ler o arquivo indicado (no caso o arquivo do SARESP cuja fonte já foi indicada). Já o argumento `widths=c(1,-1,1,-1,12,3,-1,rep(1,30))` primeiramente indica ao programa que ele leia a primeira coluna com 1 dígito (que faz referência ao turno no qual foi aplicado o teste), não leia a segunda coluna, leia a terceira com 3, também com 1 dígito, não leia a coluna 4, leia o código de identificação dos alunos, que são os próximos 12 números como sendo apenas uma coluna, os próximos 3 algarismos também apenas como uma coluna, não leia a próxima coluna e por fim, considere cada uma das letras como uma coluna.

Os argumentos `header=FALSE`, indicam que as colunas do arquivo não possuem nomes, O `skip=3` pede que o programa ignore as três primeiras linhas, e o `na.strings=' '` que considere os espaços em branco como *missing*.

Usamos o `head(saresp)` para obter os dados:

```
  grupo  escola  id          turno  i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7 i8 i9 i10 i11 i12 i13 i14
1     1     1     1 11001138433 m07  A D D C A A D B D B A  B  D  D
2     1     1     1 11002964093 m07  D B A C A A C D A B A  C  D  B
3     1     1     1 11004154243 m07  A B D C A A B C D D A  A  D  B
4     1     1     1 11005367283 m07  D C D C A C A B A D C  C  C  C
5     1     1     1 11007519633 m07  D B D C A B C D B A A  B  D  B
6     1     1     1 11008054863 m07  D D B C A A C D B A A  A  C  B

  i15 i16 i17 i18 i19 i20 i21 i22 i23 i24 i25 i26 i27 i28 i29 i30
1  A  B  A  B  C  B  C  B  D  C  C  A  A  D  B  C
2  B  A  A  B  D  D  B  C  A  A  C  D  A  D  B  C
3  D  D  A  B  D  A  D  C  D  D  A  D  A  C  B  C
4  A  D  C  B  C  A  B  C  C  C  C  A  A  B  C  D
5  D  C  C  D  B  D  D  B  A  D  B  B  A  B  B  A
6  B  B  C  B  D  D  D  B  A  D  B  C  A  C  B  C
```

O gabarito pode ser obtido com a seguinte sequência de comandos:

```
gabarito<-read.fwf('http://www.ufpr.br/~aanjos/TRI/dados/saresp.dat', widths=c(-20,rep(1,30)),header=F,nr=3) colnames(gabarito)<-c(paste('i',1:30,sep=)) gabarito
```



O que nós dá o seguinte resultado:

```
  i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7 i8 i9 i10 i11 i12 i13 i14 i15 i16 i17 i18 i19 i20 i21
1 A B D C A A B C D C A A D B D D A B D D D
2 A D C D A A D B C C C A B A B D B C A B A
3 B D C A C A B A C A C A B A D D A B D B A

  i22 i23 i24 i25 i26 i27 i28 i29 i30
1 C D C A D A D B C
2 D C A B B B D B C
3 D C A B D B B B C
```

Como queremos apenas exemplificar aqui, indicamos ao R que leia apenas as três primeiras linhas do arquivo utilizando a opção `nr=3`. Há agora um procedimento que é necessário ser feito para que os dados possam ser lidos e interpretados sob o ponto de vista da TRI. Observe que as respostas aos itens estão na forma de letras, a saber, as alternativas *a, b, c, e d*; e como já foi indicado no início deste trabalho, precisamos que estes dados sejam dicotomizados. Segundo Anjos & Andrade (2012) as principais funções conhecidas para análise de dados da TRI requerem que as respostas estejam em um objeto do tipo `data.frame` ou `matrix`, com números 0 e 1 (0 indica resposta incorreta e 1 uma resposta correta).

Faremos, portanto, uso do pacote `Deducer` utilizando a função `recode.variable()` deste pacote para podermos converter as respostas de letras para números. Para carregá-lo basta usar o comando `library(Deducer)`.

Faremos isto utilizando o seguinte comando: `dados<-recode.variables(saresp, "'A'->1; 'B'->2; 'C'->3; 'D'->4")`

Para visualizarmos os dados utilizamos o comando `head(dados)`, uma vez que, com o comando acima criamos o objeto `dados` e para que os nomes das colunas possam ter a mesma nomenclatura do arquivo `saresp` original, utilizamos o comando `names(dados)<-names(saresp)`.

Para análise dos dados, vamos fazer uso apenas dos dados do turno matutino. Podemos extrair tais dados da seguinte maneira `manha<-subset(dados, grupo==1,select=names(dados)) head(manha)`



grupo	escola	id	turno	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14
1	1	11001138433	m07	1	4	4	3	1	1	4	2	4	2	1	2	4	4
2	1	11002964093	m07	4	2	1	3	1	1	3	4	1	2	1	3	4	2
3	1	11004154243	m07	1	2	4	3	1	1	2	3	4	4	1	1	4	2
4	1	11005367283	m07	4	3	4	3	1	3	1	2	1	4	3	3	3	3
5	1	11007519633	m07	4	2	4	3	1	2	3	4	2	1	1	2	4	2
6	1	11008054863	m07	4	4	2	3	1	1	3	4	2	1	1	1	3	2

	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22	i23	i24	i25	i26	i27	i28	i29	i30
1	1	2	1	2	3	2	3	2	4	3	3	1	1	4	2	3
2	2	1	1	2	4	4	2	3	1	1	3	4	1	4	2	3
3	4	4	1	2	4	1	4	3	4	4	1	4	1	3	2	3
4	1	4	3	2	3	1	2	3	3	3	3	1	1	2	3	4
5	4	3	3	4	2	4	4	2	1	4	2	2	1	2	2	1
6	2	2	3	2	4	4	4	2	1	4	2	3	1	3	2	3

Como é do nosso interesse, a princípio, somente os dados do turno matutino, faremos a recodificação do gabarito usando os seguintes comandos: `gab<-recode.variables(gabarito,"A'->1; 'B'->2; 'C'->3; 'D'->4")` `colnames(gab)<-c(paste('i',1:30,sep=))` `gab`

E tem como saída

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21
1	1	2	4	3	1	1	2	3	4	3	1	1	4	2	4	4	1	2	4	4	4
2	1	4	3	4	1	1	4	2	3	3	3	1	2	1	2	4	2	3	1	2	1
3	2	4	3	1	3	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	4	1	2	4	2	1

	i22	i23	i24	i25	i26	i27	i28	i29	i30
1	3	4	3	1	4	1	4	2	3
2	4	3	1	2	2	2	4	2	3
3	4	3	1	2	4	2	2	2	3

No objeto dado as respostas estão gravadas como 1, 2, 3 e 4, cada um desses números correspondendo às alternativas a,b,c e d respectivamente. Faremos, portanto, uso do pacote ltm com o intuito de transformar as respostas para a forma 0 ou 1 utilizando a função `multi.choice()` do pacote citado, a partir das informações obtidas do gabarito. Para isso criamos o objeto `manha.NA` com as informações já dicotomizadas.

Antes de mais nada, carregamos o pacote ltm utilizando o comando `library(ltm)`.

Feito isto utilizamos o comando: `manha.NA<-mult.choice(manha[,5:34], as.numeric(gab[1,]))` `head(manha.NA)`

Obtendo os seguintes dados:

i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15
1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22	i23	i24	i25	i26	i27	i28	i29	i30
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Algumas observações podem ainda ser feitas com relação a dados em falta, estes dados aparecem quando o examinado não dá resposta para algum item, e pode ser observado utilizando-se o comando:

```
descript(manha.NA)$missin
```



	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10
Freq	0	6.0000000	4.0000000	0	0	0	1.0000000	2.0000000	3.0000000	1.0000000
(%)	0	0.5994006	0.3996004	0	0	0	0.0999001	0.1998002	0.2997003	0.0999001
	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	
Freq	0	0	4.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0	0	4.0000000	
(%)	0	0	0.3996004	0.0999001	0.0999001	0.0999001	0	0	0.3996004	
	i20	i21	i22	i23	i24	i25	i26	i27		
Freq	1.0000000	0	2.0000000	4.0000000	4.0000000	2.0000000	3.0000000	1.0000000		
(%)	0.0999001	0	0.1998002	0.3996004	0.3996004	0.1998002	0.2997003	0.0999001		
	i28	i29	i30							
Freq	3.0000000	3.0000000	1.0000000							
(%)	0.2997003	0.2997003	0.0999001							

Esse tipo de dado é conhecido como 'missings' ou 'NA's', quando um pacote do R não permite a leitura desse tipo de dado, as respostas faltantes devem ser codificadas como incorretas (Anjos & Andrade, 2012). Para fazer isso, usamos o seguinte comando, para o objeto manha:

```
manha.f<-ifelse(is.na(manha.NA)==T,0,manha.NA)
```

4.3.1 Análise dos Dados Utilizando o Pacote Irtoys

4.3.1.1 Estimação dos Parâmetros

Antes de tudo, devemos carregar o pacote irtoys com o comando `library(irtoys)`. O processo de estimação dos parâmetros, para o modelo logístico de três parâmetros, também conhecido como calibração em TRI, pode ser obtido da seguinte maneira, fazendo uso da função `est()` no R:

```
manha.f.par<-est (manha.f, model = "3PL", engine = "ltm", nqp = 20)
```

Criando, portanto, um objeto de nome `manha.f.par` que contém os valores estimados dos parâmetros para o ML3. Para visualizar os primeiros parâmetros, fazemos uso do comando `head(manha.f.par)`, obtendo como resultado:

\$est

	[,1]	[,2]	[,3]
i1	0.6644912	1.99392048	0.253467616
i2	1.9176240	0.26004408	0.194251538
i3	1.7516722	1.11478121	0.158545335
i4	1.0914463	0.25838770	0.144479287
i5	0.9412978	-2.72278521	0.042459114
i6	0.5695324	-0.42061784	0.035576380
i7	0.8229451	0.79664518	0.102547303
i8	0.5208884	1.34752364	0.001570670
i9	1.5328465	1.04475287	0.176233636
i10	1.4767474	1.29191358	0.309627553
i11	0.6023265	-0.64063531	0.010022951
i12	0.7842418	0.98748358	0.327779311
i13	1.1718633	-0.10201865	0.040756908
i14	1.2411512	0.24302102	0.246493438
i15	1.8518783	2.25958982	0.266862520
i16	1.6486812	1.69808984	0.159598509
i17	2.2123951	0.78535678	0.488306475
i18	3.2381238	0.01230251	0.733241528
i19	0.9762965	0.45642929	0.084285320
i20	1.2949585	0.51635292	0.587890671
i21	0.5838297	0.98182525	0.002208187
i22	3.5570522	2.12163173	0.175740316
i23	2.4368194	2.29198787	0.215549013
i24	0.7976424	2.58066634	0.401730984
i25	0.9672422	0.99653800	0.003259543
i26	1.3648268	-0.24152498	0.194079847
i27	2.0420187	0.61792463	0.581292571
i28	1.5260226	0.36114174	0.067286984
i29	1.2263268	-1.08025199	0.002740888
i30	1.3711384	-0.61151383	0.428043019

\$se

A Função de Informação do Item fazendo o uso do seguinte comando: `plot(ii-f(manha.f.par$est),label=T)` e obtemos a Figura 8



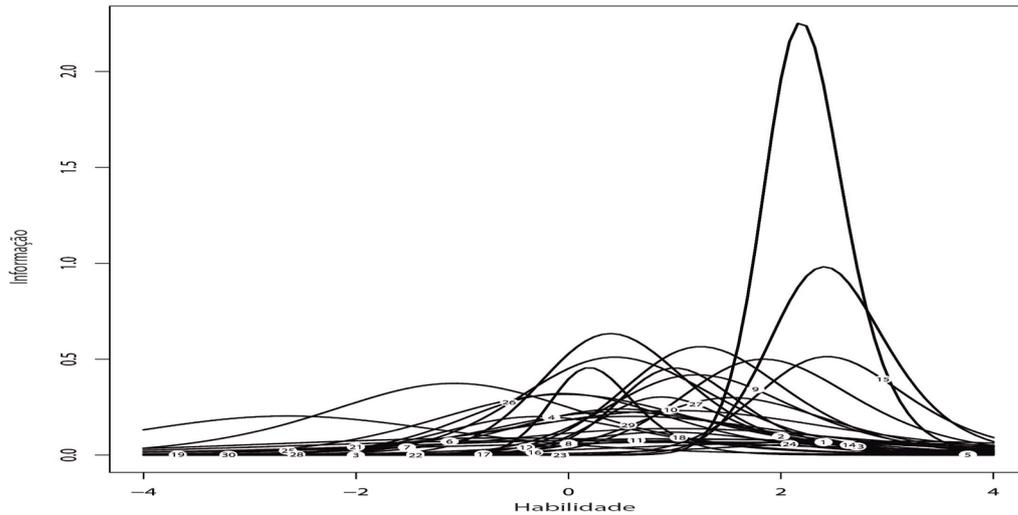


FIGURA 8: Função de informação do item para os dados do SARESP 2007

Já a Curva Característica do Item pode ser obtida através do comando:

```
plot(irf(manha.f.par$est),label=T)
```

Tendo com resultado o gráfico mostrado na Figura 9.

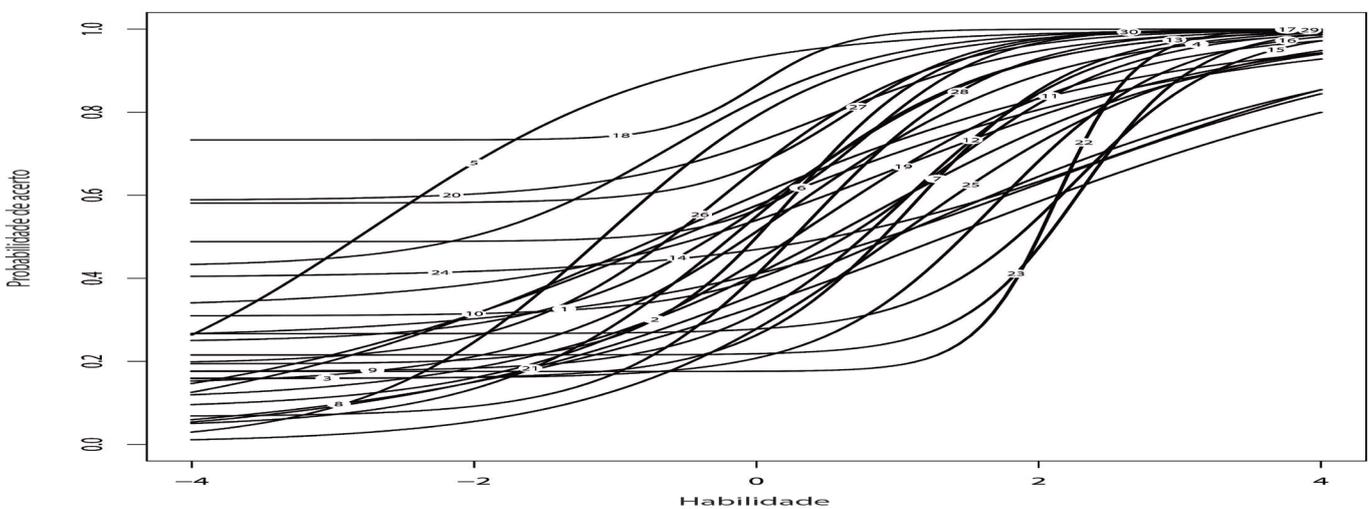


FIGURA 9: Curva característica do item para os dados do SARESP 2007

4.3.1.2 Estimação das Habilidades dos Respondentes

Tendo sido feitas as devidas estimativas para os valores dos parâmetros dos ML3 acima, vamos agora estimar a habilidade θ dos examinados. Para isto faremos uso da função `eap()`, sendo que precisamos indicar o arquivo que contém as respostas e o objeto com os parâmetros estimados que obtemos anteriormente.

Aplicamos então o comando: `manha.f.sco=eap(manha.f, ip=manha.f.par$es-`

`t,qu=normal.qu()`)

Obtendo como resultado o objeto `manha.f.sco` que contém o valor de θ estimado para cada indivíduo da população em questão. Para visualizarmos parte destes dados, fazemos uso do `head(manha.f.sco)`, obtendo os valores abaixo:

	est	sem	n
[1,]	0.06110404	0.4771474	30
[2,]	0.58837056	0.4089677	30
[3,]	1.92623806	0.4680314	30
[4,]	-1.71143568	0.6046441	30
[5,]	-0.47840008	0.4540995	30
[6,]	-0.29040561	0.4498074	30

Agora, fazendo uso do comando `plot(tif(manha.f.par$est), label=T)`, plotamos a função de informação do teste que tem como gráfico a Figura 10.

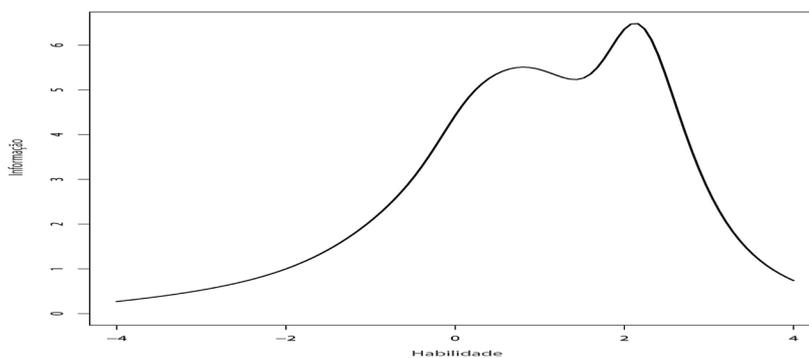


FIGURA 10: Função de informação do teste para os dados do SARESP 2007.

Se quisermos comparar a relação entre a habilidade dos alunos e o escore, fazemos isto com o comando:

`trf(manha.f.par$est)`

\$x

[1]	-4.00	-3.92	-3.84	-3.76	-3.68	-3.60	-3.52	-3.44	-3.36	-3.28	-3.20	-3.12
[13]	-3.04	-2.96	-2.88	-2.80	-2.72	-2.64	-2.56	-2.48	-2.40	-2.32	-2.24	-2.16
[25]	-2.08	-2.00	-1.92	-1.84	-1.76	-1.68	-1.60	-1.52	-1.44	-1.36	-1.28	-1.20
[37]	-1.12	-1.04	-0.96	-0.88	-0.80	-0.72	-0.64	-0.56	-0.48	-0.40	-0.32	-0.24
[49]	-0.16	-0.08	0.00	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72
[61]	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.52	1.60	1.68
[73]	1.76	1.84	1.92	2.00	2.08	2.16	2.24	2.32	2.40	2.48	2.56	2.64
[85]	2.72	2.80	2.88	2.96	3.04	3.12	3.20	3.28	3.36	3.44	3.52	3.60
[97]	3.68	3.76	3.84	3.92	4.00							

\$f

[1]	7.122584	7.160749	7.200909	7.243151	7.287566	7.334249	7.383300
[8]	7.434820	7.488918	7.545709	7.605312	7.667854	7.733471	7.802306
[15]	7.874511	7.950250	8.029696	8.113035	8.200463	8.292190	8.388439
[22]	8.489444	8.595453	8.706727	8.823539	8.946172	9.074921	9.210090
[29]	9.351993	9.500950	9.657290	9.821346	9.993459	10.173971	10.363235
[36]	10.561603	10.769436	10.987101	11.214970	11.453420	11.702830	11.963574
[43]	12.236012	12.520467	12.817201	13.126378	13.448016	13.781942	14.127754
[50]	14.484793	14.852163	15.228760	15.613342	16.004599	16.401214	16.801899
[57]	17.205413	17.610561	18.016190	18.421193	18.824518	19.225194	19.622366
[64]	20.015323	20.403542	20.786712	21.164758	21.537847	21.906371	22.270914
[71]	22.632169	22.990819	23.347364	23.701919	24.054004	24.402397	24.745122
[78]	25.079605	25.402995	25.712560	26.006043	26.281884	26.539281	26.778120
[85]	26.998827	27.202210	27.389312	27.561295	27.719362	27.864703	27.998454
[92]	28.121684	28.235379	28.340442	28.437691	28.527863	28.611621	28.689555
[99]	28.762195	28.830010	28.893420				

\$ni

[1] 30

attr("class")

[1] "trf"

A leitura desta informação é feita da seguinte maneira: o valor de x representa a habilidade estimada, enquanto que o valor de f representa o correspondente score esperado.

4.4 Construindo o Ranking dos Examinados

O comando a seguir criará um objeto com as seguintes informações: scores, posição e número de acertos de cada examinado.



```
final.rank<-data.frame ('escore'=manha.f.sco [,1],
'posição'=rank (manha.f.sco [,1]),
'acertos'=margin2table (manha.f) [-1002,31])
```

Obtendo os resultados a seguir:

	escore	posição	acertos
1	0.06110404	538	16
2	0.58837056	748	17
3	1.92623806	987	26
4	-1.71143568	15	8
5	-0.47840008	326	12
6	-0.29040561	398	13

Se quisermos ordenar os resultados, fazemos uso do comando: `final.acertos<-final.rank[order(final.rank$acertos),] head(final.acertos) tail(final.acertos)`

Tendo como resultado os valores abaixo:

	escore	posição	acertos
25	-0.9453425	156	7
88	-1.9417899	2	7
128	-1.6560666	18	7
149	-1.5962607	24	7
183	-1.8380660	7	7
192	-1.6005866	23	7

Ou ainda:

	escore	posição	acertos
422	2.450968	999	27
803	2.348995	997	27
859	2.177786	993	27
229	2.604056	1000	28
628	2.360057	998	28
558	2.766691	1001	29

Se o objetivo é ordenar em função da classificação, modificamos o comando acima utilizando o argumento `escore` e obtemos o resultado mostrado a seguir.

```
final.escore<- final.rank[order(final.rank$escore),] head(final.escore) tail(fi-
```



nal.score)

	escore	posição	acertos
257	-1.942270	1	7
88	-1.941790	2	7
971	-1.905838	3	7
315	-1.888097	4	8
325	-1.857824	5	10
395	-1.847286	6	7

Caso seja de interesse podemos alterar a escala da habilidade, para obtermos, por exemplo, escores não negativos. Faremos uma alteração exemplificativa da escala $N(0,1)$ para a $N(500,10)$ com o comando: `novo.score<-score.transform(manha.f.sco[,1], mu.new = 500, sd.new = 100, normalize = FALSE) round(head(novo.score$new,n=30),2)`

	escore	posição	Acertos
409	2.335383	996	27
803	2.348995	997	27
628	2.360057	998	28
422	2.450968	999	27
229	2.604056	1000	28
558	2.766691	1001	29

Os procedimentos que foram feitos até agora, podem também ser efetuados por intermédio do pacote ltm. A seguinte sequência de comandos nos dá, respectivamente: a estimativa dos parâmetros, o erro padrão das estimativas dos parâmetros, e as curvas características dos itens.

```
manha.f.tpm<-tpm(manha.f) manha.f.tpm summary(manha.f.tpm) plot(manha.f.tpm,legend=F)
```

Para mais detalhes, ver Anjos & Andrade (2012).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de avaliação educacional é um dos aspectos mais importantes e por vezes menos aperfeiçoado. Neste processo podemos observar se o conhecimento transmitido está sendo absorvido pelos alunos. Sem dúvida, há um grande interesse que os alunos desenvolvam habilidades mínimas que lhes permitam



uma melhor desenvoltura ao longo do Ensino Médio e posteriormente no acadêmico. Além disso, avaliar a qualidade do ensino oportuniza a conscientização sobre os pontos fortes e fracos do processo ensino-aprendizagem, apontando caminhos para mudanças.

Neste trabalho apresentamos os fundamentos da Teoria da Resposta ao Item, fazendo uso principalmente do modelo logístico de três parâmetros nas nossas aplicações, com o apoio computacional do (R Core Team, 2013). A análise dos parâmetros da curva característica do item mostra a importância da reflexão sobre a construção de itens que melhorem a qualidade das avaliações ou testes a qual estão submetidos os estudantes.

Os resultados obtidos no Capítulo 4, permitem uma melhor classificação dos alunos em determinados testes, levando em consideração não somente o escore obtido, mas apontando para os traços latentes em desenvolvimento.

Análises de dados do cotidiano do educador e de outros sistemas de rendimento escolar podem ser também realizadas. Além disso, como sugestão para trabalhos futuros temos a análise do processo de equalização, que permite comparar o desenvolvimento seriado de alunos ou mesmo comparar o desempenho de alunos em turnos diferentes ou em contextos educacionais diferentes como por exemplo estudantes de escolas públicas e estudantes de escolas particulares.

Referências

- Anastasi, A. & Urbina, S. (2000). *Testagem Psicológica*. Artes Médicas, Porto Alegre-RS.
- Andersen, E. B. (1973). *Conditional inference in multiple choice questionnaires*. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 26, 31-44.
- Andrade, D. F.; Tavares, H. V. R. (2000). *Teoria da Resposta ao Item: Conceitos e Aplicações*. 14 SINAPE, Caxambú-MG.
- Anjos, A. d. & Andrade, D. F. (2012). *Teoria da Resposta ao Item com uso do R*. 20 SINAPE, João Pessoa - PB.
- Baker, F. B. (1992). *Item Response Theory - Parameter Estimation Techniques*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Baker, F. B. (2001). *The Basics of Item Response Theory*. ERIC, University of Wisconsin.
- Birnbaum, A. (1968). *Some latent trait models and their use in inferring an examinee's ability*. Statistical Theories of Mental Test Scores, Reding, MA.
- Bock, R. D. & Aitkin, M. (1991). *Marginal maximum likelihood estimation of item parameters: An application of a EM algorithm*. Psychometrika, 46, 433-459.
- Bock, R. D. & Lieberman, M. (1991). *Fitting a response model for n dichotomously scored items*. Psychometrika, 35, 179-197.
- Fellows, I. (2012). Deducer: A data analysis gui for R. *Journal of Statistical Software*, 49(8), 1-15.
- Fontana, B. da Silva, D. J. A. M. B. (2009). *Minicurso de Estatística Básica: Introdução ao Software R*. Uni-



versidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS.

Francisco, R. (2005). *Aplicação da Teoria da Resposta ao Item (TRI) no Exame Nacional de Cursos (E.N.C.) da UNICENTRO*. Dissertação de mestrado, UFPR – Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil.

Hambleton, R. K. & Rogers, H. J. (1991). *Fundamentals of Item Response Theory*. Sage Publications, Newbury Park.

Lord, F. M. (1952). *The Relation of the Reliability of Multiplechoice Tests to the Distribution of Item Difficulties*. *Psychometrika* 17, 181-194.

Lord, F. M. (1968). *An analysis of the verbal scholastic aptitude test using Birnbaum's three-parameter logistic model*. *Educational and Psychological Measurement*, 28, 989-1020.

Lord, F. M. (1975). *Evaluation with artificial data of a procedure for estimating ability and item characteristic curve parameters*. (Research Bulletin RB-75-33), Princeton, NJ: Educational Testing Service.

Lord, F. M. (1980). *Applications of Item Response Theory to Practical Testing Problems*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale - NJ.

Neyman, J. & Scott, E. L. (1948). *Consistent estimation from partially consistent observations*. *Econometrica* 16, 1-32.

Partchev, I. (2010). *irtoys: Simple interface to the estimation and plotting of IRT models*. R package version 0.1.3., S.l.

Perrenoud, P. (1998). *Avaliação. Da Excelência à Regulação das Aprendizagens*. Artmed Editora, Bruxelles: De Boeck.

R Core Team (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rasch, G. (1960). *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*. Danish Institute for Educational Research, Copenhagen.

Requena, C. S. (1990). *Psicometria Teoria Y Practica en la Construcción de Tests*. Normas, Madrid - Espanha.

Rizopoulos, D. (2006). *ltm: An R package for latent variable modelling and item response theory analyses*. *Journal of Statistical Software*, 17(5), 1-25.

Swaminathan, H. & Gifford, J. A. (1983). *Estimation in the three-parameter latent trait model*. In D. Weiss (Ed.), *New horizons in testing*, New York: Academic Press, 13-29.

Valle, R. C. (1999). *Teoria da Resposta ao Item*. Dissertação de mestrado, IME – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Vendramini, C. M. M., D. A. S. (2005). *Teoria de Resposta ao Item na Análise de uma Prova de Estatística em Universitários*. *Psico-USF*, v.10, n.2, São Paulo- SP.

Weeks, J. P. (2010). *plink: An R package for linking mixed-format tests using irt-based methods*. *Journal of Statistical Software*, 35(12), 1-33.

Willse, J. T. (2014). *CTT: Classical Test Theory Functions*. R package version 2.1.



CAPÍTULO 2

ESTUDO DA REAÇÃO DE OXIDAÇÃO DE ETANOL, UTILIZANDO ELETRODOS TRIMETÁLICOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS E CROMATOGRÁFICAS

Cláudia Virgínia Gomes Guerra Miranda

Isaide de Araujo Rodrigues

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo da eletro-oxidação de etanol sobre os eletrocatalisadores $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$, $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$, preparados por eletrodeposição potencioestática. Esse estudo foi realizado em soluções aquosas ácidas na ausência e presença de etanol, utilizando as técnicas eletroquímicas de voltametria cíclica e cronoamperometria. Fez-se uso da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência na quantificação indireta de CO_2 . Para a determinação da área superficial ativa dos eletrocatalisadores, utilizou-se o método de normalização de eletrodos porosos usando CO como molécula modelo. Os eletrodepósitos foram examinados usando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Energia Dispersiva de Raio-X (EDX) no intuito de obter a caracterização dos catalisadores com respeito à morfologia da composição química e propriedades da superfície. Foi observado também que a superfície do eletrodo $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ apresentou mais homogeneidade quando comparado aos outros eletrodos. Pode ser observado ainda pelos dados de EDX que a Pt ao se depositar apresenta uma composição bem similar em todos os eletrodos, enquanto que os metais Rh e Sn se depositam de forma diferenciada em cada superfície. Diante disso, observou-se que o eletrodo $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ demonstrou melhor desempenho eletroquímico frente à reação de eletro-oxidação de etanol e CO, apresentando menor concentração de CO_2 .

Palavras-chave: monóxido de carbono, etanol, trimetálicos, eletrodepósitos, CLAE, quantificação de CO_2 .

Abstract

This research presents the study of electrooxidation ethanol on the electrocatalysts $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$, $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$, $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ which were prepared by potentiostatic electrodeposition. This study was performed in acidic aqueous solutions in the absence and presence of ethanol, using the electrochemical techniques of cyclic voltammetry and chronoamperometry. It has been used the technique of high performance liquid chromatography to indirect quantifying of CO_2 . In order to determine the active surface area of electrocatalysts, we used the method of standardization of porous electrodes using CO as model molecule. The electrodeposits were examined using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray, in order to provide a characterization of the catalyst with respect to its chemical composition morphology and surface properties. It was also observed that the $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ electrode surface gives more uniformity compared to other electrodes. It was also verified through the EDX data that the Pt deposit shows a very similar composition in all the electrodes, whereas the Rh and Sn metals are deposited in a different manner in each area. Thus, it was observed that the electrode $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ showed better performance against the electrochemical reaction of electrooxidation of ethanol and CO, showing lower concentration of CO_2 .

Keywords: carbon monoxide, ethanol, trimetallic, electrodeposits, HPLC and quantification of CO_2 .

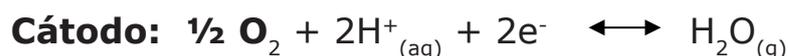
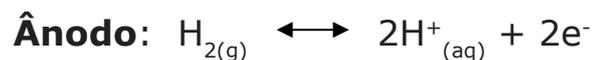


1. INTRODUÇÃO

A geração de energia para o planeta continua sendo motivo de preocupação de toda a classe científica, como também da sociedade no mundo, devido ao esgotamento dos combustíveis fósseis e a degradação do meio ambiente. Esses problemas estão relacionados com o uso indiscriminado de combustíveis fósseis para a produção de energia e em particular, o uso desses como combustíveis para um número cada vez maior de veículos. Estes veículos se tornaram uma das maiores preocupações atuais, em virtude do grande número de poluentes que produzem, tais como: CO_2 , CO , NO_x , SO_x e hidrocarbonetos, que além de serem extremamente nocivos para a saúde, são responsáveis por fenômenos atmosféricos indesejáveis como, por exemplo, o efeito estufa e a chuva ácida [1]. Assim, existe um grande interesse no desenvolvimento de sistemas de geração de energia mais eficientes e menos poluentes, tendo em vista o controle da poluição ambiental.

Diante desta preocupação, um conceito tecnológico de geração de energia surgiu, o termo "Células a Combustível" que vem sendo usado com bastante frequência. Conceitualmente falando, as células a combustível são conversores de energia química em energia elétrica, como é o caso das pilhas e baterias em geral. Desde o final da década de 70 vêm sendo realizadas algumas atividades na área de células a combustível no Brasil. Mas é bom ressaltar que as células a combustível já são conhecidas da ciência há mais de 150 anos, se tornando alvo de pesquisa no século XX, principalmente durante a Segunda Guerra Mundial. No Brasil pode-se destacar o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Instituto de Química de São Carlos (USP) que têm dedicado grande parte de suas pesquisas a este tipo de tecnologia.

Pode ser observado no esquema simplificado na Figura 1 que, a princípio, as células a combustível são baterias de funcionamento contínuo, que produzem correntes pela combustão eletroquímica a frio de um combustível gasoso, que geralmente é o hidrogênio [2]. Assim, o hidrogênio é oxidado a prótons no ânodo, liberando elétrons, enquanto que o oxigênio puro ou sob mistura (ar atmosférico) é reduzido à água no cátodo, de acordo com as reações abaixo.



2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Estudar a reação de oxidação do etanol sobre eletrodos trimetálicos baseados em platina, usando como segundo elemento o Rh e como terceiro elemento o Sn, com o objetivo de avaliar o poder catalítico desses materiais para esta reação por técnicas eletroquímicas e cromatográficas.

2.2 Específicos

- Caracterização físico-química e morfológica dos eletrocatalisadores por EDX e MEV; respectivamente.
- Caracterização eletroquímica dos eletrocatalisadores através de experimentos voltamétricos de oxidação de monóxido de carbono em solução H_2SO_4 0,5 mol. L^{-1} .
- Estudar a reação de oxidação de etanol sobre os eletrocatalisadores de $\text{Pt}_6\text{Rh}_2\text{Sn}_2$; $\text{Pt}_5\text{Rh}_3\text{Sn}_2$ e $\text{Pt}_5\text{Rh}_2\text{Sn}_3$.
- Identificar os produtos intermediários (ácido acético e acetaldeído) da reação de oxidação de etanol através da técnica de cromatografia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Eletrodos

Os eletrodos de trabalho utilizados foram preparados pelo método de eletrodeposição, à temperatura ambiente sobre um substrato de ouro com área geométrica de $0,38\text{cm}^2$, como mostra a Figura 4. Este método consiste na aplicação do potencial de redução dos metais que estão sendo eletrodepositados, presentes na solução. Os eletrodos de trabalho usados nos experimentos foram: $\text{Pt}_6\text{Rh}_2\text{Sn}_2$, $\text{Pt}_5\text{Rh}_3\text{Sn}_2$ e $\text{Pt}_5\text{Rh}_2\text{Sn}_3$. Para a confecção destes eletrodos foram usadas as seguintes condições:

- Concentração da solução de depósito -10 μM .



- Tempo total de eletrodeposição -10 minutos.

Para a eletrodeposição dos eletrodos trimetálicos, foram utilizados potenciais de redução diferentes de acordo com a tabela abaixo:

Metais	Potencial de eletrodeposição	Tempo de eletrodeposição
Pt e Rh	+200mV	5 minutos
Sn	-100mV	5 minutos

Tabela 3: Dados de eletrodeposição

Utilizou-se como eletrodo auxiliar para todas as medidas eletroquímicas um eletrodo de platina (Figura 5). E o eletrodo de referência utilizado em todas as medidas foi o eletrodo reversível de hidrogênio (ERH) preparado a partir da mesma solução de trabalho (Figura 6).

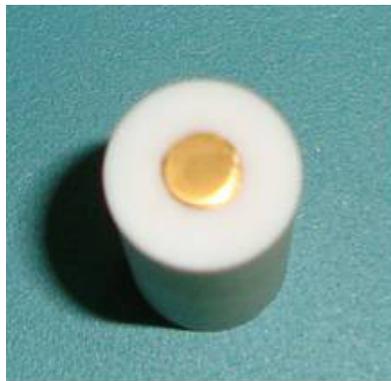


Figura 4: Foto do eletrodo de ouro usado como substrato para os eletrodepósitos.

3.1.2 Tratamento e preparo dos eletrodos de trabalho

O eletrodo de ouro foi montado a partir de um disco de ouro (7 mm de diâmetro e 5 mm de altura) adquirido da empresa Heraeus Vectra do Brasil (São Paulo, SP) embutido em um cilindro de teflon, conforme mostrado na Figura 4 no item 3.1.1. Antes da realização dos eletrodepósitos, o eletrodo foi tratado seqüencialmente com lixas de granulações 600, 1200 e 2000. Em seguida, o eletrodo foi polido em suspensões aquosas de alumina 1,0; 0,3 e 0,05 μm para a obtenção de uma superfície perfeitamente espelhada e plana. Após o polimento, os eletrodos foram mergulhados nas soluções de limpeza e depois lavados com água purificada do sistema Milli-Q Academic (Millipore S.A. - São Paulo, SP),

3.2 Célula Eletroquímica

3.2.1 Célula Eletroquímica usada na confecção dos eletrodos de trabalho

Para a realização dos eletrodepósitos utilizou-se uma célula eletroquímica que possui um único compartimento, contendo um eletrodo de trabalho, um eletrodo de referência e um eletrodo auxiliar. A célula possui um tamanho pequeno para que seja evitado o desperdício de material, como pode ser observado na Figura 5.

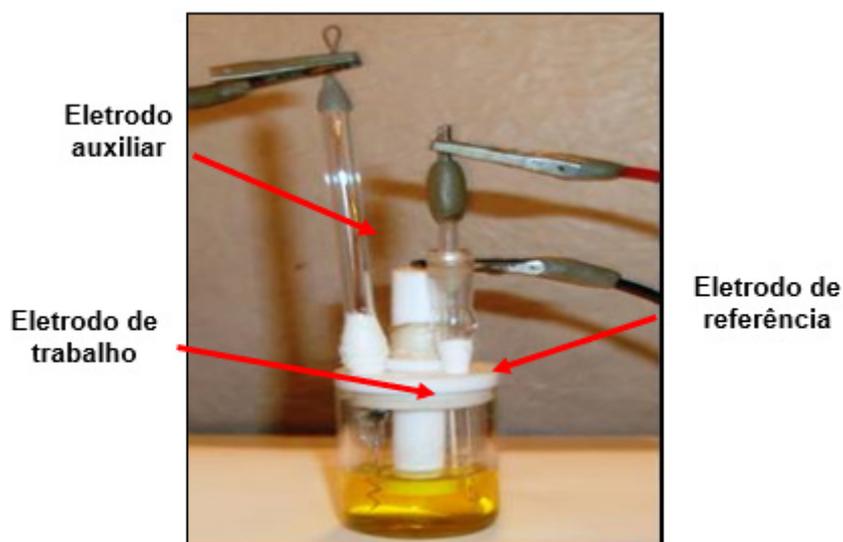


Figura 5 – Foto da célula usada na eletrodeposição.

3.2.2 Célula Eletroquímica usada nos estudos eletroquímicos

A célula eletroquímica utilizada nos experimentos foi confeccionada em vidro Pyrex® e tampa de Teflon®, contendo entrada para os eletrodos de trabalho, auxiliar e de referência, bem como orifícios para a entrada e saída de gases, conforme ilustrado na Figura 6.

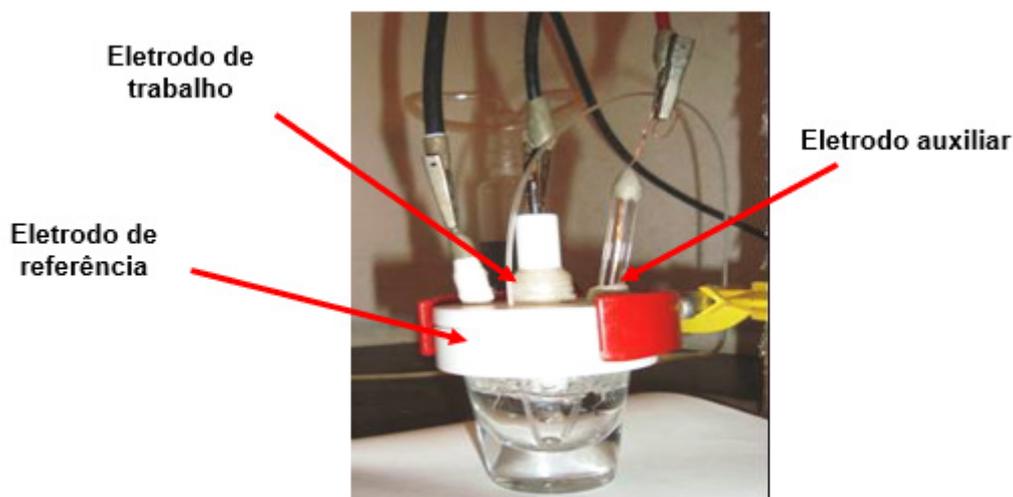


Figura 6: Célula utilizada para as medidas eletroquímicas.

3.3 Solução

3.3.1 Solução de Limpeza

Antes da realização dos experimentos todo o material foi devidamente lavado com água e sabão, depois imerso em uma solução de permanganato de potássio a 10%, baseificada com hidróxido de sódio ou de potássio, por aproximadamente 24 horas após esse tempo o material foi novamente imerso por 30 minutos em uma solução de peróxido de hidrogênio a 10% acidificada com ácido sulfúrico. Depois, o material foi devidamente lavado com bastante água purificada, após esse procedimento o material finalmente estava pronto para ser utilizado.

3.3.2 Solução de Trabalho

A tabela 2 apresenta todos os reagentes utilizados neste trabalho com as respectivas procedências e purezas.

Todas as soluções aquosas utilizadas neste trabalho foram preparadas com água purificada.

As medidas eletroquímicas foram realizadas em meio ácido (H_2SO_4 0,5 mol L^{-1}).

Reagentes	Procedência	Pureza
Ácido hexacloroplatínico	Merck®	40% de Pt
Cloreto de Ródio	Merck®	38% de Rh
Cloreto de Estanho	Merck®	97%

Ácido Sulfúrico	Merck®	Suprapuro 96,0%
Etanol	Merck®	99,9%
Acetonitrila	Merck®	Grau HPLC
Ácido Acético	Merck®	99,8%
Acetaldeído	Merck®	99%

Tabela 4: Procedência e pureza dos reagentes utilizados neste trabalho.

Para realizar os estudos da oxidação eletroquímica de etanol em meio ácido utilizou-se uma solução de etanol $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, em meio de ácido sulfúrico $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

3.4 Equipamentos Utilizados

As medidas de voltametria cíclica, cronoamperometria e curva de polarização em estado estacionário (diagrama de Tafel) foram realizadas em um Potenciostato/Galvanostato PAR (princeton applied research) modelo 263A acoplado a um micro-computador. Para a realização das medidas da área de monóxido de carbono (CO) foi utilizado um bipotenciostato modelo AFRDE 5 da Pine Instruments Company acoplado a um registrador X-Y. Pode-se observar o equipamento e a capela na Figura 7.



Figura 7: Equipamento e capela utilizados no experimento com monóxido de carbono.

3.5 Métodos

3.5.1 Medidas Eletroquímicas

As técnicas eletroquímicas utilizadas foram voltametria cíclica e cronoamperometria.

Com a finalidade de se obter os perfis voltamétricos dos eletrocatalisadores preparados no laboratório, utilizando o método de eletrodeposição, utilizou-se a técnica de voltametria cíclica, a qual permite comparar o desempenho catalítico

dos diferentes eletrocatalisadores em estudo.

Os voltamogramas cíclicos foram obtidos em soluções de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ deaeradas com nitrogênio na presença e ausência de etanol. Durante o experimento o fluxo de nitrogênio é deslocado para a superfície da solução e as curvas voltamétricas são obtidas a uma determinada velocidade de varredura do potencial (10 mV/s). A faixa de potencial para o estudo foi entre 30 a 800mV . Antes de cada medida, os eletrodos foram ativados por meio de ciclagens entre os potenciais de início da reação de desprendimento do hidrogênio (limite catódico) e $0,8\text{V}$, adotado para evitar ou minimizar alterações na composição superficial dos eletrodos durante as varreduras de potencial, já que em potenciais superiores pode ocorrer o enriquecimento superficial por Pt para estes eletrodos [48].

Na técnica de cronoamperometria fixou-se um valor de potencial, com o auxílio de um potenciostato sendo observado o comportamento da corrente em função do tempo. Utilizou-se um intervalo de tempo de 1200 segundos (s), tempo esse suficiente para que haja uma estabilização no valor da corrente obtida. Os valores lidos em 1200s foram então utilizados para a construção das curvas corrente - potencial ($I \times E$). As medidas de cronoamperometria foram realizadas em soluções de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol. L}^{-1}$ em presença de etanol $0,5\text{mol. L}^{-1}$.

3.5.2 Métodos de caracterização físico-química dos eletrocatalisadores por EDX e MEV

As composições atômicas dos eletrocatalisadores $\text{Pt}_6\text{Rh}_2\text{Sn}_2$, $\text{Pt}_5\text{Rh}_3\text{Sn}_2$ e $\text{Pt}_5\text{Rh}_2\text{Sn}_3$ foram obtidas através de análises de EDX. As fotomicrografias de MEV foram obtidas em um equipamento LEO (modelo 440) com um detector OXFORD, operando com um feixe de elétrons de 20KV . Análise de Energia Dispersiva (EDX) foi realizada em um equipamento EDX LINK ANALYTICAL, (Isis System Series 200), com detector de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II (Atmosphere Thin Window), de resolução de 133eV à $5,9\text{eV}$, acoplado a um Microscópio Eletrônico. Essas análises foram realizadas no Instituto de Química de São Carlos – SP.

3.5.3 Método de preparação dos eletrocatalisadores

Neste método uma solução de ácido sulfúrico 1mol L^{-1} contendo os metais é submetida à aplicação de um potencial de redução por 10 minutos. Tempo esse suficiente para obtenção de uma cobertura satisfatória do substrato de ouro. O potencial utilizado deve ser o mais adequado possível, e para isso, foi realizado um teste com a solução do metal a ser reduzido e se observou o seu melhor potencial de redução. Só então foram efetuados os eletrodepósitos dos metais sobre o substrato de ouro.



O estanho é um metal que facilmente se degrada, ou seja, o seu tempo de vida (na forma de sal) é pequeno. Diante disso, se fez necessário à realização de vários testes para que se pudesse obter um eletrodepósito o mais ativo possível.

Primeiramente foi realizado um teste para observar o melhor potencial de redução do estanho e observou-se que entre -50mV a -200mV ocorre a redução do estanho. Diante disso, foram realizados eletrodepósitos com os potenciais de -50mV, -100mV e -150mV. Foi possível observar que o potencial do eletrodepósito que apresentou melhor resultado frente à eletro-oxidação do metanol e etanol foi o potencial de -100mV, ou seja, observou-se que nesse potencial a reação de oxidação se inicia em potencial inferior a 0,15V, enquanto que nos demais potenciais essa reação iniciava em potencial superior a 0,3V.

Após a escolha do melhor potencial, surgiu uma questão a ser estudada. Qual a melhor seqüência para realizar o eletrodepósito? Então, diante desta interrogação, foram realizados testes, nos quais se aplicou primeiro o potencial positivo +200mV para eletrodepositar platina e ródio e por último o potencial negativo para a deposição do estanho. Com essa seqüência, observou-se que os primeiros metais depositavam-se em maior quantidade enquanto o estanho era depositado em quantidades mínimas, em torno de 1%. Em virtude disso, a seqüência de eletrodeposição foi mudada, aplicando-se primeiro o potencial negativo e depois o potencial positivo. Pode-se observar através de EDX que a composição do estanho teve um aumento considerável para 4,2%. Diante desses resultados a reação de eletro-oxidação com os álcoois foi bem satisfatória, ou seja, apresentou um potencial de oxidação mais baixo e uma corrente mais alta quando comparado com os resultados anteriores. Assim sendo, pode se sugerir o potencial de -100 mV como o melhor potencial de eletrodeposição para o estanho e eletrodepositando este metal antes dos demais.

Os eletrodepósitos foram preparados a partir de uma solução de concentração 10 μ M, contendo os metais em estudos como, $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$, $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ e $RhCl_3 \cdot 3H_2O$.

3.5.4 Método de normalização de área real dos eletrodos

Para determinar a área superficial ativa dos catalisadores, utilizou-se o método de normalização por "stripping" de monóxido de carbono adsorvido (CO_{ad}), que considera o número de sítios ativos superficiais. O CO é usado como molécula modelo, e neste caso a determinação da quantidade dessa molécula adsorvida em um dado eletrocatalisador pode ser usada como um parâmetro de normalização para comparar diferentes catalisadores e/ou catalisadores preparados por diferentes métodos [50]. No intuito de descobrir quão tolerante é cada superfície à adsorção de CO, foram realizados experimentos em vários potenciais entre 50mV e 600mV, sendo que neste último potencial não foi possível observar qualquer carga de oxi-



dação de CO sobre os catalisadores. Os resultados obtidos através deste processo encontram-se nas Tabelas 4 e 5, e para melhor visualização foram representadas graficamente. Os valores de composição dos eletrodos referem-se à determinação feita por energia dispersiva de raios-X (EDX).

Áreas dos eletrodos (cm ²)			
E / mV	Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}	Pt _{81,6} Rh _{15,6} Sn _{2,6}	Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}
50	8,47	6,83	8,97
100	7,85	6,01	8,61
150	7,16	5,99	7,9
200	6,37	5,82	7,57
300	5,11	4,96	5,38
400	3,18	3,8	2,5
500	0,54	1,55	0,383

Tabela 5: Dados das áreas dos eletrodos obtidos a partir do stripping de CO em meio ácido.

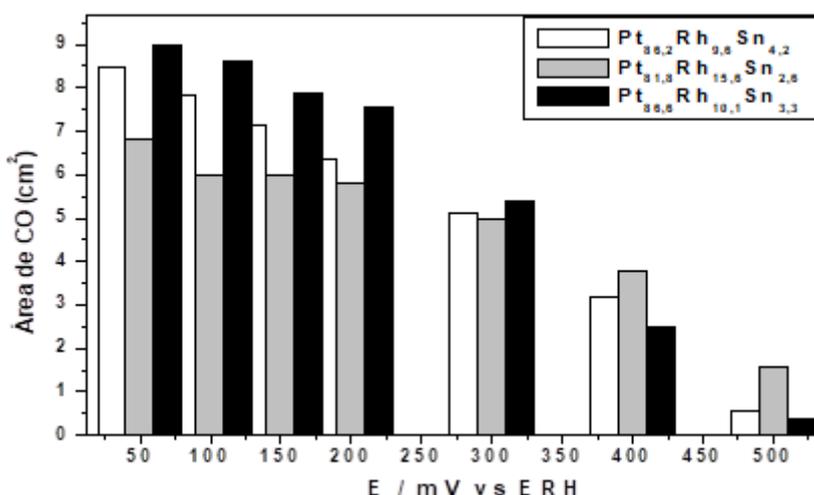


Figura 8: Gráfico das áreas dos eletrodos, obtidas a partir do stripping de CO em meio ácido

Cargas dos eletrodos (C x 10 ⁻³)			
E / mV	Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}	Pt _{81,6} Rh _{15,6} Sn _{2,6}	Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}
50	3,56	2,87	3,76
100	3,3	2,52	3,62
150	3,0	2,51	3,32
200	2,67	2,44	3,18
300	2,14	2,08	2,26

400	1,33	1,61	1,05
500	0,228	0,651	0,161

Tabela 6: Dados das cargas dos eletrodos, obtidos a partir do stripping de CO em meio ácido.

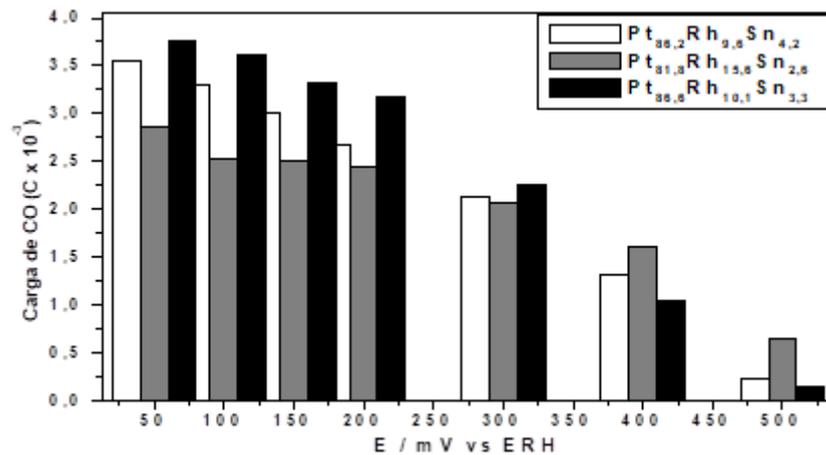


Figura 9: Gráfico das cargas dos eletrodos, obtida a partir do stripping de CO em meio ácido.

O cálculo das cargas de oxidação de uma monocamada de CO e das áreas dos catalisadores foi feito de acordo com estudo realizado para cálculo de área de catalisadores porosos, mostrado a seguir:

Ex: **Eletrodo de Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}**

$$\text{Área} = 0,01869 \text{ mA.V} / 0,01 \text{ V. s}^{-1}$$

$$\text{Área} = 1.869 \times 10^{-3} \text{ A . s}^{-1} \text{ ou } 1.869 \times 10^{-3} \text{ C}$$

Cálculo da Carga de CO em Coulomb:

$$Q_{\text{CO}} = 1.869 \times 10^{-3} \text{ C} / 0,7 =$$

0,7 corresponde aos 70% de uma monocamada de CO que é adsorvido na superfície do eletrodo, de acordo com a referência literária [48].

Cálculo da Área da Carga de CO em cm²:

$$1\text{cm}^2 \text{ — } 420 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$X \text{ — } 2,67 \times 10^{-3} \text{ C}$$

$$\mathbf{X = 6,35 \text{ cm}^2}$$

3.6 Medidas Cromatográficas

A identificação e quantificação dos produtos provenientes da oxidação parcial do etanol nos eletrodos $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$, $Pt_{81,6}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ foram realizadas pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Utilizou-se um equipamento da Varian modelo ProStar 210 (figura 10), equipado com duas bombas, válvula manual com volume de injeção de 20 μ L e detector de UV-visível com um arranjo de diodo (modelo ProStar 335), com um software Galaxie. Empregou-se uma coluna da Aminex[®] HPX – 87H (300 mm x 7.8 mm, 9 μ m) (Bio-Rad), com um fluxo de 0,6 mL / min e volume de injeção de 20 μ L. A otimização da separação cromatográfica dos produtos da eletro-oxidação do etanol foi realizada utilizando-se fase móvel constituída por acetonitrila 5% e água acidificada com ácido sulfúrico (pH = 2) 95%, em temperatura ambiente, devidamente filtrada em filtro de fibra de vidro e depois desgaseificada por 10 minutos. Na detecção dos produtos utilizou-se um sistema de gradiente de detecção (canal 1: 238nm e 191nm; canal 2: 240nm e 191nm). A identificação dos produtos foi feita por comparação dos tempos de retenção das soluções puras e de uma mistura padrão (mistura essa contendo os reagentes – ácido acético, acetaldeído e etanol) nas mesmas concentrações e o ácido sulfúrico como eletrólito suporte com concentração de 0,005M e pH = 2



Figura 10: Equipamento utilizado nas medidas cromatográficas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da superfície dos eletrodos e composição atômica

Os eletrodepósitos foram examinados utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX), para fornecer uma caracterização dos eletrocatalisadores com respeito à sua composição química, morfologia e propriedades da superfície. As análises por EDX (tabela 7) mostraram as razões atômicas dos diferentes eletrocatalisadores preparados pelo método de eletrodeposição. Na figura 11, são apresentados os espectros de EDX dos eletrocatalisadores em estudos.

A Figura 12 mostra as micrografias dos eletrodepósitos em estudos com ampliações de 5000X. Pode-se observar que o eletrodo com maior composição atômica de estanho apresenta uma homogeneidade em toda superfície. Observa-se, ainda com bastante nitidez pontos brancos bem distribuídos quando comparados aos outros metais que apresentaram menor composição atômica em estanho. Análise semelhante pode ser feita para os demais eletrodos, constatando-se que o eletrocatalisador com maior quantidade de ródio apresenta um aspecto quebradiço, característica peculiar a superfícies contendo ródio. Pode-se dizer também que o eletrocatalisador do tipo $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ apresenta pontos brancos nítidos característico de superfícies contendo estanho, no entanto, esses pontos brancos estão presentes em regiões isoladas. Porém, na superfície do eletrocatalisador $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ observou-se pontos brancos nítidos e com uma distribuição bem homogênea. Contudo, essa disposição do estanho na superfície do eletrodo demonstrou um papel bastante significativo na eletro-oxidação do etanol, como será demonstrado no decorrer deste trabalho.

Eletrocatalisadores	Razão atômica			Razão atômica		
	Nominal			EDX		
	Pt	Rh	Sn	Pt	Rh	Sn
PtRhSn	60	20	20	86,2	9,6	4,2
PtRhSn	50	30	20	81,8	15,6	2,6
PtRhSn	50	20	30	86,6	10,1	3,3

Tabela 7: Dados da Análise de EDX.

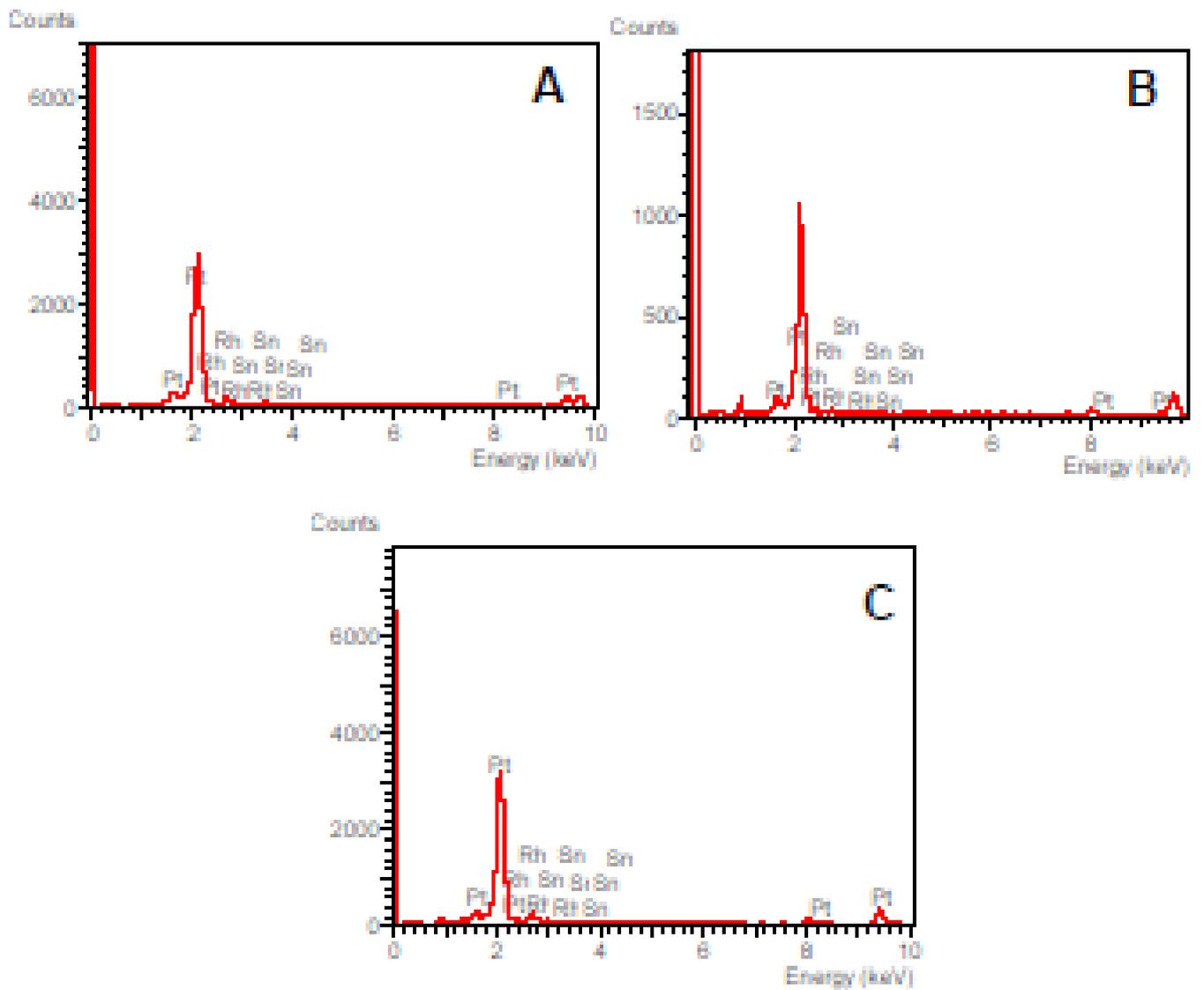


Figura 11: Os espectros de EDX dos eletrocatalisadores (A) $Pt_{60}Rh_{20}Sn_{20}$, (B) $Pt_{50}Rh_{30}Sn_{20}$ e (C) $Pt_{50}Rh_{20}Sn_{30}$

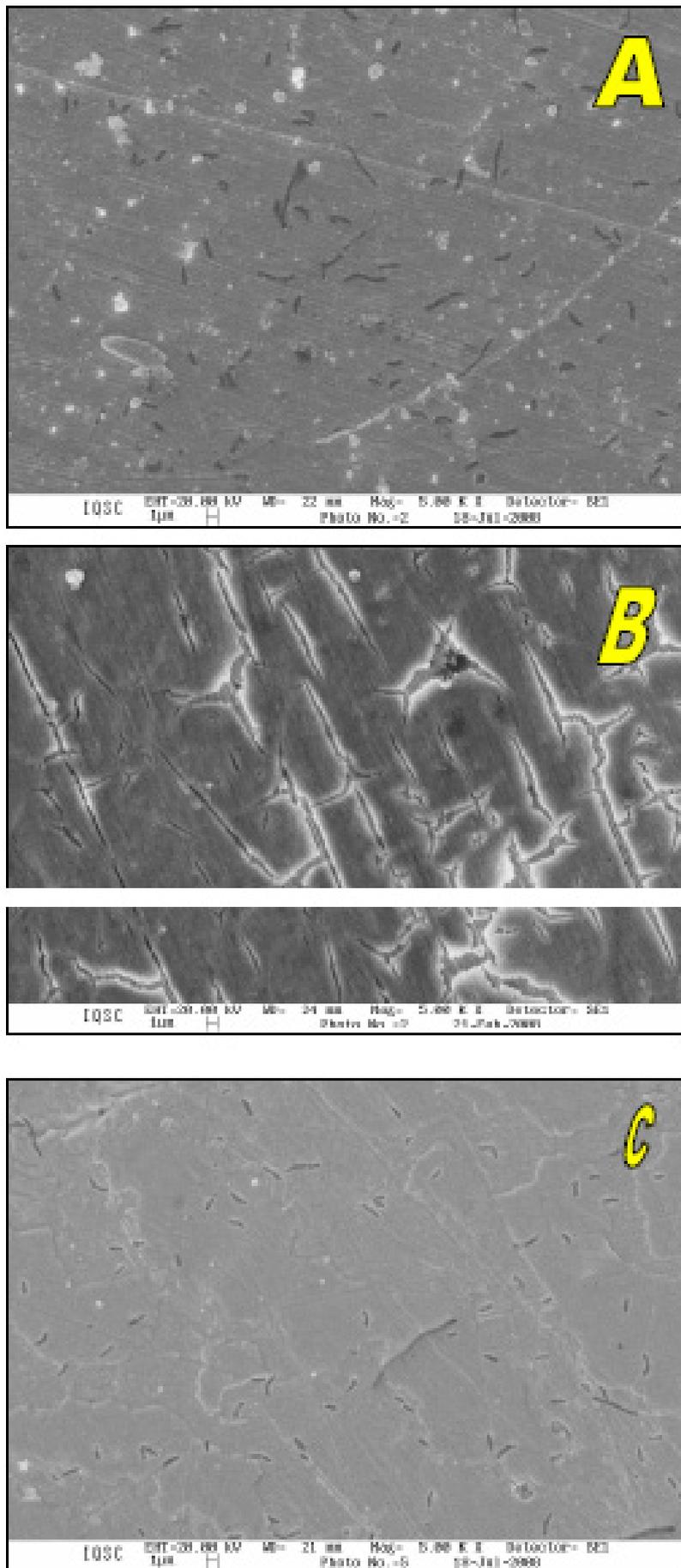


Figura 12: Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura dos eletrodos (A) $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ (B) $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ (C) $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ com ampliação de 5000X

4.2 Caracterização Eletroquímica dos Eletrodos $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$; $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$; $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$

A figura 13 mostra os voltamogramas cíclicos dos eletrodos $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$; $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ e $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$ em solução de H_2SO_4 0,5 mol. L^{-1} deaeradas com N_2 , registrados a $10\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ entre 0,03 e 0,8V vs ERH à temperatura ambiente. Os voltamogramas obtidos apresentam as seguintes características:

- i) região de adsorção/desorção entre 0,03 e 0,35V vs ERH;
- ii) na região entre 0,55 e 0,8V vs ERH encontram-se os picos de oxidação/redução dos eletrocatalisadores;
- iii) entre 0,35 e 0,55V vs ERH, corresponde a processos não faradaicos para eletrodos de platina.

Entretanto, entre 0,55 e 0,6V vs ERH aproximadamente, os voltamogramas apresentam um pico redox associado à reação de transferência de carga ocorrendo sobre possíveis grupos funcionais presentes na superfície do eletrodo. Pode-se observar também nos voltamogramas um aumento da corrente na região de dupla camada elétrica (0,35 a 0,55V), com o aumento da quantidade de estanho no eletrocatalisador. Este efeito pode ser atribuído ao aumento de espécies oxigenadas na superfície do eletrocatalisador. Além disso, pode-se analisar que este efeito está ligado à homogeneidade com que as partículas estão dispersas na superfície do eletrocatalisador. Por outro lado, a influência da composição do estanho no catalisador apresenta um papel muito importante na obtenção de resultados significativos, ou seja, apresentou oxidação do etanol em potencial mais baixo em relação aos demais, e ainda ao comparar com outros estudos já realizados.

Ainda na Figura 13, pode-se observar que a região de adsorção/desorção de hidrogênio sofre modificação significativa conforme a composição do eletrocatalisador é variada. No eletrocatalisador do tipo $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$, que têm maior quantidade de ródio na sua composição observou-se essa região mais definida, o que é característico do ródio. Enquanto, que nos demais eletrocatalisadores, onde a quantidade de ródio é bem menor, esse efeito não ocorre. Isto pode ser atribuído ao estanho que está em quantidade superior ao eletrocatalisador analisado anteriormente, pois o estanho gera regiões de adsorção/desorção pouco definidas.



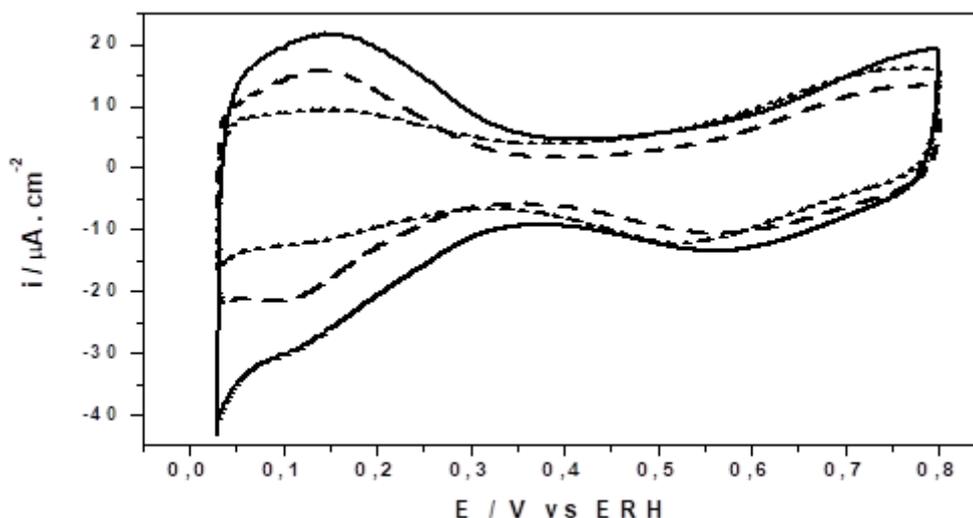


Figura 13: Voltamogramas cíclicos em solução de H_2SO_4 $0,5\text{mol. L}^{-1}$ sobre os eletrodos de $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$ (—), $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ (----) e $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$ (.....) deaeradas com N_2 , $v = 10 \text{ mV. s}^{-1}$.

4.3 Adsorção de Monóxido de Carbono sobre os eletrodos $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$; $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$; $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$

A eletro-oxidação de monóxido de carbono sobre eletrodos de platina, tem se tornado de grande interesse durante décadas, no entanto, na literatura há uma escassez de trabalhos com eletrodos trimetálicos.

Com o objetivo de se obter dados sobre o comportamento desse tipo de eletrodo, realizou-se o estudo da adsorção do monóxido de carbono sobre os potenciais de 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500 e 600 mV, no intuito de observar a tolerância de cada superfície à presença de CO.

O monóxido de carbono foi borbulhado durante 10 minutos na solução do eletrólito suporte. Em seguida foi borbulhado um gás inerte, neste caso usou-se argônio, durante 20 minutos, com o objetivo de retirar todo o CO da solução, ficando este apenas na superfície do eletrodo.

Após esse processo fez-se a varredura do potencial no intervalo de 30 a 800mV para todos os catalisadores. A Figura 14 mostra os voltamogramas cíclicos de adsorção de CO sobre os catalisadores a um potencial de 0,2V, potencial esse utilizado para a realização da normalização dos voltamogramas, como já foi mencionado no capítulo 2.

Na figura 15, observou-se que sobre o catalisador $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$ há uma diminuição considerável da corrente de pico logo entre 50 e 100mV. A partir deste potencial a corrente continua caindo linearmente indicando que a quantidade de CO adsorvido também diminui. Sobre os outros dois eletrodos, há também uma diminuição dessa corrente com o aumento de potencial, porém entre 150 e

300mV essa queda de corrente é muito lenta o que pode ser um indicativo de que nesses potenciais ainda há muito CO_{ads} . A partir de 0,3V, sobre o catalisador de $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ ocorre uma queda considerável na corrente de pico, quando comparado as demais superfícies.

Isto nos sugere que o estanho tem um papel diferenciador na formação dessas superfícies, principalmente com menor quantidade de Pt, proporcionando a formação de sítios mais reativos para oxidar CO a CO_2 a potenciais mais baixos.

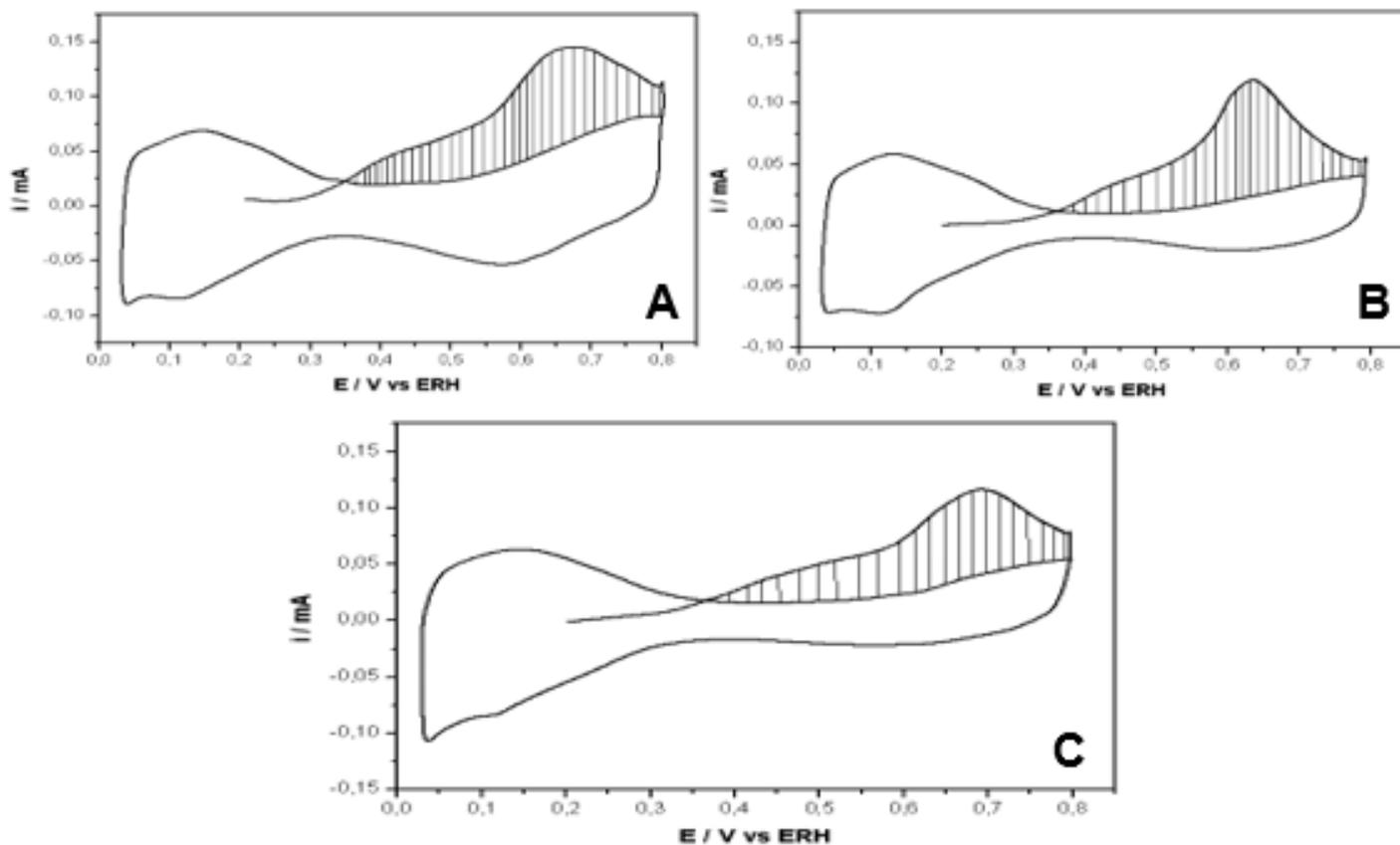


Figura 14: Voltamogramas Cíclicos de adsorção de CO sobre os eletrodos $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$ (A), $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ (B), e $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$ (C) a um potencial de 0,2 V e velocidade de 10 mV s^{-1} .

Nas figuras 1, 2 e 3 do apêndice, são apresentados os voltamogramas de adsorção de CO sobre os catalisadores em todos os potenciais estudados. Pode-se observar que há uma diminuição da carga de CO adsorvida sob a superfície dos catalisadores à medida que se aumenta o potencial de adsorção. O que pode ser observado de forma clara nas Tabelas 4 e 5, do capítulo 2, que mostram as cargas e áreas de CO em cada potencial.

Segundo Lamy e colaboradores, eletrocatalisadores utilizados para eletro-oxidação de etanol apresentam comportamento semelhante entre si em meio ácido, como por exemplo, ródio, irídio [50] e ouro [51]. Por outro lado, a oxidação de etanol sobre o ródio se processa através da formação de ácido acético e monóxido de carbono, onde CO pode se adsorver de duas formas na superfície do eletrodo, linear e na forma de ponte, em potenciais relativamente baixos, por se transformar

rapidamente a gás carbônico quando a superfície de ródio começa a se oxidar, que é em torno de 0,5 - 0,7 V vs EHR [22].

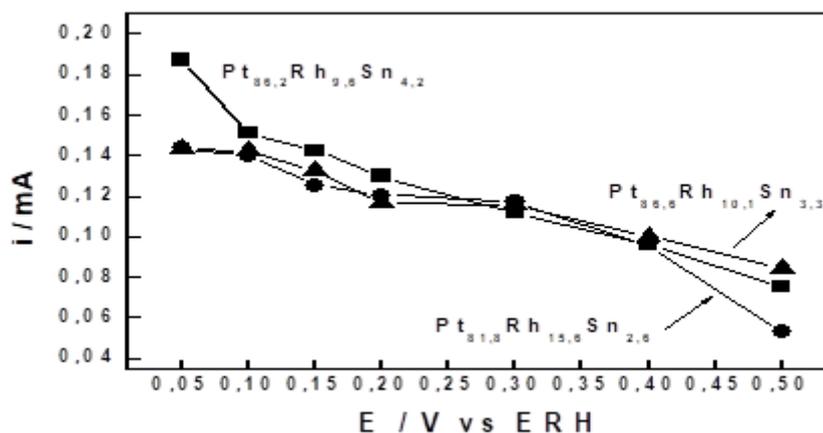


Figura 15: Corrente de pico (i_p) para stripping de CO sobre os catalisadores em velocidade de 10 mV s⁻¹.

4.4 Eletro-oxidação de etanol sobre eletrodos Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}; Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}; Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}

A reação de eletro-oxidação completa de etanol a CO₂ envolve 12 elétrons (CH₃CH₂OH + 3H₂O → CO₂ + 12H⁺ + 12e⁻) e pode processar-se através de diferentes caminhos reacionais. A complexidade desta reação e a presença de muitos intermediários adsorvidos requerem o desenvolvimento de catalisadores eficientes, não somente para oxidar espécies consideradas “venenos catalíticos”, como o CO, em baixos sobrepotenciais, mas também para quebrar a ligação C-C em baixas temperaturas.

Assim, a busca por um eletrocatalisador eficiente nos levou a estudar as várias superfícies e fazer um estudo comparativo das atividades catalíticas dos eletrodos Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}; Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6} e Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3} frente à reação de eletro-oxidação de etanol.

Na Figura 16, são apresentados os voltamogramas cíclicos dos eletrocatalisadores Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}; Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}; Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3} em etanol 0,5 mol. L⁻¹ em presença do eletrólito suporte H₂SO₄ 0,5 mol. L⁻¹ a uma velocidade de varredura de 10 mV. s⁻¹ e a temperatura ambiente. Pode-se observar um aumento de corrente na região de adsorção/desorção de hidrogênio (0,03 a 0,2V) para o eletrodo com maior quantidade de estanho na composição. Foi possível observar ainda que os eletrodos com maior quantidade de ródio não apresentaram diferenças de corrente entre si na região de adsorção/desorção de hidrogênio. Entretanto, para potenciais acima de 0,25V vs ERH observou-se um aumento na corrente de oxidação, para os eletrocatalisadores com maior quantidade de ródio na sua composição. Nesta figura, pode ser observado ainda que sobre o eletrodo Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2} a reação inicia-se em potenciais menores do que 0,10V vs ERH, enquanto, que sobre os demais ele-

trodos essa reação tem início em torno de 0,30 V vs ERH. Além disso, sobre esse catalisador há maior densidade de corrente em toda faixa de potencial de interesse em aplicações a célula à combustível (0,03 a 0,5V), como pode ser melhor observado na inserção da figura. Estes dados mostram que o estanho (Sn), aumenta a eficiência da superfície eletroquimicamente ativa promovendo a eletro-oxidação do etanol em baixos potenciais. Vale ressaltar ainda que o eletrodo de $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ apresentou um bom desempenho, porém o início da reação ocorre em maiores potenciais. Neste estudo, é importante observar que em todos os catalisadores as quantidades de Pt são da mesma magnitude, quanto aos metais Rh e Sn, em virtude do baixo percentual desses metais, as diferenças são mais significativas. Isto faz com que os catalisadores $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ tenham comportamento muito semelhante até 0,3V, após esse potencial, aquele com mais Rh e menos Pt, mesmo com menor quantidade de Sn consegue se sobressair frente aos demais. Esses resultados sugerem que as quantidades dos dois metais adicionados à Pt na formação dos trimetálicos são de fundamental importância no desempenho final dessas superfícies catalíticas.

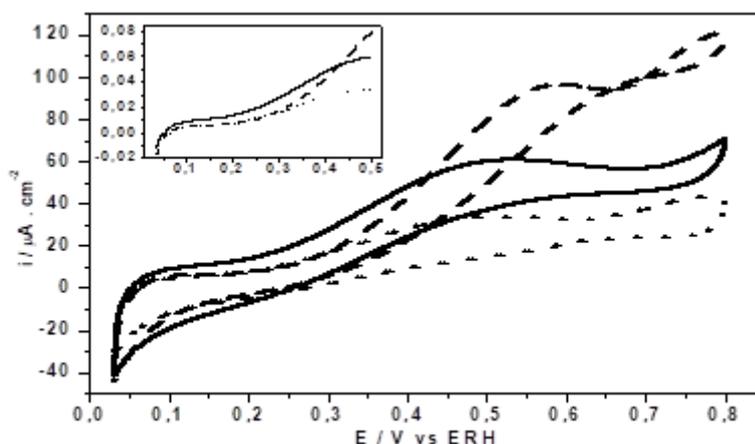


Figura 16: Voltamogramas cíclicos da eletro-oxidação de etanol 0,5 mol. L⁻¹ na presença de H₂SO₄ 0,5 mol. L⁻¹ sobre os eletrodos $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ (—) $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ (----) e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ (.....), de aerada com N₂, v = 10 mV. s⁻¹, t = 25°C.

A Figura 17, nos mostra as curvas de polarização no estado estacionário dos eletrocatalisadores $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$; $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$; $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ registradas em solução de etanol 0,5 mol. L⁻¹ na presença do eletrólito suporte H₂SO₄ 0,5 mol. L⁻¹, a temperatura ambiente, na faixa de potencial de 0,1 a 0,8V com uma variação de potencial de 0,05V. Pode se constatar que todos os eletrodos apresentaram comportamento similar ao da voltametria cíclica, no entanto, observou-se uma perda de densidade de corrente característica própria dos eletrocatalisadores que são preparados a partir do método de eletrodeposição.

É possível observar que todos os eletrodos têm o início da reação em torno de 0,2V, porém o eletrodo com maior quantidade de estanho na sua composição observa-se uma maior densidade de corrente até o potencial de 0,45V, visto que, em potenciais elevados, o eletrodo com maior quantidade de ródio apresentou picos de densidade de corrente em torno de 110μA. cm⁻².

De acordo com a literatura, a liga PtRh é um promissor catalisador para oxida-

ção do etanol e mostra que o ródio produz um acréscimo acentuado no rendimento do acetaldeído quando comparado com a platina pura, além de aumentar também o rendimento de CO_2 em relação à platina pura. Um aumento na seletividade para a formação de CO_2 sobre os produtos parcialmente oxidados, mostra ainda, que a liga PtRh se tornaria forte candidato se um terceiro metal for adicionado a ela, tanto para aumentar a velocidade da reação, como para diminuir o potencial de oxidação. Desse modo, pode-se constatar que o estanho é um excelente candidato a ser adicionado a essa liga visto que o mesmo irá suprir os sítios para formar espécies oxigenadas mais ativas em um menor potencial e aumentar o acoplamento da ligação CO-O , aumentando a velocidade de formação do CO_2 [24,52].

Mediante o que foi abordado anteriormente, pode-se constatar que o eletrocatalisador de $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ apresenta um comportamento melhor do que os demais, acima de 0,45V o que evidencia uma característica do ródio. Esse catalisador apresenta em sua composição maior quantidade de ródio, indicando que a ação predominante sobre a superfície catalítica é definida pelo ródio em maiores potenciais.

Ainda na Figura 17, como também na Figura 16, observou-se a formação de dois picos na faixa de potencial de 0,45 até 0,8V, e, no potencial de 0,45V os picos dos eletrocatalisadores $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$; $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$ são similares, entretanto, com diferença significativa na densidade de corrente, onde o mecanismo bifuncional do estanho é melhor evidenciado. Caso compararmos a atividade no potencial de 0,7V o eletrocatalisador $\text{Pt}_{86,6}\text{Rh}_{10,1}\text{Sn}_{3,3}$ apresenta a formação completa de um segundo pico, no entanto para o eletrocatalisador $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$ há formação de um segundo pico no mesmo potencial, mas ele não é completo atingindo uma densidade de corrente um pouco maior do que o primeiro pico.

Já o eletrodo $\text{Pt}_{81,8}\text{Rh}_{15,6}\text{Sn}_{2,6}$ apresenta o mesmo comportamento de formação de dois picos, no entanto, o primeiro ocorre no potencial de 0,55V e atinge uma densidade de corrente superior aos demais.

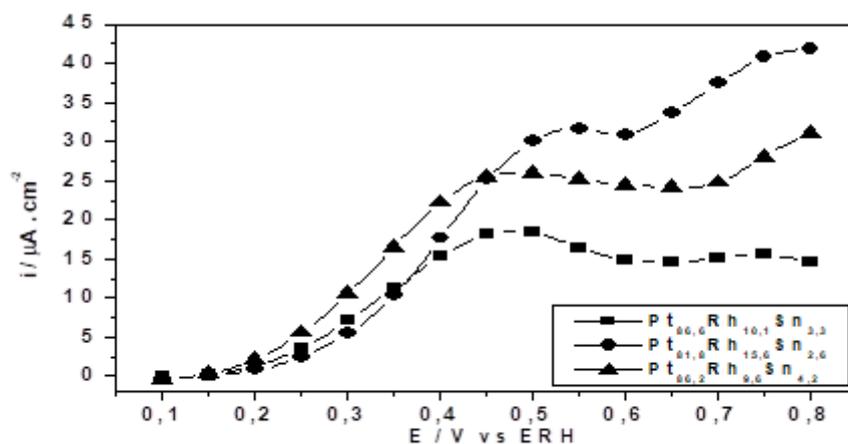


Figura 17: Curvas de polarização no estado estacionário registradas em solução de $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 0,5 mol. L^{-1} na presença do eletrólito suporte H_2SO_4 0,5 mol. L^{-1} , $t = 300\text{s}$.

A Figura 18 mostra os cronoamperogramas dos eletrocatalisadores $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$; $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$; $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ em etanol 0,5 mol. L⁻¹ em presença do eletrólito suporte H₂SO₄ 0,5 mol. L⁻¹ com potencial fixo de 400mV, no decorrer de um tempo de 1200 segundos. Pode-se observar que todos os eletrodos possuem boa estabilidade, sendo que o catalisador de $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ apresentou maior densidade de corrente no tempo de análise, enquanto os outros dois catalisadores têm comportamento semelhante neste potencial. Este resultado está em consonância com os dados de VC, onde em 0,4V este catalisador também apresenta a maior densidade de corrente.

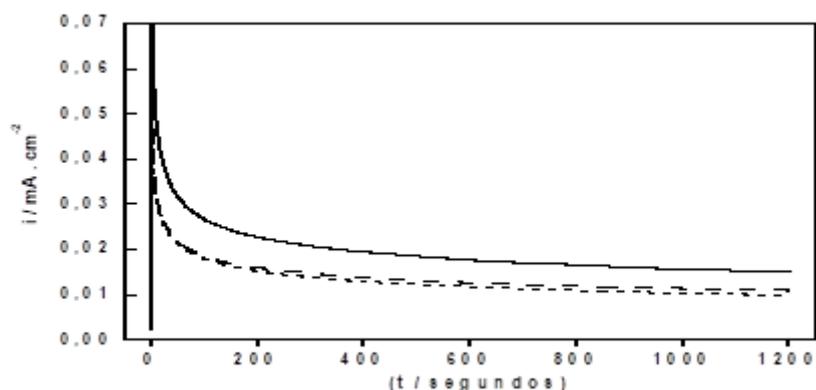


Figura 18: Cronoamperogramas em 0,4V em solução de C₂H₅OH 0,5 mol.L⁻¹ na presença de H₂SO₄ 0,5 mol. L⁻¹ sobre os eletrodos de $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ (—), $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ (----) e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ (.....)

4.5 Análises Cromatográficas.

As técnicas de separação, tais como cromatografia gasosa (GC), cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e eletroforese capilar (CE), vêm se destacando na química analítica pela capacidade de realizarem análises qualitativas e quantitativas em amostras ambientais, farmacêuticas, biológicas, alimentos, como também em aplicações eletroquímicas. Neste trabalho, fez-se uso da cromatografia líquida com o propósito de identificar os produtos formados na oxidação do etanol. Dessa forma, se faz necessário identificar de maneira quantitativa os produtos da oxidação parcial que são formados a partir da eletro-oxidação do etanol sobre os eletrocatalisadores $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$, $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$.

Nosso objetivo principal é quantificar de forma indireta o produto final da eletro-oxidação do etanol, que é o CO₂, o qual se forma de acordo com o esquema reacional mostrado na Figura 19. Fazendo uso da técnica de cromatografia, foi possível sugerir um esquema reacional desta reação, Figura XX. Dessa forma houve a necessidade de elaborar uma metodologia para ser usada na realização desse objetivo.



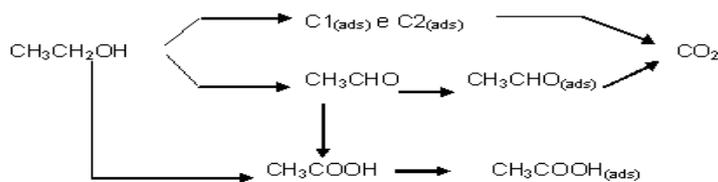


Figura 19: Esquema reacional da eletro-oxidação do etanol.

A princípio realizou-se um estudo para detectar os tempos de retenção dos produtos da eletro-oxidação do etanol, para isso foram realizadas injeções da solução padrão de concentração de 1 mol L^{-1} dos produtos separadamente (ácido acético (AA) $Tr = 14,97\text{ min.}$, acetaldeído (AAD) $Tr = 16,6\text{ min.}$, como também do etanol (ET) $Tr = 20\text{ min.}$). Do mesmo modo, foram feitas injeções de uma mistura padrão (mistura essa contendo os reagentes em estudo – ácido acético, acetaldeído e etanol) preparada nas mesmas condições das soluções padrão, como pode ser observado no cromatograma da Figura 20.

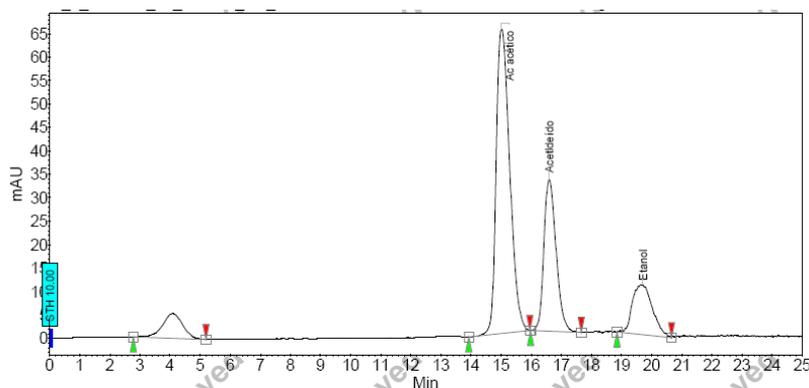


Figura 20: Cromatograma obtido da mistura padrão com concentração 1 mol L^{-1}

Após a determinação dos tempos de retenção de cada produto foram realizadas injeções da mistura padrão em diferentes concentrações, variando de $0,01$ a 1 mol L^{-1} , para a construção das curvas de calibração dos produtos parciais. O etanol em baixas concentrações ($0,01$ e $0,05\text{ mol L}^{-1}$) não foi possível ser detectado, conforme observamos a Figura 21. Do mesmo modo se analisou o acetaldeído o qual apresentou a menor linearidade quando comparado aos demais. Este fato foi atribuído à sua grande volatilidade, ocasionando assim perdas deste reagente durante o seu manuseio, principalmente na concentração de $0,5\text{ mol L}^{-1}$.

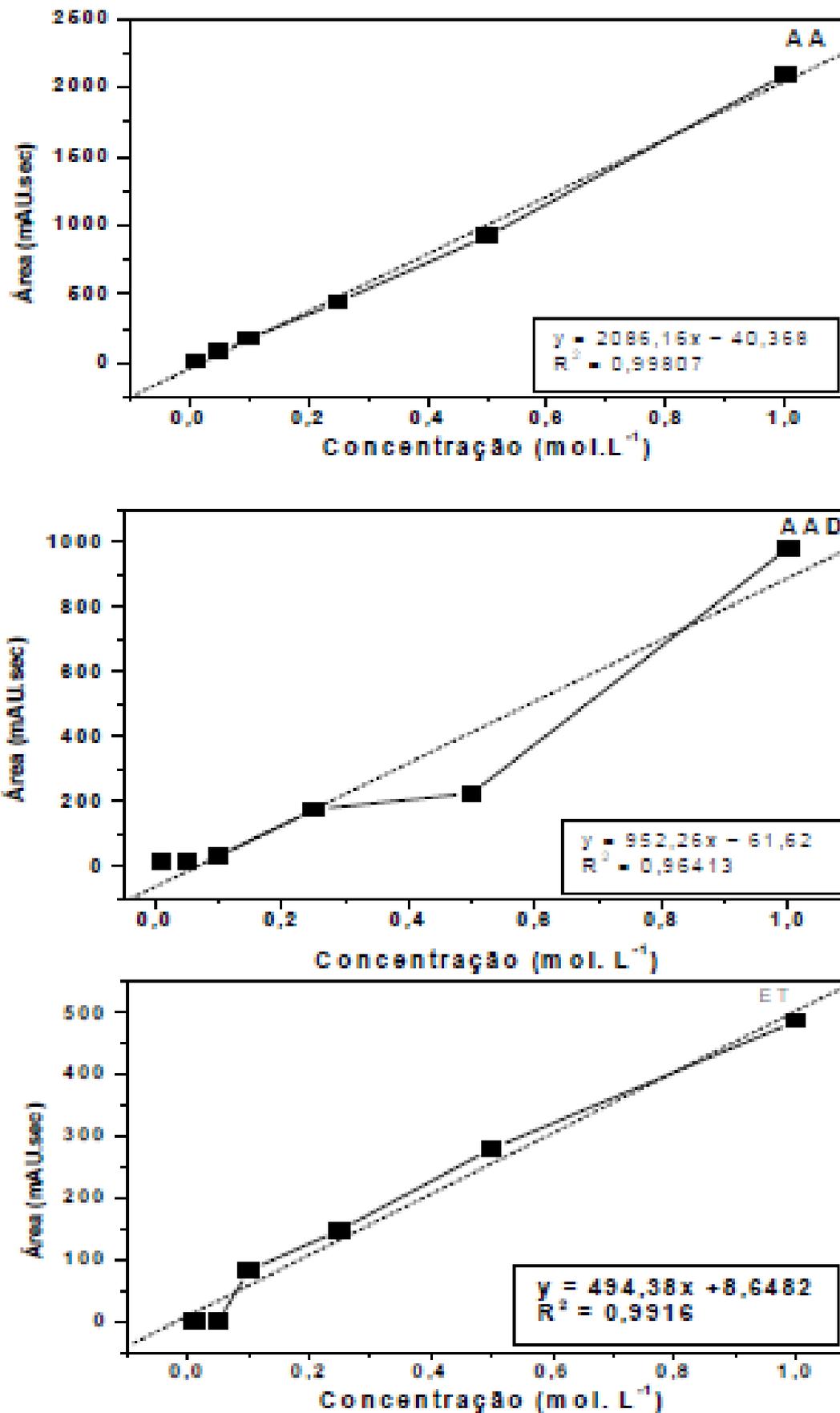


Figura 21: Curvas de calibração dos produtos parciais (ácido acético e acetaldeído) e do etanol obtidas na faixa de concentração de 0,01 a 1mol L⁻¹.

Após o estudo prévio de adequação da metodologia cromatográfica, realizou-

-se a análise dos produtos da oxidação do etanol. A reação de oxidação do etanol foi realizada por eletrólise em potencial fixo de 0,35V. A seguir foram retiradas três alíquotas da célula e injetadas no cromatógrafo (realizou-se três injeções).

A amostra (etanol oxidado) foi preparada numa célula com um único compartimento (Figura 22), e com capacidade volumétrica de 5mL, objetivando assim amenizar a perda dos produtos formados. A célula é composta pelo eletrodo de trabalho com um diâmetro de aproximadamente 0,3cm, um eletrodo reversível de hidrogênio (ERH) como eletrodo de referência e como eletrodo auxiliar uma placa de platina. As medidas experimentais foram realizadas polarizando o eletrodo de trabalho a um potencial de 0,05V e em seguida realizando-se um salto de potencial para 0,35 V por um tempo de 20 minutos. Após esse tempo a reação foi interrompida, e imediatamente foi retirada uma alíquota de 20 μ L que foi injetada no cromatógrafo com um tempo de análise de 25 minutos.

Foi observado também que na segunda injeção, sobre os eletrodos $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ e $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ não foram identificados os produtos esperados para essa reação, o que pode ser atribuído à volatilidade dos mesmos.



Figura 22: Célula eletroquímica utilizada no preparo das amostras para análise cromatográficas.

Realizar a quantificação de CO_2 de acordo com as várias etapas, descritas abaixo:

- Cálculo das quantidades em μ mol dos produtos parciais.
- Cálculo da quantidade de material, a partir do gráfico da eletrólise (Q_M), dados esse demonstrados na tabela 9.
- Cálculo da carga total do sistema.
- Cálculo da carga de CO_2
- Determinação da quantidade em μ mol de CO_2 .

O cálculo das quantidades dos produtos parciais, produzidas por cada eletrocatalisador, foi realizado substituindo nas equações da reta dos mesmos (figura 21) o valor da variável **y** que corresponde às áreas de cada amostra, obtida dos cromatogramas (figura 23) e demonstrada na tabela 8. Esses resultados estão apresentados na tabela 11. Ressaltamos que as quantidades, como também todos os demais resultados foram devidamente normalizados, como já foi mencionado no capítulo 3. Os fatores de normalização das medidas cromatográficas estão na tabela 9.

Produtos parciais	Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}		Pt _{81,8} Rh _{15,6} Sn _{2,6}		Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}	
	Área	Quant.	Área	Quant.	Área	Quant.
Ácido Acético	385,1	204	15,08	26	19,2	28,6
Acetaldeído	125,6	192	16,64	82	6,6	71
Etanol	322,2	630	19,65	22	250	488

Tabela 8: Áreas em **mAU.sec** e quantidade em μmol dos produtos obtidos sobre os eletrodos em estudo.

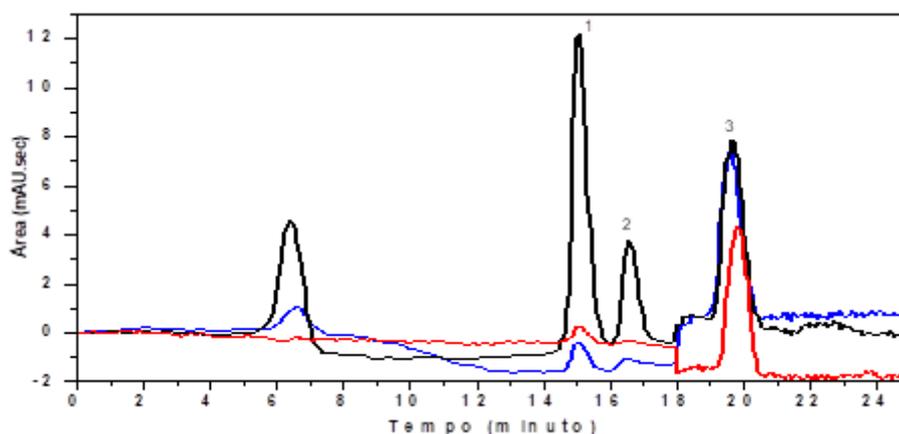


Figura 23: Cromatogramas obtidos a partir da eletrólise do etanol sobre os eletrodos Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2} (), Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6} () e Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3} (). Os picos apresentados são: 1 - ácido acético, 2 - acetaldeído e 3 - etanol.

Eletrocatalisadores	Quantidade de material (Q _M) x 10 ⁻² (C)	Fator de normalização
Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}	2,571	4,75
Pt _{81,8} Rh _{15,6} Sn _{2,6}	1,556	5,33
Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}	1,337	11,35

Tabela 9: Quantidade de material e fator de normalização dos eletrocatalisadores em estudo.

Para calcular a carga total do sistema de cada eletrocatalisador utilizou-se a equação 3.

$$Q_T = ne \cdot F \cdot Q_M \quad (3)$$

onde:

$$ne = 12e^-$$

$$F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Q_M = quantidade de material produzido durante a eletrólise sobre cada eletrodo (figura 26).

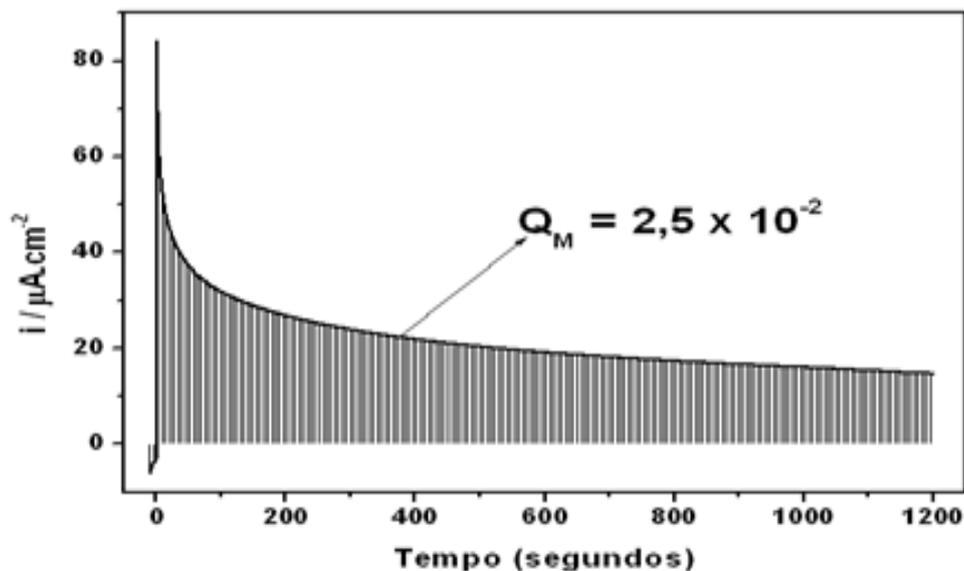


Figura 24: Cronoamperograma obtido durante a eletrólise sobre o eletrodo de $\text{Pt}_{86,2}\text{Rh}_{9,6}\text{Sn}_{4,2}$ para obtenção da carga total.

Para determinar a quantidade de CO_2 formado, foram calculadas as cargas dos produtos parciais em função das concentrações dos mesmos através da equação 4. Vale ressaltar que o número de elétrons envolvidos na oxidação do ácido acético e acetaldeído são respectivamente $4e^-$ e $2e^-$. Diante disso, foram obtidas as cargas em **C** (Coulomb), e em seguida substituiu-se os resultados das cargas dos produtos parciais e a carga total do sistema para cada eletrodo, na equação 5 encontrando assim a carga de CO_2 para cada eletrodo (tabela 10).

$$Q_x = ne \cdot F \cdot [X] \quad (4)$$

$$Q = Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{AA}} + Q_{\text{AAD}} \quad (5)$$

Produtos parciais	Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}	Pt _{81,8} Rh _{15,6} Sn _{2,6}	Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}
Ácido Acético	16598	1891	965
Acetaldeído	7758	3014	1206
Dióxido de carbono	5415	13112	13311
Carga do sistema (Q_T)	29772	18018	15482

Tabela 10: Cargas dos produtos parciais em **C** para a eletro-oxidação do etanol.

Aplicando a equação 4, calculou-se a quantidade em μmol de CO_2 , através da carga anteriormente encontrada e o número de elétrons envolvido na oxidação do CO_2 que é $4e^-$. Na tabela 11, encontram-se todos os resultados das quantidades dos produtos da reação produzidos por cada eletrodo.

Produtos parciais	Pt _{86,2} Rh _{9,6} Sn _{4,2}	Pt _{81,8} Rh _{15,6} Sn _{2,6}	Pt _{86,6} Rh _{10,1} Sn _{3,3}
Ácido Acético	43	4,9	2,5
Acetaldeído	40,2	15,62	6,25
Dióxido de carbono	14,03	34	34,48

Tabela 11: Quantidade em μmol dos produtos da reação

Através das quantidades contidas na tabela 11, calculou-se a eficiência faradáica dos eletrocatalisadores, utilizando a equação 6, com o intuito de verificar quão eficiente é cada uma dessas superfícies catalíticas para a formação dos produtos da reação.

$$E_F = \frac{ne}{ne_{\text{teórico}}} \quad (6)$$

onde:

E_F = eficiência faradáica

ne = número de elétrons dos produtos parciais envolvidos na eletro-oxidação de etanol.

ne_{total} = número total de elétrons envolvido na eletro-oxidação de etanol.



Produtos parciais	Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}	Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}	Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}
Ácido Acético	14,3	1,63	0,83
Acetaldeído	6,7	2,56	1,04
Dióxido de carbono	14	34	34,48

Tabela 12: Eficiência faradáica dos produtos.

Os resultados nos mostram que sobre o eletrodo de Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2} a produção de CO₂ é pequena em relação aos demais, como também a adsorção de CO (tabela 9). No entanto, a concentração dos produtos parciais formados é bem expressiva, indicando assim que a reação é favorecida em virtude de uma superfície livre dos “venenos catalíticos” tipo CO fortemente adsorvido, proporcionando o início da reação em potenciais mais baixos em relação aos demais eletrodos.

Dessa forma, podemos dizer que o catalisador contendo maior percentual atômico de estanho (Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}) produz menos CO₂. Vale ressaltar que o bom desempenho desse catalisador ocorre devido ao equilíbrio funcional apresentado pelos metais que compõem o catalisador. Entretanto, ao se comparar a atividade desse catalisador com os demais, constata-se que o maior percentual de estanho em sua composição foi significativo para o seu melhor desempenho.

No caso do eletrodo de Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3} observa-se que ele apresenta uma produção de CO₂ considerável em relação ao eletrodo de Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}, mas quando comparado ao eletrodo com menor percentual de estanho Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6} essa diferença é muito pequena. Entretanto, a eficiência desse catalisador (Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}) na formação dos produtos parciais também foi pequena (tabela 12). Este fato nos leva a crer que essa concentração de CO₂ provavelmente é proveniente da grande quantidade de CO adsorvido sobre sua superfície, o que pode ser constatado pelo fator de normalização (tabela 10).

Analisando a figura 16 (pg.44), pode-se constatar que os resultados eletroquímicos estão em concordância com os cromatográficos. Pelo VC adquirido sobre o eletrodo Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3} observa-se um baixo desempenho desse catalisador quanto à densidade de corrente em toda a faixa de potencial, fato esse atribuído a grande quantidade de CO adsorvido sobre sua superfície, reforçando assim, a origem da expressiva concentração de CO₂.

Ao se analisar os resultados obtidos para o eletrodo Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}, observou-se que sobre ele foi produzido uma concentração de CO₂ considerável somente em potenciais acima de 0,4V. Por outro lado, este catalisador adsorveu pouca quantidade CO sobre sua superfície, este fato nos leva a dizer que o CO₂ formado a altos potenciais deve ser proveniente da soma de vários intermediários adsorvidos antes de 0,4V, o que ocasionou a diminuição da velocidade da reação em baixos potenciais.

Esse comportamento pode também ser atribuído a maior percentual de ródio em sua composição, visto que esse metal possui como característica atingir magnitudes de correntes bem apreciáveis somente em altos potenciais.

Como foi dito anteriormente, sobre o eletrodo $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ os resultados mostraram menor concentração de CO_2 proveniente da reação de oxidação do etanol. Além disso, foi visto que sobre essa superfície há menor carga de CO. Isto nos leva a afirmar que os produtos parciais formados durante a reação provavelmente não se oxidaram até a formação de CO_2 como aconteceu sobre as outras duas superfícies.

Esse comportamento pode ser constatado analisando o VC da reação de eletro-oxidação do etanol sobre esse catalisador, que mostra o início da oxidação em 0,1 V e maior densidade de corrente na faixa de 0,03 até 0,4V. Este fato nos leva a concluir que os produtos parciais têm menor capacidade de envenenar a superfície catalítica do que o CO.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As medidas de stripping de CO mostraram que sobre o eletrocatalisador com maior percentual de estanho em sua composição atômica, ocorre menor adsorção em baixos potenciais, proporcionando assim uma superfície mais limpa e mais adequada para a eletro-oxidação de etanol a CO_2 ;

Experimentos de voltametria cíclica em etanol mostraram que os valores para os potenciais de início de reação, crescem na seguinte ordem: $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2} < Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6} < Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$. O melhor desempenho ocorre sobre o eletrocatalisador com maior percentual de estanho, mostrando assim que o estanho aumenta a eficiência da superfície eletroquimicamente ativa;

Os experimentos de cronoamperometria mostraram que todos os eletrocatalisadores possuem boa estabilidade, no entanto, o eletrodo $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ apresentou maiores densidades de corrente durante todo tempo de análise;

As análises cromatográficas mostraram que o eletrocatalisador de $Pt_{86,2}Rh_{9,6}Sn_{4,2}$ apresentou menor quantidades de CO_2 , a qual é proveniente da baixa quantidade de CO adsorvido.

Os eletrodos com maior percentual de ródio na sua composição apresentaram as maiores quantidades de CO_2 , no entanto, sobre o eletrocatalisador de $Pt_{86,6}Rh_{10,1}Sn_{3,3}$ essa alta quantidades se deve a grande quantidade de CO adsorvido na sua superfície, já sobre o eletrocatalisador de $Pt_{81,8}Rh_{15,6}Sn_{2,6}$ se atribui essa alta quantidades a soma de vários intermediários adsorvidos.



Pelos resultados de voltametria cíclica e cromatografia foi possível concluir que os produtos parciais não se adsorvem tão fortemente às superfícies catalíticas quanto o CO, visto que sobre o eletrodo que apresentou maior quantidade de ácido acético e acetaldeído obteve-se maiores densidade de correntes na faixa de potências de interesse para células a combustível.

Os resultados mostraram que as quantidades dos dois metais adicionados à Pt na formação dos trimetálicos são de fundamental importância no desempenho final dessas superfícies catalíticas, por isso se faz necessário um estudo com maior abrangência do comportamento eletroquímico e a utilização de técnicas onde se possa evidenciar a real interação dos metais na superfície do eletrocatalisador.

Referências

- A. Oliveira Neto, R. R. Dias, V. A. Ribeiro, E. V. Spinacé e M. Linardi; **Ecl. Quim.**, v. 31(1), p. 81-88, (2006)
- Appleby, A. J.; Foulkes, F. R.; **Fuel Cell Handbook**; Ed. Van Nostrand Reinhold;
- Benden, B., Lamy, C.; **New York, Plenum**, v. 22, p. 97, (1992)
- Bertolini, J. C.; **Applied catalysis A**: General 191 (2000), 15 – 21
- Bittins-Cattaneo, B.; Wilhelm, S.; Cattaneo, E.; Buschmann, H.W.; **Berlin Bun. Fur Phys. Chem.**, v.92, p.1210-1218, (1988).
- C. Lamy, E.M. Belgsir, J.M. Leger, **J. Appl. Electrochem.**, v. 31, p. 799-809 (2001).
- C., H.V. Fidelis, P. M. Donate e A. R. de Andrade; **Quim. Nova**, v. 24 (1), p. 43-46 (2001)
- Chunzhi, H.; Kunz, H. R.; Fenton, J. M.; **J. Electrochem. Society**, v.150, p.1017-1024, (2003).
- Chunzhi, H.; Kunz, H. R.; Fenton, J. M.; **J. Electrochem. Society**, v.150, p.1017-1024, (2003).
- D. M. dos Anjos, F. Hahn, J. M. Léger, K. B. Kokoh e G. tremiliosi-Filho; **J. Braz. Chem. Soc.**; v. 19, n. 4, 795-802 (2008).
- Du Melle, F., **J. Power Sources**, v.71, p.7-11, (1998).
- E.V. Spinacé, A.O. Neto, M. Linardi, **J. Power Sources**, v. 129, p.121-126 (2004).
- F. C. Nart, W. Vielstich, **Handbook of fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications**,v.2, part.3, p. 302-315, (2003).
- F.C. Simões, D.M. dos Anjos, F. Vigier, J.-M. L´eger, F. Hahna, C. Coutanceau, E.R. Gonzalez, G. Tremiliosi-Filho, A.R. de Andrade, P. Olivi, K.B. Kokoh.; **J. Power Sources**, v. 167, p. 1-10 (2007).
- Feliu, J. M.; Rodes, A.; Orts, J. M.; Clavilier, J., **J. Chem.**, v. 68, p 1575- 1994.
- Fujiwara, N.; Friedrich, K.A.; Stimming, U.; **J. Electroanal. Chem.**, v.472, p.120-125, (1999).
- G. Tremiliosi-Filho, E. R. Gonzalez, A. J. Motheo, E. M. Belgsir, J-M. Léger e C. Lamy, **J. Electroanal. Chem.**, v. 444, p. 31-39 (1998)
- G.A. Camara, R.B. de Lima, T. Iwasita, **Electrochem. Commun.**, v. 6, p. 812- 815 (2004).
- Gootzen, J.F.E.; Visscher, W.; Vanveen, J.A.R.; **Langmuir**, v.12, p. 5076-5082, (1996).
- Gurau, B. R.; Viswanathan, R.; Liu, R. X.; Lafrenz, T. J.; Ley, K.L.; Smotkin, E. S.; Reddington, E.; Sapienza, A.; Chan, B. C.; Mallouk, T. E.; Sarangapani, S.; **J. Phys. Chem. B**, v.102, n.49, p.9997-10003, (1998).



- H. Chang, J.R. Kim, J.H. Cho, H.K. Kim, K.H. Choi, **Solid State Ion**, v. 148, (2002) 601.
- H. Dohle, H. Schmitz, T. Bewer, J. Mergel, D. Tolten, **J. Power Sources**, v.106, p. 313-322 (2002).
- H. Wang, Z. Jusys, R. J. Behm, **J. Phys. Chem. B**, 108 (2004) 194-13
- Hahn, F.; Beden, B.; Lamy, C., **J. Electroanal. Chem.**, v.204, p.315-327, (1986).
- Hitmi, H.; Belgsir, E.M.; Léger, J.M.; Lamy, C.; Lezna, R.O.; **Electrochim. Acta**, v.39, p.407-15, (1994).
- Iwasita T.; Pastor, E.; **Electrochim. Acta**, v.39, p.531-537, (1994).
- Iwasita, T.; Vielstich, W.; **Weinheim, VCH**, v.1, p. 127-170. (Advance in Electrochemical Sciences and Engineering) 1990.
- J. Zhang, K.M. Colbow, D.P. Wilkinson, **US Patent**, v. 6, n. 187, p. 467 (2001).
- J.F.E. Gootzen, W. Visscher, J.A.R. van Veen, **Langmuir**, v. 12, p. 5076 - (1996).
- J.P.I. de Souza, S.L. Queiroz, K. Bergamaschi, E.R. Gonzalez, F.C. Nart; **J. Phys. Chem B**, v. 106, p. 9825-9830 (2002).
- Jae Hong Kim, Sung Mook Choi, Sang Hoon Nam, Min Ho Seo, Sun Hee Choi, Won Bae Kim; **Ap. Catal. B: Environmental**, v. 82, p. 89-102 (2008)
- Kleber Bergamaschi, tese de Doutorado, *Dependência da seletividade da eletro-oxidação de metanol e etanol sobre nanopartículas de Pt/C e PtRh/C*, Instituto de Química de São Carlos, São Paulo, (2005).
- Kordesch, K., Berlin Bun. **Fur Phy. Chem.**, v. 94, p. 902-912, (1990).
- Kordesch, K.; **Berichte der Bunsen-Gesellschaft-Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 94, p.902-912, (1990)
- L. Jiang, Z. Zhou, W. Li, W. Zhou, S. Song, H. Li, G. Sun, Q. Xin, **Energy Fuel**, v. 18, (2004) 866.
- L.-W.H. Leung, S.-C. Chang, M.J. Weaver, **J. Electroanal. Chem.**, v. 266, p. 317-336 (1989).
- Lam. Wing H. Leung, A. Wieckowski e M.J. Weaver, **J. Phys. Chem.**, v. 92 (24) p. 6985 - 6990 (1988).
- Mcnicol, B.D.; **J. Electroanal. Chem.**, v.118, p.71-87, (1981)
- N. R. de Tacconi, R. O. Lezna, B. Beden, F. Hahn e C. Lamy, **J. Electroanal. Chem.** v.379, p. 329-337 (1994).
- New York, EUA, (1989)
- P. Gao, S.-C. Chang, Z. Zhou, M.J. Weaver, **J. Electroanal. Chem.**, v. 272, p. 161-178 (1989).
- P.J. Sebastian, J. New Mat. **Electrochem. Syst.** v. 4 (2001), 1.
- Peled E., Duvdevani, Aharon, A. e Melman A.; **Electrochem. and Solid-State Letters**, v. 4, n. 4 (2001), A38-A41.
- S.C. Thomas, X.M. Ren, S. Gottsfeld, P. Zelenay, **Electrochim. Acta**, v. 47, p. 3741-3748 (2002).
- Santos, V. P. e Filho, G. T.; **Quim. Nova**, v. 24, n.6, p.856-863, (2001).
- Santos, V. P., V. Del Colle, Lima, R. B., e Filho, G. T.; **Langmuir**, v.20, p.11064-11072 (2004)
- Schimidt, T. J.; Gasteiger, H. A.; Behm, R. J.; **J. Electrochem. Society**, v.146, p.1296-1304, (1999).
- Schmiemann, U.; Muller, Baltruschat, H.; **Electrochim. Acta**, v.40, p. 99-107 (1995)
- Shin, J.W.; Tornquist, J.; Korzeniewski, C.; Hoaglund, C.S.; **Surf. Sci.**, v. 364, p.122-130, (1996).
- Souza, J.P.I.; Rabelo, F.J.B.; DE Moraes, I.R.; Nart, F.C.; **J. Electroanal. Chem.**, v.420, p 17-20, (1997).
- V.M. Schmidt, R. Ianniello, E. Pastor, S.R. Gonzalez, **J. Phys. Chem.** v. 100 (45), p. 17901-17908 (1996).
- Vigier, F.; Coutanceau, C.; Hahn, F.; Belgsir, E.M.; Lamy, C.; **J. Electroanal. Chem.**, v.563, p.81-89,



(2004).

W. Zhou, W. Li, S. Song, Z. Zhou, L. Jiang, G. Sun, Q. Xin, K. Poulitanitis, S. Kontou, P. Tsiakaras, **J. Power Sources**, v. 131, p. 217-223 (2004).

W.J. Zhoua, S.Q. Songa, W.Z. Lia, Z.H. Zhoua, G.Q. Suna, Q. Xina, S. Douvartzidesc, P. Tsiakarasc. **J. Power Sources**, v. 140, p. 50-58, (2005)

Wendt, H.; **Electrochimica Acta**, v. 39, n. 11/12, p. 1749-1756 (1994).

Willsau, J.; Heitbaum, J.; **J. Electroanal. Chem.**, v.194, p.27-35, (1985).

Xia, X.H., Liess, H.-D., Iwasita, T., **J. Electroanal. Chem.**, v.437, p. 233-240 (1997)



CAPÍTULO 3

RECURSOS HÍDRICOS E SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS DE FORNECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Marcos André Silva Araújo

Clebson Santos Cândido

Isabella Fernanda Gouveia Santos

Resumo

A água é o recurso importante e singular, indispensável para a sobrevivência de vida na terra. Nos últimos anos, tem-se destacado o processo de conscientização que discute formas para resolver, proteger e preservar os recursos hídricos, principalmente para uso das futuras gerações. O presente artigo tem como objetivo analisar a crise hídrica e discutir sobre a importância da utilização demasiada dos recursos naturais e os impactos causados pela ação humana sobre natureza. As mudanças climáticas, o aumento da temperatura média da Terra, a mudança nos ecossistemas, o desaparecimento de geleiras, a queimada de florestas, a migração populacional e a irrigação, são fatores que contribuem efetivamente para o surgimento da escassez dos recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, resultando em uma crise hídrica global. Deste modo, tais questões possibilitam qualificar o resultado das transformações climáticas no que tange a demanda de água por meio dos princípios ideológicos que atravessam os discursos sobre a escassez de água nos parâmetros global e local, relacionando-os a uma discussão das consequências, elementos e parâmetros que levam a uma crise hídrica mundial e como esses problemas afetam o fornecimento de água para o Brasil. Portanto, é necessário entender como se dá o processo de melhoria da conscientização, destacando a gestão de recursos hídricos, como principal responsável pela otimização do uso da água, levando ao crescimento econômico, social e desenvolvimento da qualidade de vida.

Palavra Chave: Recursos Hídricos. Mudanças Climáticas. Crise Global. Desenvolvimento Sustentável.

Abstract

Water is an important and unique resource, indispensable for the survival of life on earth. In recent years, the awareness process that discusses ways to resolve, protect and preserve water resources has been highlighted, mainly for the use of future generations. This article aims to analyze the water crisis and discuss the importance of overusing natural resources and the impacts caused by human action on nature. Climate change, the increase in the Earth's average temperature, the change in ecosystems, the disappearance of glaciers, the burning of forests, population migration and irrigation, are factors that contribute effectively to the emergence of the scarcity of natural resources, mainly the water resources, resulting in a global water crisis. In this way, such questions make it possible to qualify the result of climatic changes in terms of water demand through the ideological principles that cross the discourses on water scarcity in global and local parameters, relating them to a discussion of the consequences, elements and parameters that lead to a worldwide water crisis and how these problems affect the supply of water to Brazil. Therefore, it is necessary to understand how the process of improving awareness occurs, highlighting the management of water resources, as the main responsible for the optimization of water use, leading to economic, social growth and development of quality of life.

Keywords: Water Resources. Climate Changes. Global Crisis. Sustainable Development.



1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no Brasil, está passando por uma mudança de transição institucional, no que tange a privatização e no trata a respeito dos serviços públicos, como a regulamentação da legislação de tais recursos hídricos, como a além das núncias envolvidas. Porém, o objetivo desse estudo é analisar a crise nos recursos hídricos do Brasil, visando encontrar soluções coerentes, que possa de maneira direta ou indireta contribuir como indicadores e soluções objetivas e diretas, para sanar essa grande e terrível crise não só no brasil mais como mundo.

A SAMTAC (South America Technical Advise Comitee) do GWP (Global Water Perternship), que iniciou estudos na américa do sul, além de preparar estudos básicos na região. Contudo, a Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, diz que a água é um bem de domínio público, o que implica, que ela não pode ser privatizada e seu uso deve ser realizado com total participação da sociedade e do governo. A crise hídrica é dada pelos baixos níveis de água nos reservatórios, sendo que esse nível de água deveria estar no nível considerado normal para aquele momento (BRASIL; GWP, 2000).

Vale ressaltar que a água tem a capacidade de renovação, entretanto essa capacidade não consegue acompanhar o crescimento do seu consumo que é dado pelo crescimento da sociedade. Um fator que implica diretamente a essa renovação é o saneamento básico, que é um Direito fundamental assegurado pela Lei 11.445/07 (CARVALHO E ADOLFO 2012). De acordo com o Instituto Trata Brasil (2017), ao contextualizar sobra saneamento básico, referido sobre uma series de medidas que buscar em seu radical do meio ambiente e seus recursos ambientais, onde são prestados serviços de limpeza urbana, tais como: abastecimento de água potável, drenagem e manejo das águas pluviais, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos. É através desse conjunto de serviços que buscamos melhorar a qualidade de vida.

Segundo Rogers et al., (2006), comprovam e confirmam através de estudos, que a existe de fato uma crise hídrica no século XXI. Porém, o referido estudo revela fatos que mostram que o grande problema e na verdade de gerenciamento dos recursos de que de fato uma crise real de escassez e estresses. Contudo, existe outros especialistas que mostram que a crise e um conjunto de fatores que corroboraram pra essa situação si estabelecesse. entre ela temos, problemas ambientais, problemas relacionados a economia, além do desenvolvimento social (Gleick, 2000).

Segundo o estudo de Bhatia e Bhatia (2006), uma forma de melhorar esse problema de maneira significativa é melhorando a gestão dos recursos hídricos e investindo em saneamento básico adequado, o que levava a um crescimento econômico e social considerável, proporcionando qualidade de vida e influenciando



na geração de empregos. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), diz que o saneamento tem recebido baixo investimento, o que será prejudicial para o desenvolvimento do país a longo prazo (Bertussi e Araújo 2018).

2. METODOLOGIA

2.1 Crise Hídrica no Brasil Preservação e Conservação dos Recursos

No Brasil o sistema de desenvolvimento dos setores que compõe os recursos hídricos em países que estão em desenvolvimento como os das américas do sul, que passaram por estágios semelhante a países desenvolvidos. Contudo, os mesmos tiveram momentos distintos entre si. Porém, vale ressaltar que depois da segunda guerra mundial, houve grande crescimento econômico. Com isso, várias áreas tiveram crescimento, sendo uma dessas a construção de obras hidráulicas e conseqüentemente geração de energia elétrica.

A crise hídrica é um problema que afeta toda população do planeta, independentemente de grande parte dele ser composta por água, sendo o fator que implica a essa crise em grande parte é dado pelo crescimento da sociedade, que não cuida e nem preserva o meio ambiente (BARROS & AMIN, 2007).

Segundo Rebouças (2003), a humanidade vem agravando esses problemas através do desmatamento e outros fatores como o lançamento de esgoto em rios, antes de receber um tratamento adequado. Contudo vale ressaltar que a economia tem uma ligação direta com a natureza, influenciando e sofrendo influência sobre esse tão grande organismo.

De acordo com Grassi (2011), o planeta terra tem aproximadamente 71% da sua superfície coberta por água. Porém, mesmo com uma porcentagem consideravelmente alta, grande parte da população não possui a água adequada para o consumo, podendo ser encontrada em três estados físicos que são; Líquidos, Sólidos e gasoso e sendo somente uma parte dessa própria para o consumo (REBOUÇAS, 2001).

Segundo Silva et al.,(2011), expõe que é importante ter uma gestão incorporada dos recursos hídricos, que busque atender a demanda da população, possibilitando o acesso ao saneamento básico, adequado e minimizando a assimetria na distribuição da água, assegurando dessa forma que essa ação ajudará a atender a demanda necessária para melhorar a qualidade de vida da população.

Araújo Junior (2004), expõe que 15% da água doméstica utilizada é direcionada a lavar roupas e carro, e 33% é utilizado somente com descargas em vasos sanitários. De acordo com (REBOUÇAS 2001), uma das formas mais plausíveis



para sanar esse problema é através da conscientização da sociedade, que deve criar o hábito de evitar desperdícios e o reaproveitamento dos recursos hídricos, aprender sobre a importância de fazer o uso correto da água, contribuindo para preservação do mesmo.

Segundo a InterAcademy Panel (IAP), uma atividade importante para auxiliar na resolução dessa questão seria melhorar a capacidade dos gestores dos recursos hídricos, oferecendo cursos em aplicação conjunto da rede internacional, na qual estão presentes o Brasil, China, Rússia entre outros. (TUNDISI & SCHEUENSTUHL, 2008).

3. CRISE HÍDRICA MUNDIAL

A disponibilidade dos planetas parece plena, porém na realidade existe uma limitação, à medida que a população e a economia crescem, aumenta o descaso com o ciclo natural da água.

Rebouças (2003), diz o comportamento humano intensifica os resultados das secas das enchentes, tanto pelo desmatamento, quanto pela ocupação das várzeas de rios. A impermeabilização dos solos e desperdícios de água são fatores dessa escassez.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a crise mundial de água é relacionada a adequação, uso e preservação dos recursos hídricos por parte da população dos países desenvolvidos e os emergentes, como subdesenvolvidos, onde a diferenciada oferta entre esses países no que tange ao abastecimento de água potável de boa qualidade e de preço razoável, como serviços de saneamento, que são considerados fundamentais para melhoria da qualidade de vida dessas populações.

Segundo Bouguerra (2004), caberá aos países que desejam superar a crise instalada de água a implantação de formas de gestão que concedam uma melhor governabilidade do estado em conjunto com a sociedade, através de ações transparentes para permitir um desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.

Conforme apregoa Gonçalves (2007), o volume de água atualmente existente na Terra é de quase 1,4 bilhão de km³ e de fato, não se alterou nos últimos 500 milhões de anos. Porém, o consumo mundial da população é de aproximadamente 150 bilhões de m³ de água por ano, gerando 90 bilhões de m³ de esgoto (MARAFANTE & SILVA, 2006). Desse modo, esse consumo acentuado pode levar a uma futura crise hídrica mundial em curto prazo, causado pelo uso desenfreado dos recursos naturais.

Para contornar essa situação, o Banco Mundial (2003), faz-se necessário que



haja conscientização por parte dos usuários, sendo induzida uma nova formação ética, na forma de usar os recursos hídricos, que seja realizado o tratamento dos efluentes, a proteção dos mananciais e a plena segurança dos diversos tipos de usos da água, evitando-se assim, o colapso mundial em relação à escassez hídrica.

3.1 Tratados de Preserções dos Recursos Renováveis

Nas décadas de 1960 e 1970, ações destinadas a regulamentar o uso, o controle e a proteção dos recursos naturais renováveis, Gestão de Recursos Naturais (GRN), surgiram devido à necessidade de discutir acerca da importância das causas ambientalistas, regulamentações, organizações não-governamentais, organizações internacionais, quanto às questões ambientais e ao uso desordenado e devastador dos recursos naturais (CARVALHO; CURI; LIRA, 2013, p. 31; LACERDA; CÂNDIDO, 2013, p. 13).

Essas ações, visam destacar a característica principal dos recursos naturais, quando essas são expostas à intervenção humana, através de uma exploração sistemática e abundante de seu patrimônio natural, contribuindo potencialmente para a ausência do desenvolvimento das atividades naturais e econômicas. Senhoras, Moreira e Vitte (2009), ressaltam que o componente conflitivo da geopolítica dos recursos naturais ocorre em decorrência função da assimetria natural de sua dotação, quando em alguns territórios há abundância e em outros escassez.

Para teóricos como Homer-Dixon (2001 apud LOURENÇO; MACHADO, p. 89) e Michael Klare (2002 apud LOURENÇO; MACHADO, p. 89), a possibilidade da ocorrência de contendas entre Estados, devido ao uso de recursos é atualmente uma oportunidade discutida em nível da segurança global. Os autores destacam que a força desses conflitos pode ser multiforme, no entanto, na maior parte dos países, a defesa e preservação de matérias-primas e dos recursos renováveis é essencial na manifestação das suas estratégias de segurança nacional.

A concepção de uma gestão de recursos está diretamente relacionada ao aumento dos ganhos econômicos, sociais e ambientais, de forma que esses bens contornem conflitos e tensões, causadas pelo aumento da demanda por recursos naturais e pela disputa desses bens. Conforme (Darby 2010), os recursos naturais de todos os tipos, como: petróleo, gás, minerais, metais, florestas, pesqueiros, terras e água estão associados ao desenvolvimentos e conflitos gerados pela problemática da escassez de recursos, isso reforça ainda mais a necessidade de gerenciar e preservar esses recursos, para um melhor desenvolvimento populacional.

Para contornar tal situação, faz-se necessário que a sociedade se conscientize quanto à importância da preservação ambiental, da relevância que a sustentabilidade tem para a economia e como isso influe diretamente na qualidade de vida de uma sociedade. Quando questões relacionadas a esse tema receberem maior



atenção, as consequências positivas geradas para a sociedade através do meio ambiente, contribuem na mudança de cenário para o desenvolvimento sustentável. Martins e Cândido (2008), afirmam são essenciais para concretizar um processo de desenvolvimento em bases sustentáveis que a população esteja ciente de suas funções com relação ao meio ambiente e a sua responsabilidade em preservar esses recursos.

3.2 Mudanças Climáticas

A UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), (apud Barry e Chorley, 2013) caracteriza como mudança climática uma modificação no clima que é imputada de forma direta ou indireta à atividade humana, pois esta altera a composição da atmosfera e se soma à mutabilidade climática natural ponderada no decorrer de escalas temporais semelhantes. Dessa forma, as mudanças climáticas podem ser consideradas derivadas de forças antropogênicas, no mesmo modo em que a variabilidade pode ser mais associada a processos naturais.

Nesse sentido, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2003), órgão criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estudar o problema das mudanças climáticas, alertou, recentemente, que a seca e a crise hídrica de vários países seriam influenciadas pelas mudanças climáticas. Não há, entretanto, consenso científico a respeito dos efeitos adversos do clima como determinante exclusivo da crise hídrica.

As principais causas de desabastecimento hídrico populacional são, de maneira geral, o uso não eficiente dos recursos hídricos, bem como a eventual falta de investimentos e de políticas públicas adequadas no setor. A Política Nacional de Mudanças Climáticas, instituída pela Lei n.º 12.187, de 29 de dezembro de 2009, trata de forma indireta os recursos hídricos ao determinar como objetivo a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais e, como diretriz, medidas de adaptação para reduzir os efeitos adversos da mudança do clima e a vulnerabilidade dos sistemas ambiental, social e econômico.

Com isso, considera-se que o ciclo de água está diretamente ligado ao clima, levando assim às mudanças climáticas interferirem diretamente no regime de chuvas e por esse motivo, podem fomentar ocorrência de eventualidades hidrológicas extremas, como acentuados períodos de seca e inundações causadas pelas chuvas torrenciais. Esses episódios induzem a oferta de água e ameaçam o abastecimento de recursos hídricos para a população.

No Brasil, segundo Lucena et al., (2009), a crise hídrica começou a ecoar como um sinal de cuidado com relação à sustentabilidade da matriz energética que se torna exposto às mudanças no clima. Ainda no país, da matriz energética e da escassez



de recursos, nos anos 2000, ocorreu um estouro nos investimentos com relação à preservação e conservação desses recursos, como por exemplo, o investimento em projetos de biocombustíveis, em petróleo, no combate ao desmatamento das florestas tropicais, atenuando a liberação de gases tóxicos que superaquecem o planeta. O combate a esse desmatamento, também influencia no aumento da capacidade dos reservatórios das hidroelétricas, em decorrência da crise hídrica.

Segundo os relatórios de avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), realizados nos anos de 2007 e 2013, indicam que as mudanças climáticas ocorridas em todo o mundo nos últimos anos, geram impactos que refletem no modo de vida da população. As principais mudanças ocorridas estão na temperatura e precipitação e encontram-se intimamente ligadas ao crescente aumento dos níveis dos gases do efeito estufa, que geram consequências como o aumento geral na evaporação, aumento na variabilidade das descargas dos rios junto à elevação da pluviosidade. Além das mudanças florestais, onde os efeitos da devastação dos ecossistemas são sentidos através das emissões de carbono às comunidades locais.

Isto posto, como afirma Ribeiro (2005), há a real necessidade global em fazer à tona as temáticas ambientais que causam problemas em escala mundial à toda a população. Esta é uma forma de alertar, discutir e buscar soluções para contornar os impactos causados pela mudança climática ao longo dos anos, para que no futuro, as próximas gerações, venham a sofrer menos com toda a problemática gerada devido à escassez hídrica. Verificado nas negociações sobre mudanças climáticas.

3.3 Dublin

Nos dias 26 e 31 de janeiro de 1992, foi instituído na cidade Dublin na Irlanda, a conferência internacional sobre água e meio ambiente, onde participaram representantes de oitenta organismos internacionais, intergovernamentais e governamentais, sendo enviados quinhentos destes participantes, que incluíam especialistas designados pelos seus respectivos governos a participarem da conferência. Especialistas e peritos constataram como forma de crítica a presente situação como também o futuro dos recursos hídricos no planeta (International Conference on Water and the Environment, 1992).

Essa conferência ocorreu para tratar do valor da água quanto ao caráter econômico, em todos os seus usos e sobre a futura escassez da mesma. Consoante esse princípio, é essencial entender que ter acesso à água tratada é um direito básico de todo ser humano, assim como saneamento básico. No entanto, anteriormente, o não reconhecimento da água como um bem essencial e seu valor econômico, contribuíam para seu desperdício e os prejuízos decorrentes do seu mau uso. O gerenciamento da água como bem financiável, torna-se significativo quanto à competência e neutralidade no seu uso e de propiciar a sua manutenção e prote-



ção. (apud GRANZIERA, 2003, p.56).

De acordo com o Relatório da Conferência, fazia-se necessário seguir quatro princípios orientadores, para reverter a situação de calamidade, consumo excessivo, poluição e ameaças contra os recursos hídricos. O primeiro princípio determina que a água seja um recurso escasso e destrutível, importante para a sobrevivência, para o desenvolvimento das sociedades e do meio ambiente. O segundo princípio aponta que o crescimento e a gestão unificada dos recursos hídricos precisam representar um comportamento interativo, que incluam a população, gestores públicos de todas as esferas. Já o terceiro princípio presume que as mulheres obtenham papel de destaque no abastecimento, gestão e proteção da água. E o quarto princípio assente que a água representa um grande valor econômico em todos os seus usos (International Conference on Water and the Environment, 1992).

Com isso, constatou-se que os problemas não são mera especulações e os mesmos tem grande impactos sobre a humanidade, além da sobrevivência de milhões de pessoas. Contudo, faz-se necessário, um eficiente e eficaz plano onde se possa sanar futuros problemas que virão, já que os participantes da conferência exigiram novas abordagens, avaliação, gestão dos recursos de água doce, além de esclarecimentos sobre o que se pode alcançar através de um comprometimento político, tanto dos mais altos níveis do governos, como também das classes menores.

No Brasil, no ano de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, ocorreu uma reunião com todos os líderes mundiais em uma conferência das Nações Unidas. Esta conferência, teve como objetivo o desenvolvimento e meio ambiente. Através dela, foram apontados a real situação na qual os recursos hídricos se encontravam, aproximando-se da insustentabilidade. Por esse motivo, buscou-se encontrar incentivos por parte de todos os governantes, a estudarem, tornarem-se cientes e analisarem os dados cuidadosamente, buscando ações específicas que contribuem para a conservação hídrica, além das medidas a serem implantadas, onde a motivação principal, era elaborar um plano ou programa emergencial que servisse de ação para água e desenvolvimento que avinhe-se a ser sustentável.

Desse modo, tratando sobre a definição e classificação da água, Fonseca (2011, p. 149) aponta que:

[...] a água pode ser definida a partir de quatro visões: a) substância inorgânica natural; b) recurso natural essencial para a manutenção da vida na Terra; c) recurso hídrico, isto é, com enfoque no seu valor econômico; e d) recurso estratégico, uma vez que desempenha papel importante em atividades como a produção de alimentos, geração de energia e meios de transporte.

Diante da problemática da escassez dos recursos hídricos, mundialmente discutidas, a Unesco (2009), considera que é relevante a adoção medidas de reforma, introdução ferramentas para aprimorar a gestão e restabelecimento da conscientização a respeito da relação que o consumo inconsciente da água tem com



relação à pobreza, os transtornos que isso causa na eficiência na produção alimentícia, na irrigação agrícola, na proteção contra desastres naturais, na proteção dos sistemas aquáticos, na redução dos problemas de saúde causados pelo impacto da poluição da água e na diminuição de inundações e secas.

3.4 Conservação e Preservação Hídrica no Brasil

O Brasil configura como um dos países com maior liberdade de recursos hídricos no mundo, apesar desse fato, no país ainda encontra-se inúmeros problemas com relação aos indícios de água. De acordo com Oliveira (2019), em 2017 o atendimento da rede de abastecimento populacional de água, segundo o Sistema Nacional do Desenvolvimento Regional (SNIS), foi de 83,5%, em 2013 esse valor foi de 82,5%. Tal crescimento é considerado ínfimo, pois em todo o país, cerca de 35 milhões de pessoas ainda permanecem sem acesso a água para uso.

O país possui em seu território cerca de 50% dos recursos de águas superficiais disponíveis na América do Sul. No entanto, conforme Ana (2012), esse aproveitamento hídrico não está ligado apenas ao seu aspecto quantitativo, pois as numerosas aplicações de água detêm requisitos de qualidade, que, quando não permitidos, se transformam em um fator limitante para o seu desenvolvimento.

Nesse sentido, Brito (2018) afirma que assegurar que todos os brasileiros possam ter acesso a água de qualidade, é um dos desafios mais difíceis que os responsáveis pelo poder público podem ter. Apesar de, esse ser um país que dispõe abundantemente de água, ainda é presente em todo o território nacional, a dificuldade em conservar e preservar esse bem, pois esse recurso custosamente resistirá às intervenções humanas no meio ambiente e às mudanças climáticas.

A água e a necessidade de seu controle e manutenção provoca um grande interesse sócio-econômico. Braga (2002), considera que o uso superabundante desse recurso e a poluição gerada, colaboram para ampliar a ausência de água e contribuem para as crescentes alterações da qualidade da mesma. Em lugares onde há escassez ou baixa disponibilidade de água, torna-se fundamental que este recurso mantenha-se dentro dos parâmetros de qualidade.

O acesso a água de qualidade é fator de extrema importância para a sobrevivência e saúde das pessoas e preservação dos ecossistemas, além disso é considerado uma condição fundamental para o desenvolvimento de um país. Dessa forma, Haia (2010), informa que existe uma ligação entre a pobreza e os principais problemas que ameaçam o acesso adequado da água, como a poluição, mudanças climáticas, pelo uso insustentável, mudanças no uso do solo, assoreamento dos leitos dos rios. Braga et al. (2005), também considera que os fatores relacionados à degradação do meio ambiente, contaminações do solo, do ar e da água contribuem para o agravamento dos problemas referentes à proteção e melhorias da água



doce, das costeiras e ecossistemas associados, que impossibilitam o acesso de água dentro dos parâmetros de qualidade e quantidade considerável para uma vida saudável e produtiva dentro da sociedade.

Com isso, com base na Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH (2012), mesmo que o Brasil disponha dos maiores patrimônios hídrico do mundo, o reuso desse produto ainda é limitado com relação à demanda utilizada, principalmente nos grandes centros, onde a interação entre o homem e o meio ambiente é limitada. Dessa forma, Carli et al. (2013), assegura que para a conservação e preservação hídrica no Brasil, faz-se necessário que haja uma maior interação entre a demanda e a oferta de água, baseados nos conceitos de uso racional, diminuição do consumo exacerbado, utilização de fontes alternativas de água, educação e preservação ambiental e tratamento adequado da água.

3.5 Soluções para fornecimento e distribuição de Água no Brasil

No Brasil, atualmente fala-se muito a respeito da relevância e do consumo consciente da água. Isso se deve ao fato de o desenvolvimento populacional no país, ter tornado-se crescente e mais informado quanto à qualidade política, os direitos e as possibilidades de solução dos problemas relacionados ao abastecimento e divisão da água. Carey (1993), acredita que a sustentabilidade hídrica está diretamente ligada ao maior número de usuários e ações associadas ao que o ambiente pode dispor continuamente. Nesse sentido, faz-se necessário além de usufruir, proteger e distribuir corretamente os recursos hídricos, uma vez que este caracteriza-se como insumo básico fundamental ao progresso econômico.

Em todo o mundo a água disponível para servir às demandas das populações são organizadas de acordo com o desenvolvimento socioeconômico do ambiente. No Brasil, geralmente o consumo para manter a qualidade de vida, são de 63 litros usufruídos e 37 perdidos por habitante. O relatório Ana (2013), denominado Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos, indica que a utilização da água no Brasil aumentou consideravelmente nos últimos anos, sendo distribuída de forma desigual entre a população, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. E a divisão e utilização demasiada desse recurso, dá-se principalmente para a irrigação (Brasil, Ana, 2013).

De acordo com Vergara (2001), faz-se possível criar uma ligação entre a conduta do homem com relação à utilização prudente da água e as condutas mecanicistas de consumo. Essa ligação apresenta-se de forma diferente nos países industrializados, com relação aos países em desenvolvimento, sendo possível reconhecer que "um comportamento socialmente responsável é o fundamento de um sucesso econômico sustentável a longo prazo" (LEAL, 1998, p. 142, apud VERGARA e BRANCO, 2001, p. 22).



Nesse sentido, promover políticas de conscientização da população é um passo consideravelmente importante no que se refere à melhor distribuição e fornecimento da água, é uma forma bastante eficaz de prevenir sua escassez. Nesse caso, faz-se necessário que hajam políticas públicas verdadeiramente sustentáveis, capazes de espalhar e extremar o avanço do controle social sobre elas e elevar a esfera informacional e de entendimento das pessoas, pois elas detêm a capacidade em dar o primeiro passo rumo à preservação. (Moreli apud GOCKEL, 2007).

De acordo com Justo (2000), a melhor maneira de resolver o “problema da água” é investindo na integração social. Este recurso, por ser um bem essencial à vida, é um direito global fundamental, garantido pelo Estado. No entanto, no mundo e Brasil, a distribuição da água não é feita de forma homogênea. Curi e Santos (2008), afirmam que mesmo o Brasil apresente relativa abundância de águas doces, essa divisão se dá de acordo com a densidade demográfica do país, sendo concentrado o maior volume de água, cerca de 78%, na região Amazônica, 6% na região Sudeste e na região Nordeste, por ser em uma maior parte, uma região semi-árida, apresenta vários problemas hídricos, causados principalmente pela irregularidades de chuvas.

De acordo com Tundisi (2008), uma forma consciente de resolver a questão da água no Brasil, é estimular a revitalização dos rios, lagos e represas distribuídas pelo país, com destaque principalmente, para a região Sudeste, onde o impacto econômico apresenta-se de forma consideravelmente elevada, estimulando assim, a produção de emprego e renda, de novas oportunidades de uso da água, de produção nas indústrias e criação de novas tecnológicas para a gestão hídrica. Torna-se fundamental a promoção estratégica de melhorias quanto aos recursos hídricos em todo o território nacional, pois eles são propulsores de progressos na economia, na energia, na saúde humana e nas mudanças globais, promovendo visões e ambientes que a longo prazo, podem tornar-se consolidados. Tundisi (2008), ainda considera importante ressaltar que a transposição dos rios, é um projeto importante de revitalização e despoluição, que permite o desenvolvimento região considerável, como o que ocorreu na região Nordeste, mais especificamente, no Rio São Francisco.

Diante dos fatos mencionados, deve-se considerar, que para a resolução dos problemas de água no Brasil, é necessário que haja uma integração social, capaz de conscientizar a sociedade quanto à preservação, a distribuição igualitária e eficaz, introduzir a gestão hídrica na economia, estimular o recurso da água, dos cuidados ambientais e investir em novas fontes energéticas.

4. CONSIDERAÇÃO FINAL

O presente trabalho visou mostrar através de revisão bibliográfica, reflexão sobre recursos hídricos e soluções para problemas de fornecimento de água no



Brasil, com todas as suas núncias e características que envolve o presente estudo, caracterizando as múltiplas facetas que norteiam os métodos empírico, além de executivos, tornando uma opção para implantação de técnicas e métodos já usados em países que adotaram as técnicas acima.

Com isso, busco-se um melhor aproveitamentos dos nossos recursos, como o gerenciamente do mesmo, onde ficou claro no presente estudo e citado no referente trabalho, mostra que o grande problema e o gerenciamente de tais recursos que visem de fator um melhor aproveitamento e distribuição dos mesmo, para que possa está sanando tais problemas que são de grande impactos.

Portanto, faz-se necessário uma conscientização por partes não somente dos governos mundiais mais como por parte da população, para que possamos preservar os recursos hídricos para novas gerações, além dos ecossistemas e da vida que existe no planeta.

Referência

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**. Brasília: ANA, 2012.

ARAUJO, F. C. de; BERTUSSI, G. L. **Saneamento Básico no Brasil: Estrutura Tarifária e Regulação**. Revista Planejamento e Políticas Públicas. N. 51. 2018.

BRASIL - ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2013.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. v. 4, n. 1. Taubaté, São Paulo: p 75-108, jan-abr/2007. p 75-10.

BANCO MUNDIAL. **Água, redução da pobreza, desenvolvimento sustentável**. 1.ed. Brasília, 2003.

BARRY, R. & Chorley, R. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman. 2013.

BHATIA, R.; BATHIA, M. Water and poverty alleviation: the role of investments and policy interventions. In: RoGeRs, P. P. et al. (ed.) **Water crisis: myth or reality?** London: Fundación Marcelino Botín, taylor & Francis, 2006. p.197-220.

BOUGUERRA, Mohamed Larbi. **As batalhas da água: por um bem comum da humanidade**. Tradução de João Batista Kreuch. Petrópolis, RJ: Vozes, 2004.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRITO, DÉBORA. **A água no Brasil: da abundância à escassez**. Agência Brasil, Brasília, 2018. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/agua-no-brasil-da-abundancia-escassez>. Acesso em: 06 de jan. 2020

CAREY, D.I. **Development based on carrying capacity: A strategy for environmental protection**. In: Global Environmental Change, 1993.

CARLI, Larissa Nardini et al. **Racionalização do Uso da Água em uma Instituição de Ensino Superior Estudo de Caso da Universidade de Caxias do Sul**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade GeAS, São Paulo, volume 02, n. 01, página 143 165, 2013.



CARVALHO, José Ribamar Marques; CURI, Wilson Fadlo; LIRA, Waleska Silveira. **Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas.** In: LIRA, Waleska Silveira; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde (Org.). Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem. Campina Grande: EDUEPB, 2013.

CARVALHO, S. A. de; ADOLFO, L. G. S. **O Direito Fundamental ao Saneamento Básico como Garantia do Mínimo Existencial Social e Ambiental.** Revista Brasileira de Direito, IMED, vol 8, nº2. 2012.

CURI, Wilson Fadlo; SANTOS, Valterlin da Silva. **A nova gestão de recursos hídricos no Brasil.** In: AGRA, João Tertuliano Nepomuceno; AGUIAR, José Otávio. Água, Solo e Educação Ambiental: história e memória, planejamento e gestão. Campina Grande: EDUFPG, 2008.

DARBY, Sefton. **Natural resource governance: new frontiers in transparency and accountability.** London : Open Society Foundation, 2010. 69 p.

FONSECA, Ozorio J. M. **Pensando a Amazônia. Manaus:** Valer, 2011.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado. **Direito de Águas: disciplina jurídica das águas doces.** 2ªed. São Paulo: Atlas, 2003.

GRASSI, M. T. As águas do planeta terra. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Edição especial – Maio 2001.

GLEICK, P. H. **The world's water. 2000-2001.** Report on Freshwater Resources. Island Press, 2000. 315p.

GOCKEL, Luísa. Água: uma década de lei. Revista do Terceiro Setor, 19 jan 2007. Disponível em: . Acesso em: 21 jan 2020.

GONÇALVES, J. A. **Meio ambiente a vida em jogo.** Editora Salesiana. Série Radar. São Paulo, 2007.

HAIA. **Conferência sobre segurança hídrica no século 21.** Disponível em: <http://clickagua.com.br/noticias/docs/haia.asp>. Acesso em: 09.jan.2020.

IPCC. **Impactos Regionais del Cambio Climatico: Evaluación de la Vulnerabilidad.** Resumem para responsables de políticas. Informe Especial del IPCC. Zimbabwe. IPCC. 1997. 17p. Disponível em . Acesso em 13 dez.2003.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT (ICWE). **The Dublin Statement on Water and Sustainable Development.** Dublin, Ireland, on jan. 26-31, 1992.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos e Sociais.** 2017.

JUSTO, Carolina Raquel Duarte Mello. **A água como problema social.** Graduada em Ciências Sociais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). 2000.

LOURENÇO, N.; MACHADO, C. R. **Mudança Global e Geopolítica dos Recursos Naturais.** Mulemba - Revista Angolana de Ciências Sociais, v. 3, n. 5, 2013. pp. 81-100. Disponível em:http://www.researchgate.net/publication/262485343_Mudana_Global_e_Geopoltica_dos_Recursos_Naturais. Acesso em: 12 de dez.2019.

LUCENA, A. et al., **The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil.** Energy Policy, Volume 37, Issue 3, March 2009, 879-889p.

MARAFANTE, L. J.; SILVA, J. R. de. **Ecologia e desequilíbrios Ambientais.** Ribeirão Preto: Maxicolor Gráfica, 2006.

Martins, M. F., Cândido, G.A. (2008). Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM): metodologia para análise e cálculo do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade – uma aplicação no Estado da Paraíba. João Pessoa: Sebrae.

OLIVEIRA, Manoella. **Os desafios da conservação da água no Brasil.** 2019. Disponível em:<https://www.dw.com/pt-br/os-desafios-da-conserva%C3%A7%C3%A3o-da-%C3%A1gua-no-brasil/a-47996980>. Acesso em 20 de jan.2020.

REBOUÇAS, A. da C. Água e desenvolvimento rural. Estudos Avançados. 2001. 15 (43).

REBOUÇAS, A. da C. **Proteção dos Recursos Hídricos.** Revista de Direito Ambiental. A. 8, n 32, out./dez.



São Paulo, 2003. p 33-67.

RIBEIRO, Wagner Costa. **A ordem ambiental internacional**. São Paulo: Contexto, 2005.

SEMARH (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal). **Programa de águas de usos diversos**. Distrito Federal (DF), (2012). Disponível em: <http://www.semarh.df.gov.br/qualiar/Pdf/REVISTAREUSO-AGUAS.pdf>; Acesso em: 19 de dez. 2019.

SENHORAS, Elói Martins; MOREIRA, Fabiano; VITTE, Claudete de Castro Silva. (2009), A agenda exploratória de recursos naturais na América do Sul: da empiria à teorização geoestratégica de assimetrias nas relações internacionais. Selected works. January 2009. Disponível em: <http://works.bepress.com/cgi/view-content.cgi?article=1122&context=eloi>. Acesso em: 08 de Dez.2019.

SILVA, J. B. et al. **A crise hídrica global e as propostas do Banco Mundial e da ONU para seu enfrentamento**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Ciências da UFRN. v. 11. n 2. 2011.

VERGARA, Sylvia Constant; BRANCO, Paulo Durval. **Empresa humanizada: a organização necessária e possível**. RAE – Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 20-30, abr./jun. 2001.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estud. av. [online]. 2008, vol.22, n.63, pp.7-16. ISSN 0103-4014.

TUNDISI, J. G. et al. **Conservação e uso sustentável de recursos hídricos**. In: BARBOSA, F. A. (Org.) *Ângulos da água: desafios da integração*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p.157-83.

TUNDISI, J. G. Água no século 21: enfrentando a escassez. RiMa/iiE, 2003. 247p. _____. Bridging water research, innovation and management: enhancing global water management capacity. In: proceedings of the vi regional workshop water resources and water use problems in central asia and caucasus. iap, iwep, russian academy of sciences, 2008, p.86-94.

UNESCO. The United Nations. **World Water Assessment Programme: Integrate water resources management in action**. Paris: UNESCO, 2009.



ANEXO

LISTA DE SIGLAS

GRN - Gestão de Recursos Naturais

GWP - Global Water Partnership

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAP - InterAcademy Panel

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ONU - Organização das Nações Unidas

OMM - Organização Meteorológica Mundial

SAMTAC - South America Technical Advice Committee

SEMARH - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SNIS - Sistema Nacional de Informações de Saneamento

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change



CAPÍTULO 4

TECNOLOGIA BIM: UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Carlos Fernando de Araújo Pereira

Marcos André Silva Araújo

Wellington Santos Araújo

Jurandir Amorim Moraes Filho

Resumo

A tecnologia BIM, está inserida nas grandes empresas da construção civil e seu conteúdo está sendo difundido por muitos profissionais há anos, facilitando processos, acelerando as comunicações e produzindo resultados rápidos, existem inúmeros benefícios que se estendem em toda uma gama de setores, apresentando-se como um modelo com várias camadas de informações, organizada de maneira sistemática e colaborativa. Porém, mesmo diante deste cenário, podem ser encontrados profissionais e alunos de engenharia que não compreendem a utilização e os benefícios da tecnologia BIM, criando uma barreira em relação a utilização das ferramentas BIM e consequentemente dificultando o ingresso da tecnologia no setor da construção civil. A presente pesquisa realizada como revisão bibliográfica fornecerá uma maior compreensão e importância da adesão de novas tecnologia na construção civil, evidenciando as elaborações da tecnologia BIM em relação a tecnologia CAD, demonstrando o uso da tecnologia BIM e os principais benefícios na construção civil e nos demais setores. Em relação aos processos de utilização de CAD tradicional e a tecnologia BIM, entende-se que a modelagem das informações na elaboração dos projetos possibilita uma melhora no controle sobre o desenvolvimento do mesmo, além de exibir uma precisão significativa, em relação ao conceito tradicional.

Palavras-chave: Construção civil; Tecnologia BIM; Ferramentas CAD; Metodologia; Interoperabilidade.

Abstract

BIM technology is embedded in large construction companies and its content has been diffused by many professionals for years, facilitating processes, accelerating communications and producing fast results, there are numerous benefits that extend across a range of industries, as a model with multiple layers of information, organized in a systematic and collaborative way. However, even in the face of this scenario, professionals and engineering students can not be found who do not understand the use and benefits of BIM technology, creating a barrier to the use of BIM tools and consequently hampering the entry of technology into the construction industry. The present research carried out as a bibliographical review will provide a greater understanding and importance of the adherence of new technology in civil construction, evidencing the elaboration of BIM technology in relation to CAD technology, demonstrating the use of BIM technology and the main benefits in civil construction and in the other sectors. Regarding the processes of using traditional CAD and BIM technology, it is understood that the information modeling in the elaboration of the projects allows an improvement in the control over the development of the same, besides showing a significant precision, compared to the traditional method.

Key-words: Civil construction; BIM technology; CAD tools; Methodology; Interoperability.



1. INTRODUÇÃO

O mundo está mudando cada vez mais rápido, como resultado do desenvolvimento tecnológico acelerado. Todos os dias, as empresas ao redor do mundo investem pesadamente em inovação com o objetivo de criar respostas às necessidades do mercado. Novas tecnologias fazem parte deste processo, mas é importante enfatizar que, ao invés de abrir oportunidades de negócios diferentes, eles fornecem uma verdadeira revolução na sociedade, possibilitando ações anteriormente impensáveis e melhora na qualidade de vida.

A tecnologia Building Information Model (BIM) que significa em português Modelagem da Informação da Construção, nos ajuda em muitas áreas, facilita processos, acelera as comunicações e produz resultados rápidos, existem inúmeros benefícios que se estendem em toda uma gama de setores, apresentando-se como um modelo com várias camadas de informações, organizada de maneira sistemática, então, que ser acessado no momento certo e da maneira certa, da concepção de reforma ou demolição de uma edificação.

A tecnologia BIM, está inserida nas grandes empresas da construção civil e seu conteúdo está sendo difundido por muitos profissionais há anos. Mesmo com a divulgação da tecnologia BIM por meio das redes sociais e eventos educacionais, ainda existe profissionais e alunos de engenharia que compreendem a tecnologia BIM como um programa que apenas modela uma estrutura em 3D, criando uma barreira em relação a utilização das ferramentas BIM e conseqüentemente dificultando o ingresso da tecnologia na construção civil. Diante deste cenário, quais são as melhorias que a utilização das ferramentas BIM traz para os novos processos de projetos da construção civil?

O objetivo principal deste trabalho visa discutir a tecnologia BIM e a utilização das ferramentas BIM na construção civil, para alcançar esta finalidade foram elaborados objetivos específicos que fornecerá uma maior compreensão e importância da adesão de novas tecnologia na construção civil, evidenciando as elaborações da tecnologia BIM em relação a tecnologia CAD, demonstrando o uso da tecnologia BIM e os principais benefícios na construção civil.

Para o presente trabalho, será realizada pesquisa bibliográfica, por uma busca intensa de informações técnicas em livros, monografias e sites. Também consultados as normas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que foram utilizadas para demonstrar as diretrizes que devem ser utilizadas no sentido de orientar os trabalhos que discorrem sobre utilização da tecnologia BIM na construção civil.



2. A IMPORTÂNCIA DA TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Não é segredo que a tecnologia está em constante evolução e alterando rapidamente o cenário de todos os setores da indústria. Essa variação amplia a eficiência das operações rotineiras até a fabricação de produtos ou serviços de alta qualidade. A adesão das novas tecnologias pelas organizações é uma resultante explícita do processo de adaptação e previsibilidade a determinados problemas e necessidades, decorrentes do processo de mudança organizacional (CÂNDIDO; ABREU, 2002). Normalmente, são as empresas que têm a capacidade de se adaptar e adotar mudanças tecnológicas que acabam por sobreviver ao clima de negócios competitivo.

A mudança nos últimos anos do setor empresarial gerou um cenário intensamente competitivo, gerando um ambiente imprevisível e mais difícil. A evolução da TI foi um dos componentes principais desta alteração no ambiente organizacional (BAZZOTTI; GARCIA 2006). Então, é percebido que o sucesso de organizações é totalmente relacionado à velocidade à qual está informação é assimilada e a velocidade à qual eles são levados como decisões (PORTÕES 1999), então, é necessário saber os componentes da TI que respaldam tal probabilidade de sucesso.

Segundo Cândido e Abreu (2002) os assuntos tecnológicos ocorrem em função da necessidade de obter a solução para um devido problema ou de um aprimoramento sistemático envolvendo os conhecimentos básicos e práticos. De acordo com Gonçalves e Gomes (1993) a elevação da eficiência de produção, aprimoramento da qualidade do produto e a diminuição do esforço das tarefas, se obtém por meio das novas tecnologias que proporcionam vantagens pontuais as empresas.

De acordo com Cândido e Abreu (2002) o atendimento aos interesses e necessidades da sociedade implicará a busca pelas inovações tecnológicas, as quais irão gerar uma excelência empresarial, através das melhorias nos métodos de trabalho e na elaboração de novos produtos, reduzindo custos, fornecendo produtos e serviços de qualidade a preços menores.

Coutinho e Ferraz (1995) afirmam que as empresas para serem competitivas necessitam integrar a eficácia de gestão, e que isto pode ser atingido por meio da busca de um posicionamento estratégico em relação aos fatores de sucesso no mercado, aliada à procura incessante pela integração entre a estratégia, a capacitação e o desempenho.

Para Coelho (2017) a inovação deve ser uma estratégia de negócio e deve ser avaliada quanto ao retorno do investimento, devido ao custo existente para a implantação das tecnologias, com a compra de software, hardware, treinamento da equipe e mudança nos processos.

De acordo com Coelho (2017) a indústria da construção civil no Brasil, quando comparada com outros setores, é estigmatizada como ultrapassada, pois, reflete



baixa produtividade, alto nível de desperdício e pouca qualificação da mão de obra, fatores que podem colaborar pela baixa qualidade do produto final. Segundo Pereira e Barros (2009, p.18) “a utilização de ferramentas que possibilitem uma melhor gestão e conhecimento do empreendimento pode ser um fator importante para que a organização se destaque nesse mercado”.

A Construção Civil é classificada nas subclasses: I - Setor de Materiais de Construção; II - Setor de Edifícios; III - Setor de Construção Pesada. Também há outras classificações como no que divide o setor (SEBRAE-MG. 2005): a) Construção Residencial; b) Construção Pesada; c) Construção Industrial. É indubitavelmente um setor de grande contribuição para o progresso do país, enquanto levando em conta as especificidades do setor, isto é (SEBRAE-MG. 2005): 1) um efeito de multiplicador alto; 2) menos necessidade para investimento, devido à baixa dependência de capital / produto; 3) uso intensivo de trabalho, incluindo mão de obra sem qualificação; 4) uma porção significativa dos investimentos; 5) coeficiente de importação reduzido.

A Construção Civil tem função indispensável no cenário econômico brasileiro, sendo responsável por contribuições salariais de R \$ 15.5 bilhão, correspondendo a um salário mensal próximo a 2,7 salários mínimos 5,2% de PIB e aproximadamente 9% de pessoas empregadas (IBGE - Pesquisa Anual da Construção 2005).

A tabela 1, adequada conforme os dados da FIESP (2005), representa a contribuição de porcentagem de PIB das subclasses do CONSTRUBUSINESS.

Atividade	Participação no PIB
Materiais de Construção	4,60%
Outros Materiais	0,80%
Máquinas e Equipamentos	0,20%
Construção (Edificações, Construção Pesada)	5,20%
Serviços (Projetos de Engenharia e Arquitetura, Atividades Imobiliária, Manutenção de Imóveis)	0,50%

Tabela 1: A participação do CONSTRUBUSINESS no PIB
Fonte: FIESP (2005).

Os feitos de uma ação que correspondesse de forma eficiente as atribuições da TI no dia a dia dos colaboradores do setor civil traria um impacto imensurável devido os seguintes fatores: a contribuição em grande escala que o setor reflete no PIB (FIESP, 2001) e a baixa produtividade que caracteriza o setor (SCHWEGLER et al., 2001). Devido as inúmeras oportunidades a tecnologia proporciona um aumento na produtividade do setor, de forma exponencial, promovendo impacto significativo do crescimento físico e financeiro do país, tendo contribuição mais elevada que os demais setores existentes (NEWTON, 1998).



Knolseisen (2003) ressalta a importância da integração das tecnologias que são necessárias para ingressar no mercado cada vez mais competitivo e atender um consumidor exigente, onde toda empresa necessita de um estudo de viabilidade econômica, um orçamento detalhado e um rigoroso acompanhamento físico-financeiro dos projetos.

Segundo Delatorre e Santos (2014), relatam que o mercado da construção civil nos últimos anos, o termo BIM, passou a ser adotado com mais frequência, se tornando um mecanismo fundamental da tecnologia do mercado da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), focando nas questões de projeto, construção e operação de edifícios. De acordo com Eastman et al. (2008) um número significativo de empresas reconhecidas internacionalmente nos setores de arquitetura, engenharia e construção estão usando BIM em seus projetos. A implantação do BIM deve possibilitar à empresa maior competitividade dentro de seu setor e garantir sua permanência (COELHO, 2017).

Segundo Eastman (2008), vários empresários exigem práticas fundamentadas no BIM para o desenvolvimento dos novos projetos, essas exigências requer um novo tipo de profissional no mercado. Existe ainda um número elevado de estudantes e profissionais que utilizam o sistema CAD 2D, que permite uma maior ocorrência de erros durante a elaboração e integração dos projetos das demais engenharias, conseqüente tornando o processo mais longo e mais caro, devido à perda de tempo para solucionar problemas durante a execução da edificação. Há uma gama de estudantes e profissionais que desconhecem as ferramentas BIM, dessa maneira perdendo espaço no mercado por falta de qualificação.

A tecnologia BIM, traz consigo o aumento da eficácia dos projetos e processos de controle de obras, gerando elevada produtividade e economia, além da minoração do custo e das despesas relacionadas à construção de prédios e infraestrutura. Este modelo consolidou-se internacionalmente como um novo paradigma na elaboração de projetos e manutenção (SCHWEGLER et al., 2001). Para fomentar a busca pela tecnologia BIM, o governo elaborou a estratégia BIM BR com o objetivo de difundir o assunto por todo o país, o decreto nº 9377 diz:

Art. 1º Fica instituída a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR, com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em Building Information Modelling - BIM e sua difusão no País. Parágrafo único. Para os fins do disposto neste Decreto, entende-se o BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, como o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção. (BRASIL, 2018, p. 1)

Segundo o Brasil (2018), a estratégia visa garantir a implementação do tema e a conciliações das ações dos órgãos governamentais na disseminação desse modelo no mercado. Dessa forma, espera-se que os ganhos em economicidade e qua-



lidade em obras brasileiras, incluindo obras públicas, e um aumento substancial na produtividade da construção civil, tornando-o mais competitivo e eficiente. Para obter melhores resultados foi elaborado o comitê gestor da estratégia BIM BR (CG-BIM), responsável pela implementação da Estratégia BIM BR e administração e condução das ações e desempenho, monitorando o seu progresso, validando o alcance das metas e, se necessário, viabilizando iniciativas corretivas ou de melhoria (BRASIL, 2018). Conforme mostra a tabela 2, adaptada de acordo com os dados do ministério da economia, Brasil (2018), elaboração do roteiro estratégico BIM BR Roadmap do livreto ESTRATÉGIA BIM BR, as iniciativas e os projetos necessários para o alcance dos resultados esperados.

BIM BR ROADMAP				
	2018	2021	2024	2028
Resultados	Aumentar a produtividade das empresas em 10%	Reduzir custos em 9,7%	Aumentar em 10x a adoção do BIM (% do PIB da construção civil)	Elevar em 28% o PIB da construção civil
Governança	Estabelecer instância de gestão	Gerenciar as atividades da Estratégia BIM BR/ Analisar e Publicar resultados		Estratégia BIM BR implantada e metas atingidas
Infraestrutura Tecnologia e inovação	Aprimorar a infraestrutura da rede de comunicação de dados em regiões estratégicas e soluções de TIC frente às necessidades do uso BIM / Incentivar a interoperabilidade por meio de padrões neutros			Incentivo continuado ao desenvolvimento tecnológico
Arcabouço Legal	Estabelecer os requisitos BIM para compras governamentais	Aprimorar o marco legal e infralegal referente às compras públicas para o uso extensivo do BIM		Arcabouço legal e infralegal aperfeiçoado
Regulamentação Técnica	Estabelecer documentos e referências técnicas para edificações e infraestrutura	Atualizar guias para edificações e desenvolver para infraestrutura e para operação e manutenção de ativos / Aprimorar o arcabouço normativo técnico para incentivar a colaboração e a integração nos processos BIM		Regulamentação técnica aprimorada
Investimentos	Promover ambiente de negócio favorável de investimento em BIM			Investimentos em BIM efetivados
Capacitação	Estabelecer objetivos de aprendizagem / Elaborar disciplinas modelo	Capacitar os educadores e profissionais do setor público / Desenvolver programas de certificação / Implantar programa de capacitação dos profissionais compreendendo todas as disciplinas		Atualização e educação continuada
Indução pelo Governo Federal	Estruturar o Governo para adoção BIM nos Programas Piloto	Adotar em projetos dos Programas Piloto	Adotar o BIM em projetos e obras e incluir novos programas	BIM disseminado em obras públicas
Comunicação	Difundir o conceito BIM e seus benefícios / Divulgar a Estratégia BIM BR e seus resultados / Promover a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM			Atores mobilizados

Tabela 2 – Roteiro estratégico BIM BR Roadmap
Fonte: Brasil (2018).



A tabela 2, detalha os indicadores e metas baseados nos objetivos de ampliar a aplicação do BIM e expandir a eficiência do setor da construção civil. De acordo com os estudos da Fundação Getúlio Vargas – FGV no ano de 2018, 9,2% das empresas do setor da construção implementaram o BIM em suas atividades cotidianas, o setor da construção civil representa 5% do PIB.

Segundo Brasil (2018), baseado nesses indicadores, a Estratégia BIM BR almeja, ampliar em 10% a eficiência das empresas, reduzir em 9,7% os custos, amplificar a adoção do BIM em 10 vezes (atualmente 5% do PIB da Construção Civil adere ao BIM, o objetivo é que 50% do PIB da Construção Civil adere ao BIM), aumentar em 28,9% o PIB da Construção Civil (com a adoção do BIM, o PIB do setor, ao vez de 2,0% ao ano, espera-se que cresça 2,6% entre 2018 e 2028, ou seja, terá amplificado 28,9% nesta etapa, alcançando um estágio de produção jamais obtido).

3. COMPARAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM EM RELAÇÃO AO SISTEMA CAD E SUAS METODOLOGIAS

3.1 Sistema CAD

De acordo com Florio (2007), a tecnologia da informação possibilita a melhoria da qualidade e desempenho de softwares mais inteligentes e práticos que visam atender às necessidades e necessidades do mercado, incrementando indiretamente a evolução de hardware mais eficiente. Um dos grandes exemplos a serem mencionados são as ferramentas CAD, que há anos proporcionaram mudanças na indústria da construção.

O software AutoCAD, é um ambiente de elaboração de desenhos 2D e 3D onde os usuários tem a possibilidade de criar e manipular objetos na execução dos projetos. Segundo Justi (2008), esta plataforma tem a capacidade de adicionar outros softwares que maximizam as funcionalidades para diversos fins e outros tipos de projeto, são os chamados plug-ins. As ferramentas CAD fornecem uma série de recursos na construção de entidades geométricas planas (curvas, linhas e polígonos) ou até mesmo objetos tridimensionais (cubos, esferas, etc.) conforme figura 1, fornecendo recursos para relacionar esses elementos ou objetos.

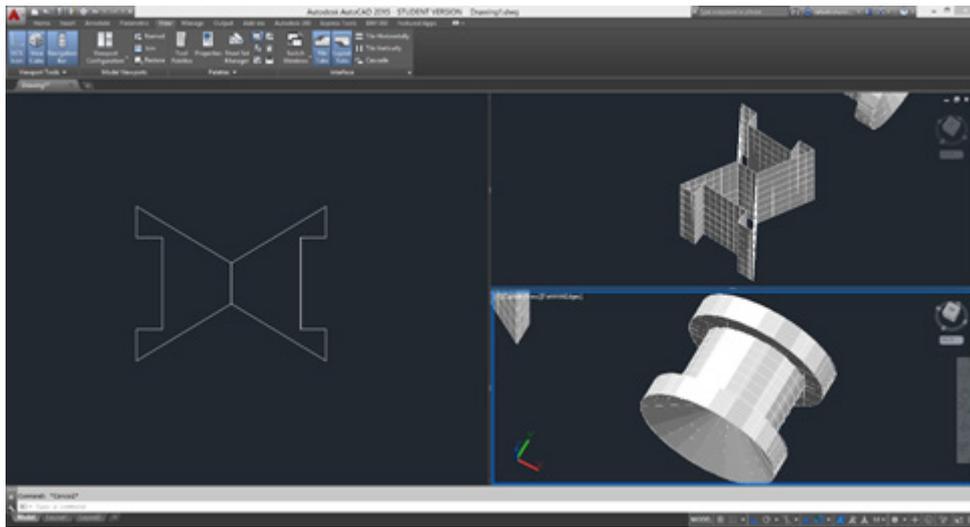


Figura 1 – Processo de criação de entidades geométricas planas e 3D
 Fonte: Justin (2008)

Observa-se na figura 1, a elaboração dos objetos nas etapas bidimensionais e tridimensionais em diferentes vistas.

Para Tobin (2008), os softwares CAD são divididos em dois grupos, que tem como critério a capacidade do programa de desenhar no plano bidimensional ou criações de modelos tridimensionais, sendo este último mais subdividido em relação à tecnologia que eles usam como um modelador 3D. Existem basicamente dois tipos de modelagem 3D: por polígonos e por Non Uniform Rational Basis Spline (NURBS). No software, você pode trocar entre o modelo 3D e o desenho 2D, onde o desenho bidimensional pode ser gerado através do modelo tridimensional).

Segundo Lima (2014), algumas ferramentas específicas do CAD simulam as condições reais de fabricação, ou seja, as ferramentas utilizadas no projeto são as mesmas que as disponíveis no chão de fábrica, conforme apresentado na figura 2 (estes são geralmente chamados de programas Computer-Aided Manufacturing (CAM)).

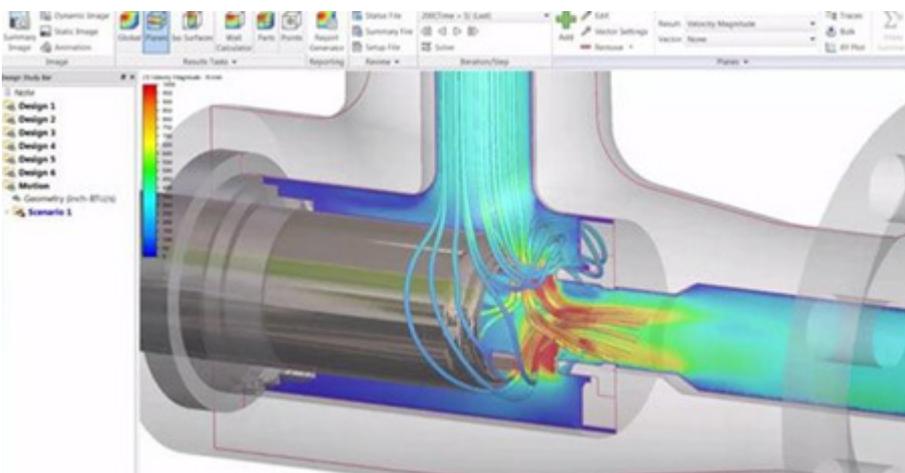


Figura 2 – Simulação de utilização de protótipos e peças acabadas
 Fonte: Galeria Autodesk

Na figura 2, identifica-se a utilização da ferramenta CAM para elaboração de peças físicas que são utilizadas no setor industrial.

Dentro da arquitetura existem CAD's específicos que podem inserir "blocos" de paredes, telhados, janelas, portas e outros objetos com ajudas dos plug-ins. Ayres e Scheer (2007) afirmam que o CAD que melhor se adequou a demanda dos profissionais foi o CAD geométrico, que permite a criação dos projetos no ambiente 2D. Porém, as reproduções no sistema geométrico podem conter diferenças na representação entre o virtual com o real, de modo que impede a avaliação de clientes leigos. O cliente na maior parte das vezes não interpreta os arranjos das linhas, não assimilando o projeto arquitetônico com o real.

3.2 Tecnologia BIM

A adesão a tecnologia BIM pela indústria AEC é fundamentada na atual geração de ferramentas CAD, com alta capacidade de manipulação das informações. Segundo Hilgenberg et al. (2012), no princípio os softwares introduzidos no mercado foram o Allplan e o ArchiCAD por volta da década de 80. Existem ainda softwares mais recentes Bentley, Solibri, Robot, Navisworks e o Revit como modelo de ferramenta BIM. O software Revit foi elaborado na década de 90, e posteriormente foi incorporado e distribuído pela Autodesk. Atualmente o software é uma das referências no mercado (Costa et al., 2015).

De acordo com Lima (2014), o software Revit Architecture (figura 3) é uma ferramenta que utiliza um novo modelo, o BIM, onde os edifícios são elaborados de uma nova forma, não empregando os conceitos dos layers, mas um moderno método de elaboração que aplica elementos parametrizados como paredes, lajes, vigas, esquadrias, forros, escadas, telhados etc., os quais têm todas as características definidas em suas propriedades.

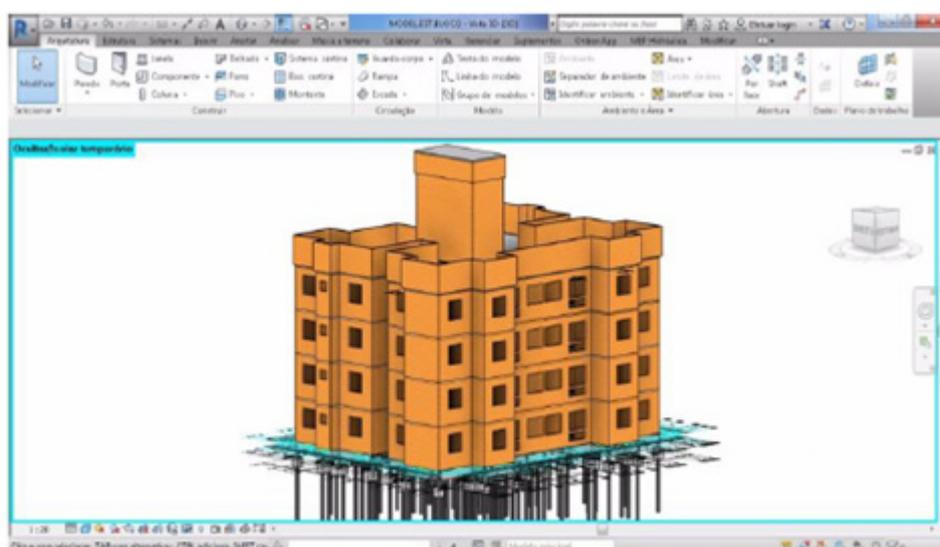


Figura 3 – Processo de Modelagem do projeto estrutural
Fonte: Menegaro e Piccinini (2017)

Para Menegaro e Piccinini (2017), o Revit é um software da Autodesk que utiliza a tecnologia BIM. É uma plataforma de design de projeto de arquitetura e engenharia e um sistema completo de documentação do projeto que suporta todas as fases do processo.

Segundo Hilgenberg et al. (2012) a tecnologia BIM, encontrada em softwares paramétricos como o Revit (da Autodesk Inc.) e o Archicad (da Grafisoft Inc.), suportam a disponibilidade imediata e contínua de informações confiáveis, de alta qualidade e totalmente coordenadas sobre o escopo, quantificação e custo do projeto.

Com o software Revit temos um completo sistema para criação de projetos de arquitetura e engenharia em 3D, onde o usuário precisa pensar no projeto e não nos desenhos que irão representar o projeto, conforme a figura 4 adaptado de acordo com Menegaro e Piccinini (2017).

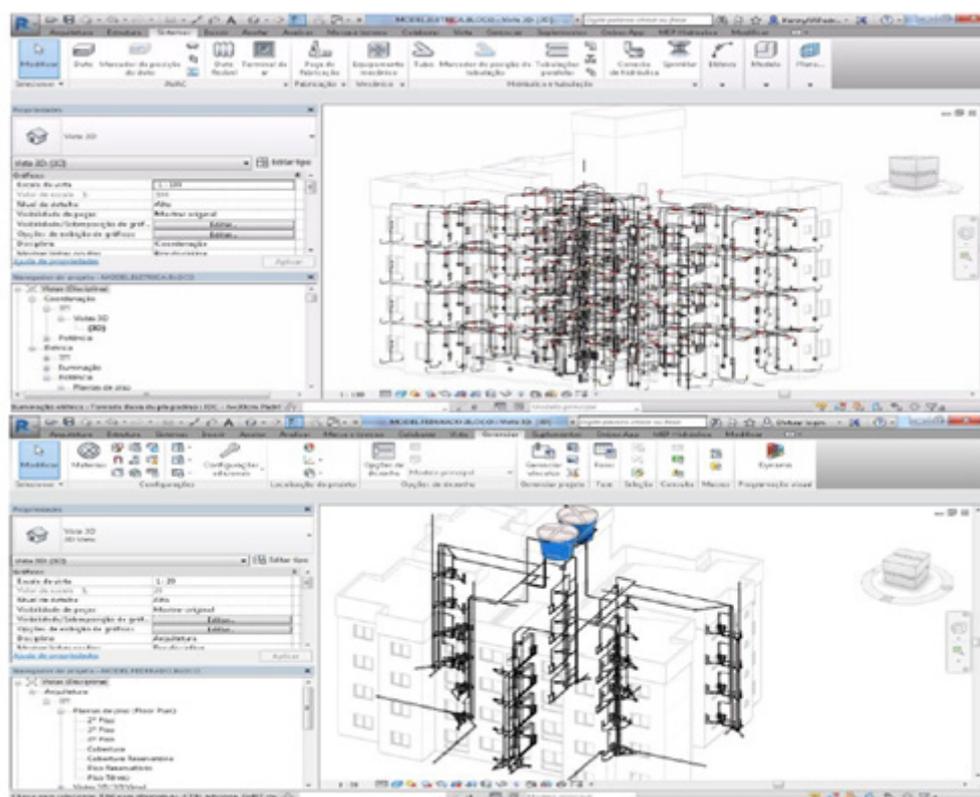


Figura 4 – Processo de Modelagem do projeto elétrico e hidráulico
Fonte: Menegaro e Piccinini (2017)

De acordo com Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015) projetos que usam o Revit possuem uma vantagem competitiva imediata, fornecendo melhor coordenação e qualidade e ainda contribui para uma maior interação entre os arquitetos e o restante da equipe.

Segundo Eastman (2014) os softwares baseados na tecnologia BIM, identifica a largura específica ao esboço em corte e em vista (onde este elementos devem

ser exibidos com espessuras finas, médias e grossas); modifica as alturas de cotas, de textos e símbolos, automaticamente de acordo com a alteração de escala; efetua automaticamente cortes e fachadas segundo o comando do projetista; nomeia e numera automaticamente os projetos nas pranchas; e além disso possibilita a execução de maquete eletrônica automaticamente com imagens realistas e animações gráficas tornando-se, de tal modo, uma ferramenta completa para escritórios de arquitetura e engenharia.

3.3 Comparação das metodologias

De acordo com Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015) a metodologia de projeto convencional geralmente é estruturada no uso de ferramentas CAD. Nas ferramentas CAD, as geometrias são baseadas por coordenadas para elaboração de objetos gráficos, gerando elementos de ilustração.

De acordo com Nunes e Leão (2018), embora seja de grande importância a evolução oriunda do uso do CAD, a maneira de projetar e construir não demonstrou alterações significativas. De modo que as ferramentas de desenho foram repassadas ao computador, reduzindo erros, tempo e possibilitando maior fluxo de trabalho. Em suma, o desenvolvimento se tornou mais eficaz, entretanto o resultado final se manteve para fins representativos.

Conforme Alder (2006) a diferença entre o BIM e CAD é a concepção do projeto pelo usuário, usando elementos realistas em vez de linhas representativas. Se torna perceptível as divergências das mecânicas apresentadas nos dois métodos, em relação a utilização das inserções das "paredes" e outros elementos nas ferramentas BIM e os comandos de inserção de blocos ou linhas representativas fundamentadas nos layers das ferramentas CAD.

Segundo Okamoto (2006), nas ferramentas BIM é possível realizar a criação da própria estrutura dos elementos de maneira virtual, ao contrário do sistema CAD que apenas são inseridas linhas para ilustração do desenho técnico, nas ferramentas BIM a alvenaria e os demais componentes são construídos virtualmente, possibilitando o emprego dos insumos que serão utilizados na fabricação da estrutura arquitetônica, de modo que, a informação possa ser utilizada posteriormente no processo de orçamentação. Segundo Eastman (2014) os objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação, possibilita definição de paredes com seus respectivos componentes e há a possibilidade de gerenciamento em qualquer nível hierárquicos, conforme figura 5.



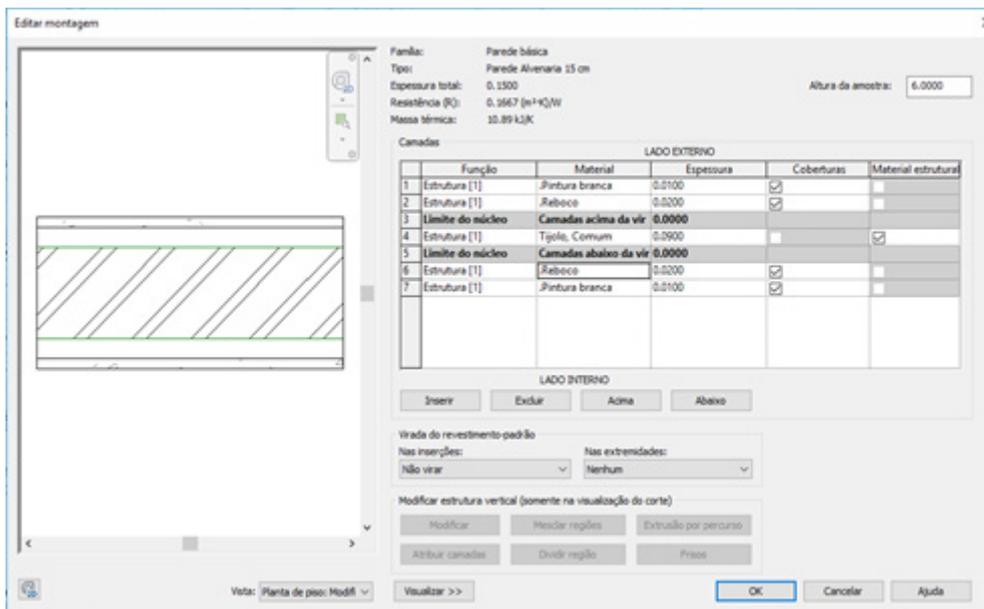


Figura 5 – Gerenciamento de componentes
Fonte: Lima (2014)

De acordo com Lima (2014), o software Revit predispõe de um template (ou modelo de documento) padrão que contempla configurações básicas com informações sobre as quantidades e características dos materiais empregados na fabricação das estruturas, em quanto que, no software AutoCAD o arquivo padrão traz somente as configurações básicas dos layers e demais funções.

Para Alder (2006), as ferramentas BIM contêm propriedades predefinidas, ou configurações definidas pelo usuário, que completam informações dos elementos inseridos no projeto. No sistema CAD todas as informações devem ser inseridas e editadas manualmente, as informações contidas no CAD não são interligadas, por esse motivo é necessário realizar as alterações em todas as instâncias pertencentes do projeto arquitetônico (planta baixa, cortes e fachadas). Segundo Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015), a modificação de um projeto elaborado nesta ferramenta necessita de alterações manuais das representações correspondentes.

De acordo com Coelho, Mattar e Novaes (2008) as ferramentas BIM utilizam medidas paramétricas dos elementos construtivos, possibilitando desenvolvimento de modificações dinâmicas das configurações gráficas, com reflexos nas demais informações, causando impactos significativos no processo de elaboração dos projetos arquitetônicos.

Os reflexos das modificações são instantâneos possibilitando maior agilidade no desenvolvimento dos projetos realizado com utilização da tecnologia BIM. Para Okamoto (2006), a forma convencional e linear de produção de projetos utilizando as ferramentas CAD, resulta em retrabalho, desperdícios, elevado custo da produção e baixa qualidade dos produtos finais, devido as inúmeras modificações dos desenhos produzirem erros que serão notados ao longo da construção da edificação.

Para Eastman et al. (2014), o processo de elaboração de uma edificação no

sistema CAD é fragmentado e depende da forma de comunicação baseadas em papel. Erros e omissões nos documentos em papel frequentemente resultam em custos imprevistos, atrasos e eventuais litígios judiciais entre os vários participantes de um empreendimento. Ainda que esses métodos produzam aumento no intercâmbio oportuno de informações, eles fizeram pouco para reduzir a gravidade e a frequência dos conflitos causados pelos documentos em papel.

Segundo Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015), a chegada da tecnologia BIM possibilitou um crescente, a partir do desenvolvimento da concepção dos projetos até a conclusão do mesmo, disponibilizando cambio de informações, ao decorrer do processo de desenvolvimento do projeto, com os integrantes internos e externos, mediante o armazenamento dos dados em um modelo central.

4. BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Segundo AIA (2008), a mudança do uso do CAD para o BIM abre novas oportunidades para o projeto e construção, e torna possível que a construção seja mais eficiente, pois cria uma interface que permite a produção e gerenciamento de toda a informação de projeto através de um modelo 3D do edifício com todas as disciplinas de maneira simples e fácil de compartilhar.

Para Protazio e Rego (2010), os programas fundamentados em BIM, na modelagem do projeto, concede propriedades aos objetos, como tamanho e revestimento, armazenando essas informações (figura 6) em computador central, e disponibilizando os acessos para todos os colaboradores no projeto, desde a criação até a conclusão do mesmo.

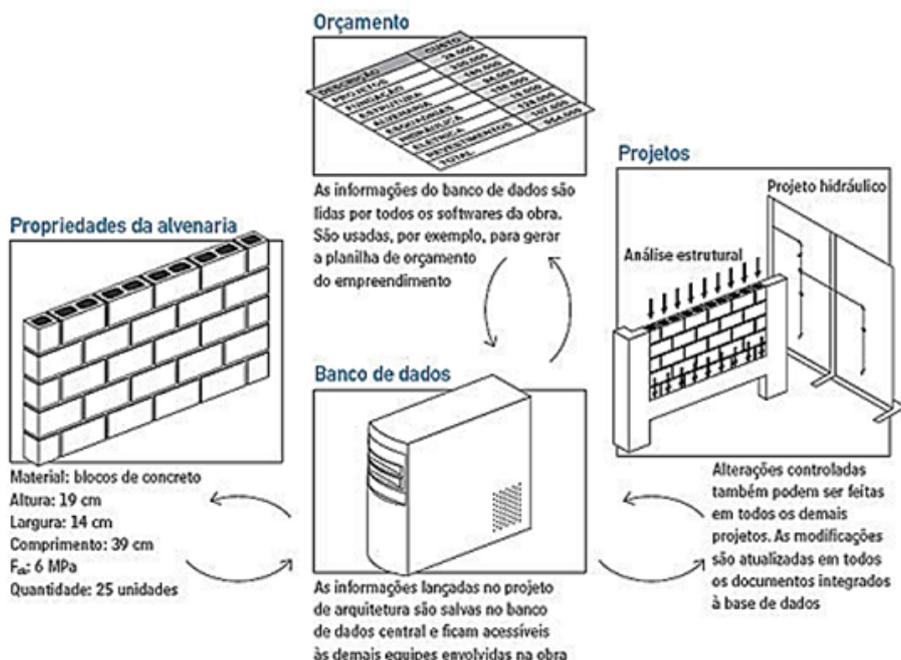


Figura: 6 – Fluxo de informações método BIM
Fonte: Faria (2008)

De acordo com Eastman et al. (2014), o BIM é essencial na viabilização do controle de fluxo por demanda para o detalhamento de sistemas, mecânicos, elétricos e hidráulicos, resultando em um alto grau de pré-montagem. Conforme Costa, Figueiredo e Ribeiro (2015) a tecnologia BIM, possibilita a integração dos projetos específicos em um modelo virtual que viabiliza as correções automáticas das dimensões. Com isso estabelece uma interoperabilidade dos projetos (figura 7), gerando diminuição de tempo, de gastos e erros.

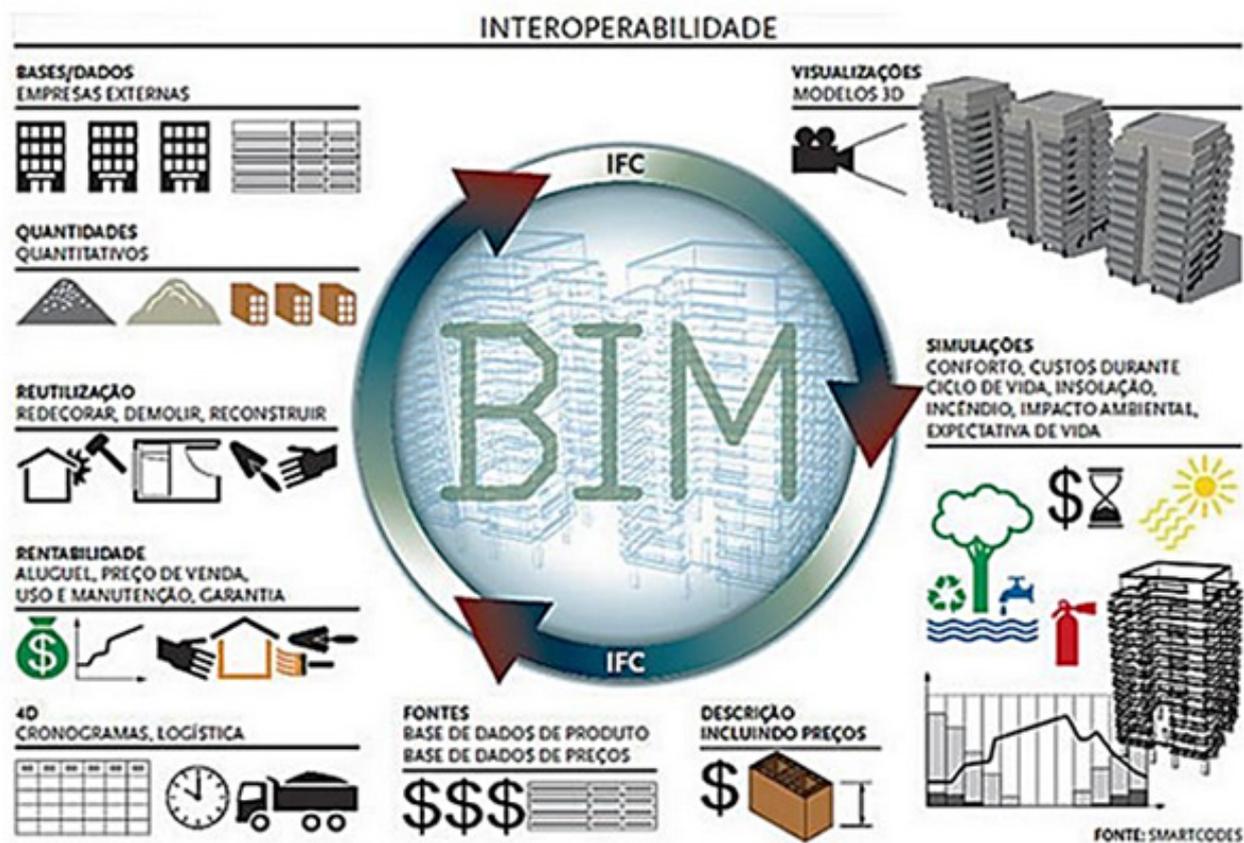


Figura 7 – Ilustração da interoperabilidade dos projetos
Fonte: PMKB

Segundo Eastman et al. (2014), a interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o projeto em questão, ela baseia-se tradicionalmente em intercâmbio de formatos de arquivos, como o drawing eXchange Format (DXF) e o Initial Graphics Exchange Specification (IGES), que intercambiam somente a geometria.

Os dois principais modelos de dados de produtos de construção são o Industry Foundation Classes (IFC), para planejamento, projeto, construção e gerenciamento de edificações, e o CIMsteel Integration Standard Version 2 (CIS/2), para engenharia e fabricação de aço estrutural (EASTMAN et al. 2008). Ambos representam geometria, relações, processos e materiais, desempenho, fabricação e outras propriedades necessárias para o projeto e a produção, usando a linguagem EXPRESS. A interoperabilidade identifica a necessidade de passar dados entre aplicações, para múltiplas aplicações contribuírem em conjunto com o trabalho a ser realizado, não necessitando de replicações para entrada de dados que já foram gerados,

facilitando fluxos de trabalhos.

Segundo Ferreira (2007), a ferramenta BIM contém geometria espaciais, referências geográficas, quantidades e características de elementos utilizados nas obras. Desta maneira, o projeto contempla uma gama de informações sobre cada etapa da edificação. O BIM proporciona ao usuário maior confiabilidade nos procedimentos realizados no desenvolvimento do projeto, devido a interligação das informações que são refletidas nas demais seções do projeto automaticamente, deste modo mitigando erros frequentes que ocorrem quando utilizado o sistema CAD.

De acordo com Schwegler et al., 2001, os dados devem ser compartilhados para serem úteis no contexto multidisciplinar e multifásico de projetos de construção, utilizando um fluxo de informações de maneira que reflita minuciosamente cada detalhe das etapas elaboradas. Essa é a parte crucial do gerenciamento da colaboração, a figura 11 obtida da galeria da AltoQI, apresenta a integração dos elementos dos projetos complementares (estrutural, elétrico e hidrossanitário).

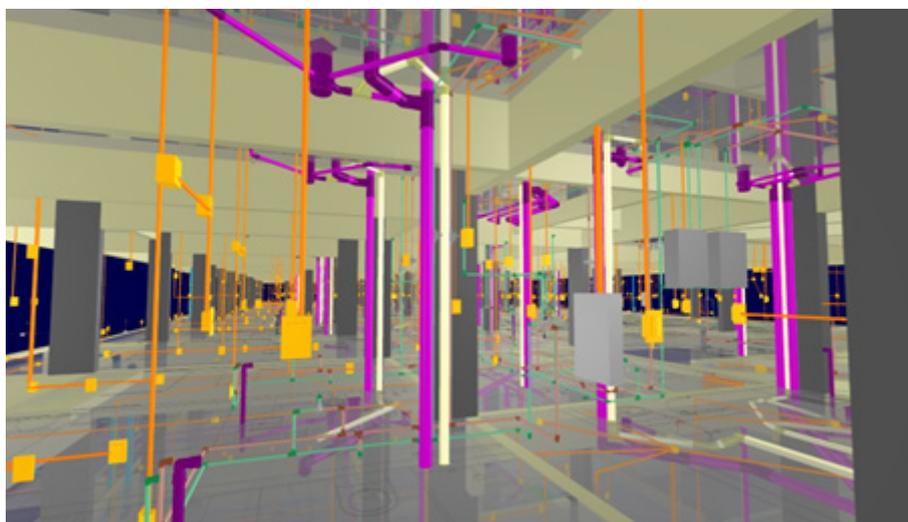


Figura 8 – Integração dos projetos complementares
Fonte: Galeria AltoQI

Para AIA (2008), a integração dos projetos permitirá que as organizações dividam o escopo de um projeto para alinhar os riscos e responsabilidades da melhor forma. Visualizando o desmembramento do escopo do projeto em várias “etapas” contextuais no contexto de modelos 3D e vendo a progressão destas “etapas” contextuais ao longo do tempo no modelo 4D, que provavelmente será uma ferramenta importante para o projeto, comunicação e gerenciamento da estrutura analítica do projeto, que pode ser acompanhado pelo software Navisworks (figura 9).

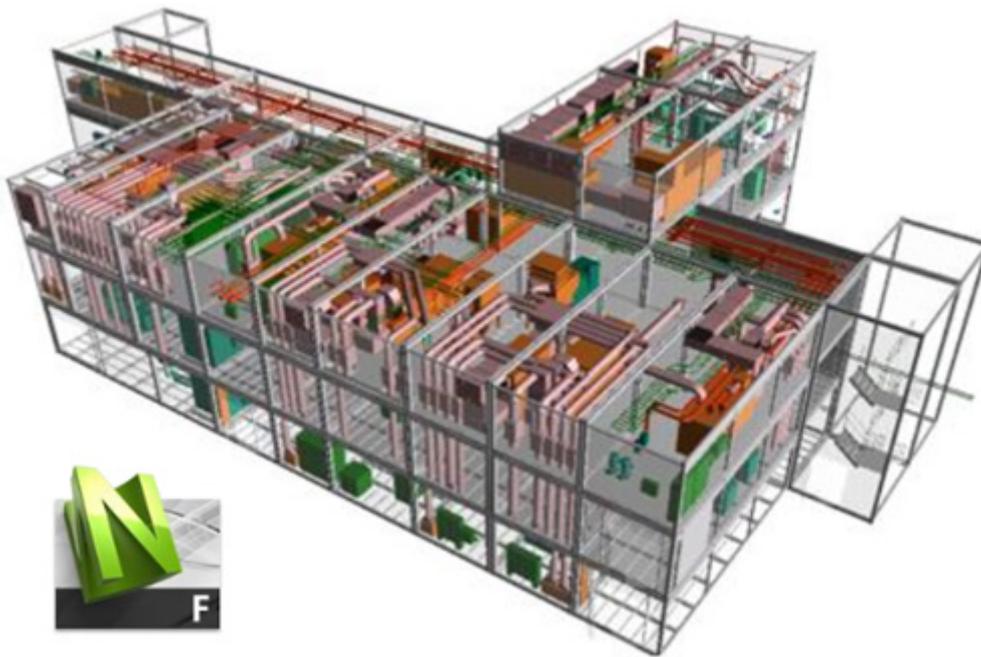


Figura 9 – Simulação software Navisworks
Fonte: Galeria projetos Autodesk

Segundo Schwegler et al. (2001) estas ferramentas não só permitem a rápida visualização do ambiente construído, eles também permitem o uso simultâneo e subsequente de 4D para o planejamento e gerenciamento da construção. Em essência, se o 3D é a maneira mais precisa para projetar o edifício acabado, 4D é a maneira mais precisa para projetar e visualizar o processo pelo qual os edifícios serão construídos. Essas ferramentas 4D comunicam um projeto e cronograma do projeto com mais eficácia do que desenhos 2D e cronogramas de barras.

De acordo com Akbas e Fischer (1999), simulações 4D avançadas estabelecerá tempos de produção e permitirá uma utilização mais eficiente do espaço, mesmo para as modalidades construção amadora, complexas, que criam por sua vez o fluxo necessário para o aumentado de credibilidade e volume de produção.

Conforme Eastman et al. (2014), a metodologia BIM concede benefícios expressivos, com referência à rapidez de limite para finalização dos edifícios com mais qualidade e performance. A tecnologia BIM, uma vez utilizada simultaneamente com as partes interessadas do projeto (arquiteto, engenheiro, proprietário e construtor), minimiza falhas e lacunas dos projetos e alterações em obra, gerando um progresso mais eficiente e confiável, que minimiza o prazo e minimiza os gastos com o empreendimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos avanços recentes e das alterações no cenário do mercado mundial, no setor industrial ainda aponta, não apenas no Brasil, mas também nos países desenvolvidos, uma categoria relativamente ultrapassada na utilização das modernas inovações disponibilizadas pela TI e comunicação.

Em relação aos processos de utilização da metodologia CAD e a metodologia BIM, entende-se que a modelagem das informações nos projetos possibilita uma melhora no controle sobre o andamento do mesmo, além de exibir uma precisão significativa, em referência a metodologia tradicional.

Porém, existe diversos obstáculos, o principal deles se refere à dificuldade dos sistemas BIM, em comparação as ferramentas CAD. De modo que aponta uma diversidade de parâmetros e requer entendimento específico, o conhecimento se torna de certo modo lenta. Outras implicações é a falta de colaboração das informações nas extensões mais utilizadas, como o .dwg. As ferramentas BIM, em sua maioria, utilizam a extensão .ifc, uma extensão própria de documentação.

Enfim, é possível concluir que a tecnologia BIM pode-se vislumbrar uma nova maneira de projetar no setor da construção civil. Esse método aponta vantagens relevantes em relação aos métodos tradicionais, evidenciando-se a precisão e a agilidade dos levantamentos.

Como trabalhos futuros sugere-se a realização de pesquisas a respeito da aplicação do BIM 5D o qual permite o incremento do orçamento com base no Modelo 3D, necessitando a criação do planejamento do projeto (BIM 4D), com a finalidade de apontar os pontos positivos e negativos da aplicação desta ferramenta.



Referências

- AKBAS, R.; FISCHER, M.A. (1999). "Examples of product model transformations in construction." **8dbmc, Durability of Building Materials & Components 8**, May 30 – June 3, Vancouver, BC, Canada, Volume 4, Information Technology in Construction, CIB W78 Workshop, NRC Research Press, Ottawa, 2737-2746. Disponível em: <<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2228.pdf>> Acesso em: 04 maio. 2019
- AYRES FILHO, C.; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: W.B.G.P.P da Construção de Edifícios. Curitiba, 2007.
- BAZZOTTI, C.; GARCIA, E. A importância do sistema de informação gerencial para tomada de decisões. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, Paraná, v. 6, n. 11, 2006. Disponível em: <<http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/VISeminario/Artigos>>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- BRASIL. Decreto n. 9377 de 17 de maio de 2018. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 18 maio. 2018. Seção 1, pt. 1, p. 3.
- BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria do Desenvolvimento e Competitividade Industrial. **ESTRATÉGIA NACIONAL DE DISSEMINAÇÃO DO BIM - ESTRATÉGIA BIM BR**. Brasília, DF, dez 2018. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/ce-bim>> Acesso em: 01 maio. 2019
- CÂNDIDO, A. G.; ABREU, A. F. O processo de implantação de novas tecnologias e a busca da sinergia entre indivíduo e organização. **Revista de Ciências da Administração** – v.4, n.08, jul/dez. 2002. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/issue/archive>> Acesso em: 28 mar. 2019
- COELHO, K. **Implementação da Modelagem da Informação da Construção em Empresa de Arquitetura: Estudo De Caso**. 2017. 286 p. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- COSTA, G. C. L. R.; FIGUEIREDO, S. H.; RIBEIRO, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia CAD com a tecnologia BIM. In: **Revista de Ensino de Engenharia**, 2015.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J. C. **Estudo da competitividade da indústria brasileira**. São Paulo: Papirus, 1995. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/ci000038.pdf>> Acesso em: 04 abr. 2019.
- DELATORRE, J. P. M.; SANTOS, E. T. **Introdução de novas tecnologias: O caso do BIM em empresas de construção civil**. XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Maceió, 2014.
- EASTMAN, C. M. et al. **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.
- EASTMAN, C. M. et al. **Manual de BIM [recurso eletrônico]: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- FARIA, R. Construção Integrada: Novos softwares permitirão que todas as equipes de engenharia e arquitetura trabalhem no mesmo arquivo eletrônico. Conceito promete revolucionar segmento de projetos. **Revista Techne**. Out. 2008 disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/127/artigo286443-1.aspx>> Acesso em: 01 maio 2019
- FERREIRA, S. L. **Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e vice-versa**. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2007, Curitiba. Anais... Curitiba, 2007.
- FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **ConstruBusiness 2001: 4º Seminário da Indústria Brasileira da Construção**. Documento Base – Propostas. São Paulo, 2001.
- FIESP- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Panorama da Indústria de Transformação Brasileira**. São Paulo, 2005.



GATES, Bill. A empresa na velocidade do pensamento: com um sistema nervoso digital. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.

FLORIO, W. **Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura**. In: Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil. Porto Alegre, 2007.

GONÇALVES, J. E. L.; GOMES, C. A. A tecnologia e a realização do trabalho. **Revista de Administração de Empresas**. V.33, n.1, pag. 106-121, jan/fev 1993. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0034-75901993000100010>. Acesso em: 25 mar. 2019.

HILGENBERG, F. B.; ALMEIDA, B. L.; SCHEER, S.; AYRES FILHO, C. Uso de BIM pelos profissionais de arquitetura em Curitiba. In: **Revista Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Paulo, SP: USP, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Contas Nacionais**. Diretoria de Pesquisas. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 29 mar. 2019.

JUSTI, Alexander Rodrigues. IMPLANTAÇÃO DA PLATAFORMA REVIT NOS ESCRITÓRIOS BRASILEIROS: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA. **Revista USP, Gestão & Tecnologia de Projetos**. Vol. 3, n? 1, maio de 2008.

LIMA, C. C. N. ALVES DE. **Autodesk Revit Architecture 2015: conceitos e aplicações**. 1 ed, São Paulo: Érica, 2014.

MENEGARO, B. F; PICCININI, A. C. **Aplicação da metodologia bim (building information modeling) no processo de projeto, com foco em compatibilização**. 2017, curso de engenharia civil da unesc.

NEWTON, P. **Diffusion of IT in the Building and Construction Industry**. In: BUILDING FORGROWTH INNOVATION FORUM, 1998, Sydney.Proceedings... Sidney: ITR, 1998. Disponível: <<http://www.isr.gov.au/industry/building/invforum/>> Acesso em: 27 jan. 2019.

NUNES, G. H; LEÃO, M. Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM. **Revista de Engenharia Civil**. 2018, No. 55, 47-61

SCHWEGLER, B. R., FISCHER, M. A., O'CONNELL, J. M., HÄNNINEN, R., LAITINEN, J. **Near- Medium- and Long-Term Benefits of Information Technology in Construction**. CIFE Working Paper #65July, 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.596.5300&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 01 abr. 2019

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO À MICRO E PEQUENA EMPRESA - MINAS GERAIS - SEBRAE-MG. Minas Gerais. **Perfil Setorial da Construção Civil**, 2005. Disponível em: <<http://www.sebrae-mg.com.br>> Acesso em 31 mar. 2019.

TOBIN, J. **Proto-Building: To BIM is to build**. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding.html>>. Acesso em: 29 de maio de 2008.



CAPÍTULO 5

A IMPORTÂNCIA DO CAD E CAE NO GPEAA

**Felipe dos Santos Azevedo
Carlos César Almeida Aranha Júnior
Patrício Moreira de Araújo Filho**

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar através da criação do protótipo do Aeromodelo do GPEAA o quão importante e necessário a utilização de softwares do tipo CAD e CAE no GPEAA e na indústria, apresentando a funcionalidade do Inventor e do Solidworks (sendo estes os programas utilizados para fazer este artigo). Sendo a conclusão o porquê se deve usar tais programas.

Palavras- Chaves: CAD, CAE, Solidworks, GPEAA.

Abstract

The present work aims to present, through the creation of the GPEAA Model Airplane prototype, how important and necessary the use of CAD and CAE software in GPEAA and in the industry, presenting the functionality of Inventor and Solidworks. The conclusion being why you should use such programs.

Keywords: CAD, CAE, Solidworks, GPEAA.

1. INTRODUÇÃO

A criação do CAD ou "Desenho Auxiliado Por Computador" data deste os anos 50 com o surgimento de protótipos e máquinas para ajudar no desenvolvimento de projetos relacionados a redes elétricas. Na década posterior as ferramentas CAD através de softwares começaram usadas para desenvolver e projetar aviões, carros e componentes eletrônicos, um dos programas usado como base para outro, foi o UNISURF, desenvolvido pelo engenheiro francês Pierre Bézier, da fábrica de carros Renault.

Assim em 1982 surgiu a empresa Autodesk com o seu software AutoCAD em 2D, posteriormente o ela lançaria o Inventor em 1999, nesta época a outra empresa focada nesse ramo de softwares em CAD a Dassault Systèmes, dona do SolidWoks e CATIA, surgiu tendo os seus programas em desenhos 2D e 3D.

Atualmente as grandes empresas nesse ramo são a Autodesk e a Dassault Systèmes, tendo os seus programas em milhares de empresas para ajudar na hora de criar e projetar aeronaves, carros e objetos para o nosso dia-a-dia.

Tendo o termo CAM e CAE surgido recentemente, o termo CAM ou "Computer-Aided Manufacturing" significa Manufatura Assistida por Computador e é mais voltado para a área de controle de ferramentas de máquinas e equipamentos relacionados aos processos de fabricação, como uma cortadora de chapas a plasma. Já



o termo CAE ou “Computer-Aided Engineering” ou engenharia assistida por computador serve para a análise da peça antes mesmo da fabricação, exemplo teste de estresse e forças em uma estrutura de ponte em treliça.

Podemos dizer que o CAD, CAM e CAE estão interligados pois, CAM é um processo assistido por computador subsequente ao CAD e, por vezes, posterior à engenharia assistida por computador (CAE) - como um modelo gerado em CAD, verificado em CAE e gerando a entrada para o software CAM, que controla máquina-ferramenta.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste artigo se baseia na experiência do autor no uso e vivência dele com o programa Inventor 2018 e Solidworks 2016 das empresas Autodesk e Dassault Systèmes, sendo estes CAD e CAE, pois possibilita a criação da peça e a simulação da mesma quando submetidas a esforços do dia-a-dia. E assim dar um parecer do quão agradável e vantajoso o uso deles nos projetos e na criação do Aeromodelo no Grupo de Pesquisa em Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial, GPEAA. Tal artigo mostra a visão e a vivência do autor a respeito dos Softwares.

3. DISCUSSÃO

Na criação do protótipo do Aeromodelo no Inventor foi usados bastante os recursos de esboços tanto os 2D como o 3D que o programa apresenta, assim como os recursos de modelagem como: Extrusão para criar a profundidade no esboço feito (figura 4), casca para deixar um material vazado a partir do esboço extrusão, furo e rosca para criar a “base” para rosquear um parafuso além da ferramenta de projeção de plano (figura 2), que visa criar outro plano deslocado para frente ou para trás dos planos base, que são XY (Frontal), YZ (Direita) e XZ (Topo) (como pode se ver na figura 1).

3.1 Inventor

O software usado para a criação do protótipo do Aeromodelo do GPEAA foi o Inventor da Autodesk, mais especificamente o Inventor 2018. A escolha pelo uso desse programa foi devido ao fato dele ter os mesmos recursos (*features*) do seu concorrente o Solidworks, porém com o diferencial de ter a versão para estudantes com uma licença de 3 anos grátis.



Partindo para a criação do modelo do Aeromodelo o uso do Inventor facilitou em muito visualização e a ideia do que se quer construir, através de suas ferramentas e recursos como a inserção de materiais como tubulações das mais diversas regulamentações como ISO, DIN, STN, entre outros (figura 2). Sem falar das ferramentas para a modelagem, montagem do aeromodelo já pronto e de sua simulação de cargas, estresses e forças que um corpo está sujeito no dia-a-dia da sua atuação.

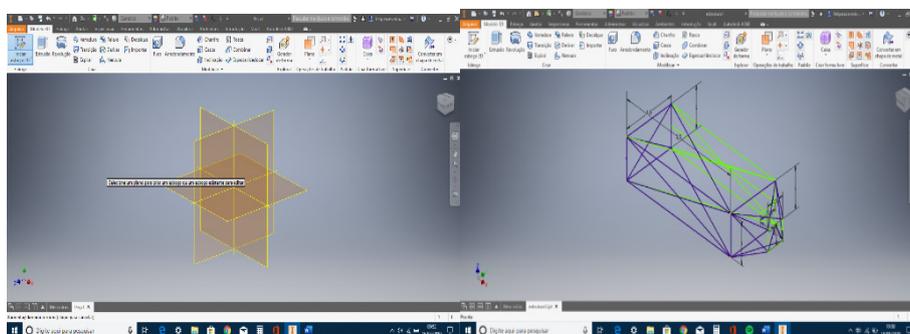


Figura 1: Escolha do plano para o desenho 2D (direita) e o desenho já feito utilizando o plano 2D e 3D (esquerda).
Fonte: o autor

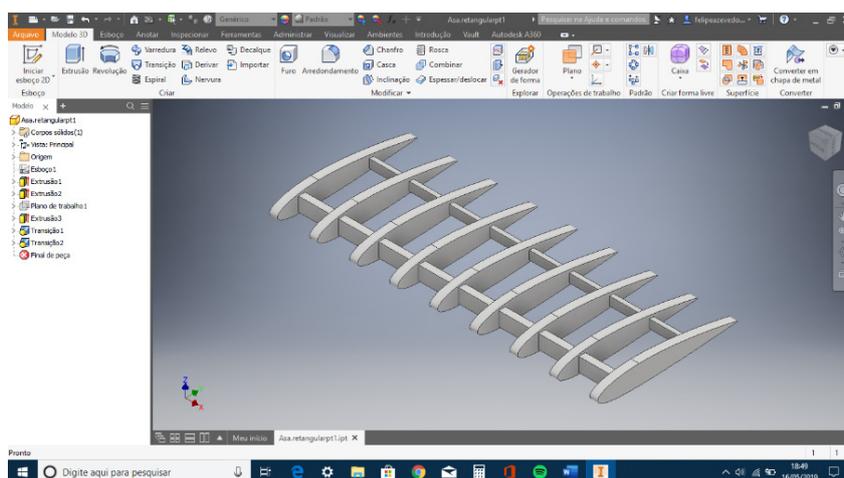


Figura 2: Esboço extrudado feito com a ferramenta de deslocamento de plano.
Fonte: o autor

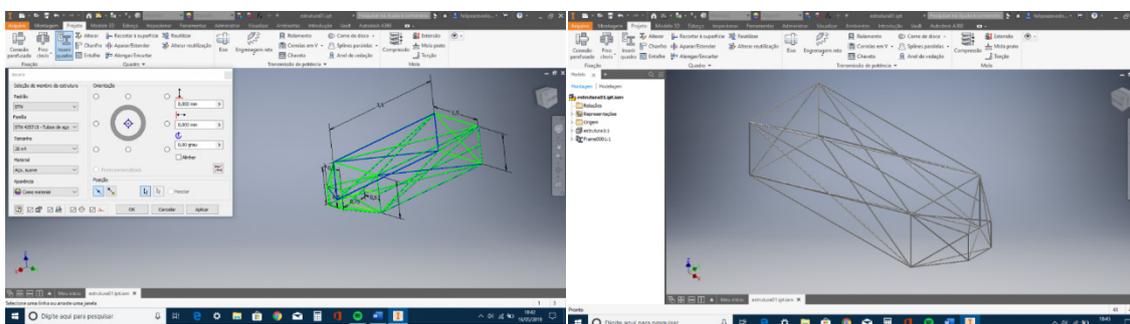


Figura 3: Esboço da estrutura recebendo os tubos (direita) e parte de montagem já com a estrutura de tubos (esquerda).
Fonte: o autor

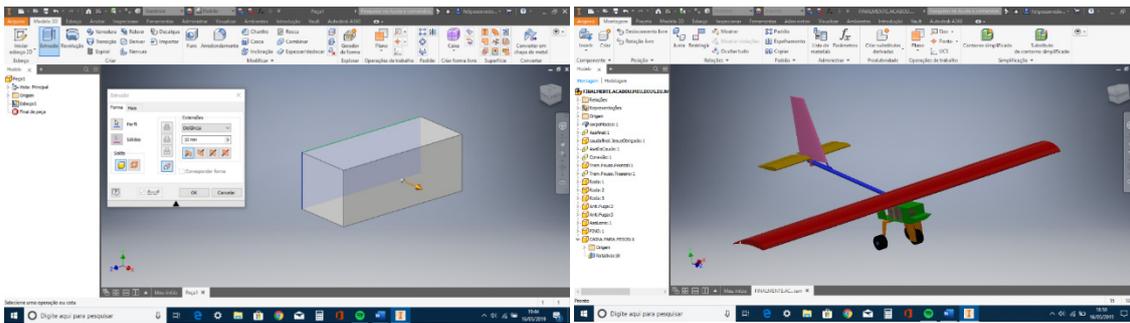


Figura 4 : Esboço 2D recebendo o comando de extrusão (direita) e Protótipo já pronto (esquerda).
Fonte: o autor

3.2 Solidwoks

Não houve o uso do Solidwoks na criação do Aeromodelo, pois o computador não estava mais conseguindo suportar o programa, porém o autor deste artigo no curto período de usabilidade deste software teve bom proveito de uma excelente base para o uso deste programa em futuros projetos. Tal software possui uma interface muito similar a do Inventor, com diferenciais como agrupamento e organização dos recursos do software na hora de se começar um esboço e modelar a estrutura em seguida, como pode se ver nas figura 5.

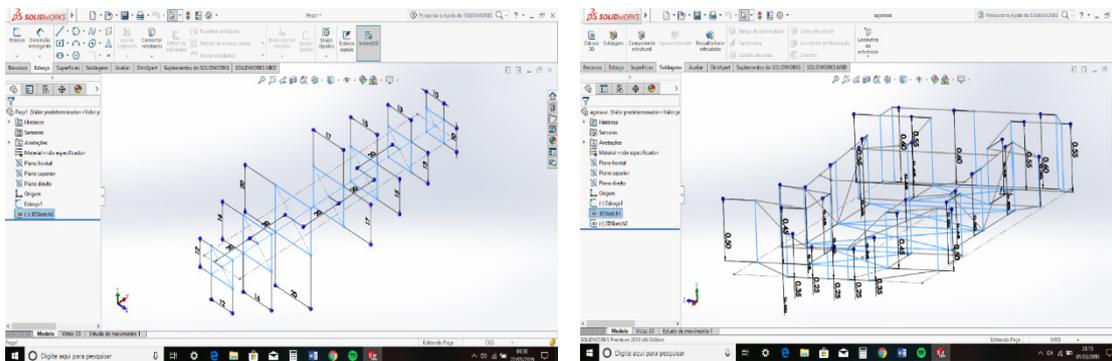


Figura 5: 2 Esboço criado em 3D (direita) e Esboço criado em 2D e 3D.
Fonte: o autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar do autor ter familiaridades com ambos os softwares, um mais que o outro, fica claro que os dois programas cumprem exatamente o que lhe é proposto em termo de projetos, mesmo ambos os softwares se sobressaindo em certos pontos como: um ter mais variedades de simulações, outro ser mais completo em termo de recursos para criação de peças. Os dois são completos e atendem o que lhe é pedido, com algumas ressalvas.

Tais ressalvas são, na edição do Inventor 2018 utilizada, não se tinha a aba

ou não se achou a aba análise/simulação de estresse, tal importuno se acredita ser por conta de versão ser de estudante e não a profissional. Outro infortúnio se deve ao programa da Dassault Systèmes não ter a versão para estudante com uma licença de 3 anos grátis, fazendo com que a pessoa que opte por ele a recorrer a meios ilícitos para adquirir o software.

Cabe ressaltar que vantagem do Inventor sobre o Solidworks se dar por conta do licenciamento de 3 anos grátis para estudante e por conta de alguns recursos a mais do que o solidworks como a adição de tubulações e vigas para futuras análises e simulações.

5. CONCLUSÃO

De ante todos os fatos mostrados no presente trabalho, a importância de softwares CAD e CAE para o GPEAA e para a indústria em si é real pois, tem se um ganho no tempo entre produzir e testar e um corte nos gastos na fase de testes.

Referencias

A.D.RENATO.J. AutoCad, Engenharias e Arquitetura. **JRRIO**, 2017. Disponível em: <<https://www.jrrio.com.br/software/autocad.html>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

BALADI, Carolina. A Importância do AutoCAD para Estudantes de Engenharia. **4Partner**, 2015. Disponível em <<https://blog.4partner.com.br/importancia-autocad-para-estudantes-engenharia/>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

CAD Reviwe: Autodesk Inventor VS Solidworks. **RedStack**, 2017. Disponível em: <<https://www.redstackshop.com.au/cad-review-autodesk-inventor-vs-solidworks>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

DIETRICH.V. L, Gustavo. A História do CAD. **RenderBlog**, 2014. Disponível em: <<https://blog.render.com.br/cad/a-historia-do-cad/>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

LEÃO, Lucas. CAD, CAE e CAM: Qual a Diferencia?. **E3.Series**, 2016. Disponível em: <<https://www.e3seriescenter.com/blog-engenharia-eletrica-moderna/cad-cae-e-cam-qual-a-diferenca>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

LEÃO, Lucas. CAD, CAE e CAM: Qual a Diferencia?. **E3.Series**, 2016. Disponível em: <<https://www.e3seriescenter.com/blog-engenharia-eletrica-moderna/cad-cae-e-cam-qual-a-diferenca>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

REIS, Cléber. Importância do AutoCAD na Engenharia e Arquitetura. **Plataforma CAD**, 2017. Disponível em: <<https://www.plataformacad.com/importancia-do-autocad/>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

RANGEL, Érique. A Importância do AutoCAD na Engenharia. **RFEngenharia**, 2017. Disponível em: <<https://rfprojetos11.wixsite.com/rfengenharia/single-post/2017/01/10/autocad-na-engenharia>>. Acesso em 15 de maio de 2019.



CAPÍTULO 6

PLANO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO APLICADO A EQUIPAMENTOS DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO MARANHÃO

Arthur Freire Santos de Freitas

Felipe Fonseca Barth

Gleudson Abreu de Jesus

Marcelle Fernanda Magalhães Silva

Marcus Diego S. Santos

Josinaldo Pereira Marques

Thauan Costa Cunha

Wellington da Silva Santos

Resumo

As indústrias buscam alcançar resultados, aplicando o que chamamos de ferramentas quantitativas e qualitativas implantada pelo pela Análise de Modo e Efeito de Falhas - FMEA. Logo este trabalho visa aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC), mostrando-a como abordagem de importância estratégica às organizações que almejam um referencial eficiente em suas atividades de manutenção assim como: maior segurança humana e ambiental, alto nível de suas operações, criação de uma documentação cronológica e consultável das atividades de manutenção, motivação no trabalho em equipes, tendo como base a criação de um Plano de Manutenção preditiva total, otimizado para auxiliar no processo produtivo de uma indústria de Papel e Celulose no Maranhão. Sua aplicação dentro deste sistema produtivo possibilitará a criação de um planejamento preventivo que ajudará em um melhor aproveitamento do uso dos equipamentos, reduzindo os custos, desperdício de insumos, e como resultado final, maior lucratividade para a indústria.

Palavras-chave: Plano de Manutenção, FMEA, Indústria de Papel e Celulose.

Abstract

The industries seek to achieve results, applying what we call quantitative and qualitative tools implemented by the Analysis of Failure Mode and Effect - FMEA. Therefore, this work aims to apply reliability-centered maintenance (MCC), showing it as an approach of strategic importance to organizations that aim for an efficient reference in their maintenance activities as well as: greater human and environmental security, high level of their operations, creation chronological and consultable documentation of maintenance activities, motivation to work in teams, based on the creation of a total predictive Maintenance Plan, optimized to assist in the production process of a Pulp and Paper industry in Maranhão. Its application within this productive system will allow the creation of a preventive planning that will help in a better use of the equipment, reducing costs, waste of inputs, and as a final result, greater profitability for the industry.

Keywords: Maintenance Plan, FMEA, Pulp and Paper Industry.



1. INTRODUÇÃO

Em um mundo altamente globalizado e competitivo faz com que as indústrias adotem tecnologias de ponta voltadas para o planejamento e controle da manutenção. São grandes os desafios impostos pelo mercado e para que isso seja alcançado elas precisam adotar tais medidas. Buscam sempre conhecer neste mundo vasto da Gestão da Manutenção, para atender as demandas do mercado com qualidade e eficiência. Entretanto, por esta razão, os equipamentos por sua vez, são as peças mais importantes dentro de uma indústria, pois são eles que movimentam todo processo produtivo. A ação do tempo faz com que inúmeros equipamentos venham sofrer com desgastes, reformas, substituições para continuar desempenhando suas funções com qualidade. Consequentemente tudo isso envolverá custos e um gerenciamento para maximizar a geração de resultados e aumento de vida útil dos equipamentos.

As indústrias por sua vez, buscam métodos e padrões de ferramentas que assegure seus processos, que venham aperfeiçoar seus recursos existentes e estabelecer ações preventivas. Os planos de manutenções são usados para garantir um bom funcionamento dos mesmos e evitar lacunas que prejudiquem direto ou indiretamente a disponibilidade dos equipamentos, consequentemente sua produção.

Por fim, o presente trabalho tem seu principal objetivo elaborar a implantação de um Plano de Manutenção centrado em confiabilidade adequado em uma indústria do ramo de papel e celulose no Maranhão, identificando possíveis falhas dentro da fabricação de papéis.

Busca-se alcançar maior aproveitamento das ferramentas existentes e aprimorar o estudo da Análise de Modo Efeito e Falhas - FMEA, aumentando sua confiabilidade e funcionalidade dentro do processo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR – 5462/1994, a manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

De acordo com MORO, AURAS (2007, p.7) A manutenção pode ser considerada o conjunto de cuidados técnicos que garantem o funcionamento regular de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações.

A seguir destacamos os tipos de manutenções: preditiva, corretiva, preventi-



va, manutenção preditiva total.

A manutenção preditiva é o método de verificar as reais condições das peças e dos componentes de uma determinada máquina, equipamento e instalações, esse tipo de manutenção baseia-se em inspeções periódicas nos quais fenômenos como temperaturas, ruídos e vibração, são observados através de instrumentos ALMEIDA (2007, p.23)

A manutenção corretiva é uma atividade de reparação realizada para amenizar uma falha potencial do ativo ou corrigir deficiências encontradas durante as tarefas de manutenção preventiva e manutenção preditiva (OLIVEIRA, 2017, p.9, *apud*, GULATI, 2009; KARDEC & LAFRAIA, 2002, p.10)

A manutenção preventiva consiste no conjunto de operações e ações antecipadas, cujo o foco visa manter a máquina em funcionamento. De acordo com ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR – 5462/1994, a manutenção preventiva, é efetuada em intervalos estabelecidos de acordo com critérios, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação de um item do sistema.

A Manutenção Produtiva Total - (TPM) abrange manutenção preditiva e preventiva incluindo treinamentos aos operadores, que passam a auxiliar as atividades de manutenção, e busca máxima eficiência no sistema produtivo, eliminando perdas.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade teve origem relacionada aos processos tecnológicos desenvolvidos após a Segunda Guerra Mundial, às pesquisas bélicas americanas, à contribuição do avanço da automação industrial em grande escala e ao desenvolvimento da informática e dos meios de comunicação ALMEIDA (2007, p. 26)

De acordo com Fogliatto (2009, pág.27) a MCC (manutenção centrada em confiabilidade) é um programa que reúne várias técnicas e ferramentas da engenharia com o objeto de manter os equipamentos de uma planta fabril nas condições de realizar suas funções específicas, aumentar a disponibilidade dos equipamentos, reduzir custos com acidentes e defeitos, reparos e substituições.

As falhas são ocorrências que determinam a inadequação de um recurso para o uso em um determinado processo (OLIVEIRA; PAIVA; ALMEIDA, 2010, p.77). Há falhas que podem acontecer por alguma circunstância do processo, podendo ser tratadas com naturalidade, como por exemplo, a queima da luz interna de um automóvel. Por outro lado, em alguns casos, se a falha ocorrer pode ser crucial, como por exemplo, aviões em voo, eletricidade em hospitais e frenagem de um veículo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002)

Segundo Pinto e Xavier (2001), o conceito de quanto mais velho for o componente mais irá falhar, não é verdadeiro. Este conceito pode ser aceito quando se tem partes em contato com produtos, como exemplo bombas, correias, porém, isso se denomina como modo de falha.

A Análise de Modo Efeito e Falhas - FMEA é uma importante técnica que iden-



tifica falhas conhecidas ou potenciais para aumentar a confiabilidade e segurança de sistemas complexos, e assim, destina-se a fornecer informações utilizadas na decisão a respeito da gestão de riscos. Liu, H. C., Liu, L. e Liu, N (2013), definem o FMEA como uma ferramenta de avaliação de risco que mitiga potenciais falhas em sistemas, processos, projetos ou serviços.

Assim, o objetivo do FMEA é priorizar os modos de falha do produto ou do sistema, a fim de, atribuir recursos limitados aos itens de risco grave. Em geral, a priorização dos modos de falha para ações corretivas é determinada através do Número de Prioridade de Risco (RPN), onde é obtido através da multiplicação dos valores atribuídos para à gravidade, ocorrência e detectabilidade de uma falha.

O processo FMEA é composto por cinco passos, os quais são: escolher um processo a ser estudado, montar uma equipe multidisciplinar, coletar e organizar as informações sobre o processo estudado, realizar a análise de falhas, e por fim, desenvolver medidas corretivas (CHIOZZA, PONZETTI, 2009; CICEK, CELIK, 2013).

Os estudos da FMEA têm uma origem cíclica, pois no cenário atual com constantes inovações, mudam-se as especificações, materiais e novas tecnologias. Isso faz com que a ferramenta de análise e modo de falha se torne mais importante (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), através da NBR 5462 (1994, texto digital), adota a sigla originária do inglês FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Segundo a norma é um método qualitativo de análise de confiabilidade, onde são estudados os modos de falhas que cada componente pode ter e os efeitos que podem gerar no item e no conjunto.

3. METODOLOGIA

Segundo Strauss & Corbin (1998), o método de pesquisa é um conjunto de procedimentos e técnicas utilizados para se coletar e analisar os dados. O método fornece os meios para se alcançar o objetivo proposto, ou seja, são as “ferramentas” das quais fazemos uso na pesquisa, a fim de responder nossa questão.

Para Fonseca (2002), *methodos* significa organização, e *logos*, estudo sistemático, pesquisa, investigação; ou seja, metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência. Etimologicamente, significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para fazer uma pesquisa científica.

Essas pesquisas visam identificar, expor e explicar possíveis variáveis que estão inseridas dentro do processo produtivo e trazendo melhorias contínuas.



A pesquisa abordada tem caráter bibliográfico, visto que foram recorridos meios como revistas, artigos, livros, teses, e outros elementos para fomentar e agregar mais valor ao trabalho desempenhado.

4. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A indústria Suzano Papel e Celulose localizada em Imperatriz – MA é uma empresa brasileira produtora de papel e celulose. É a maior produtora global de celulose e eucalipto e uma das dez maiores de celulose de mercado, além de líder mundial do mercado de papel, com cerca de 60 marcas em quatro linhas: cetsize, revestidos, não revestidos e papel-cartão.

A empresa tem capacidade de produção de 1,65 milhão de toneladas de celulose por ano e 60 mil de papéis sanitários, desde que a SUZANO chegou à região, já contribuiu com um aumento de 71% no PIB per capita da cidade, além de promover o aumento nas exportações do município, fazendo com que Imperatriz ocupe atualmente a 59ª posição entre os municípios que mais exportam no país.

5. PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CELULOSE

O processo de produção segue as seguintes etapas: Preparação da madeira, cozimento, pré-lavagem e depuração, deslignificação com oxigênio, pós-lavagem, branqueamento e após este a secagem ou máquina de papel. Conforme figura 1. Não sendo objeto deste trabalho fornecer uma descrição completa e detalhada destes processos, nos atemos a aplicação da manutenção centrada em confiabilidade e suas ferramentas aplicadas ao processo de depuração.

Conforme Fogliatto (2009, pág.224) a aplicação do FMEA inicia da identificação da funcionalidade de cada sistema, sendo esta a razão de sua instalação, tendo como objeto principal a preservação de sua função, em seguida deve ser identificado seus respectivos componentes ou subsistemas determinando seus modos de falhas, causas da falha e seus respectivos efeitos.

A depuração é subdividida em duas etapas: depuração primária e secundária. Depuração primária realizada pelo classificador vibratório consiste em mecanismos de vibração excêntrica com o objetivo de desfazer o colchão de poupa e impedir eventuais entupimentos da peneira, destina-se a remover fibras longas, cavacos, palitos, cascas e outros rejeitos com tamanho superior a 10mm. A depuração secundária é realizada no depurador pressurizado, equipamento com função de separar fibras com tamanho superior a 0,76 mm, após a depuração a polpa é conduzida para o engrossador e demais etapas da indústria.



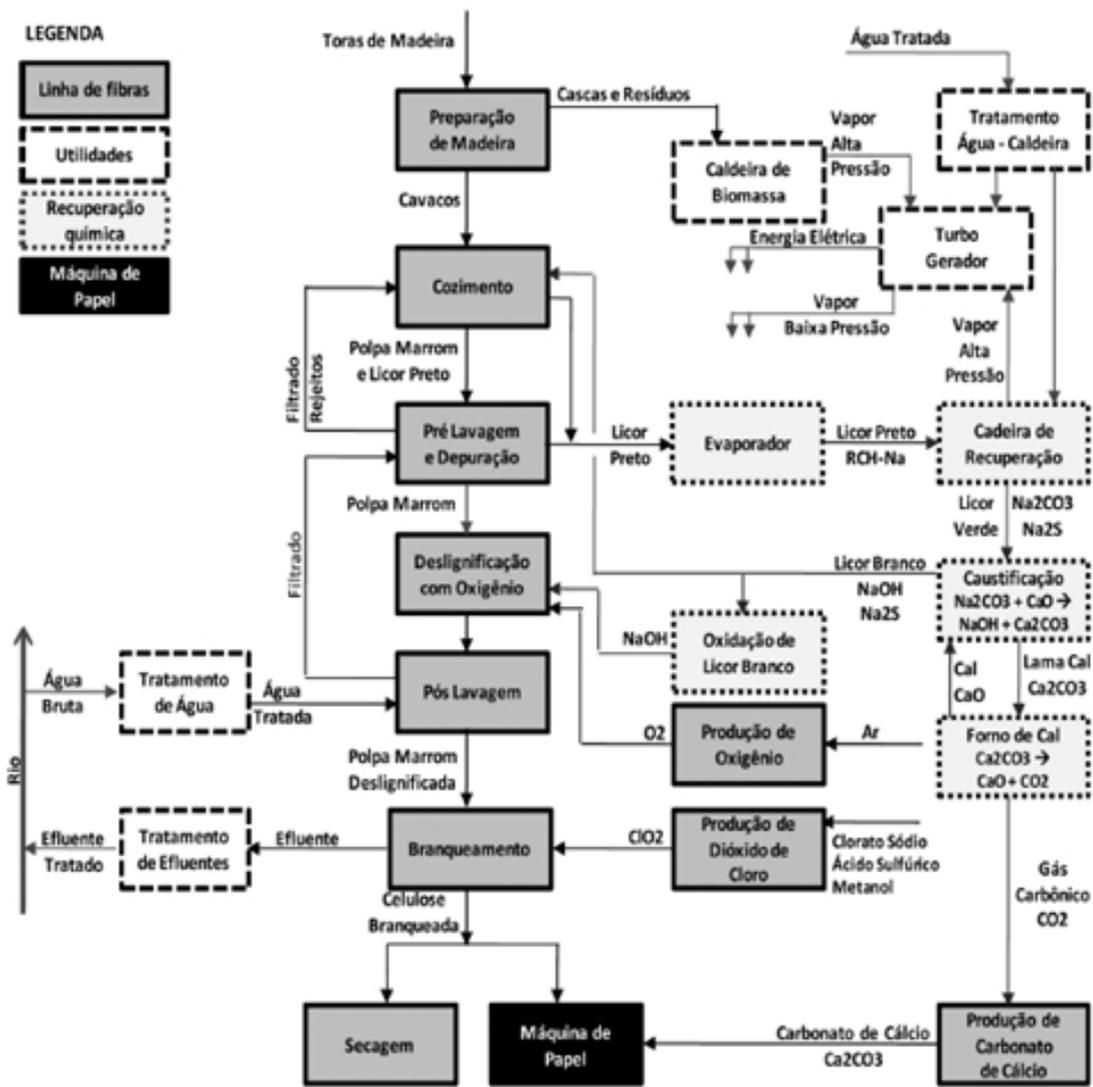


Figura 1- Processo de produção de papel e celulose
 Fonte: Moraes (2011).

A seguir Figura 2 - realça os sistemas abordados acima, e objetos de FMEA:

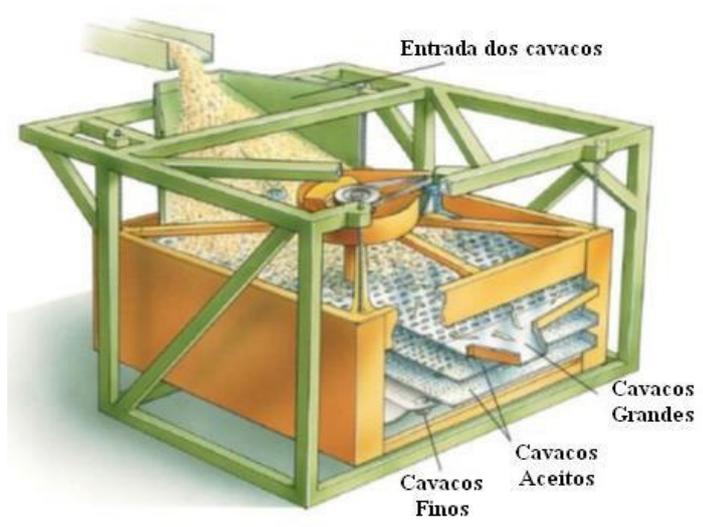


Figura 2- Classificador vibratório.
 Fonte: Passini (2017).

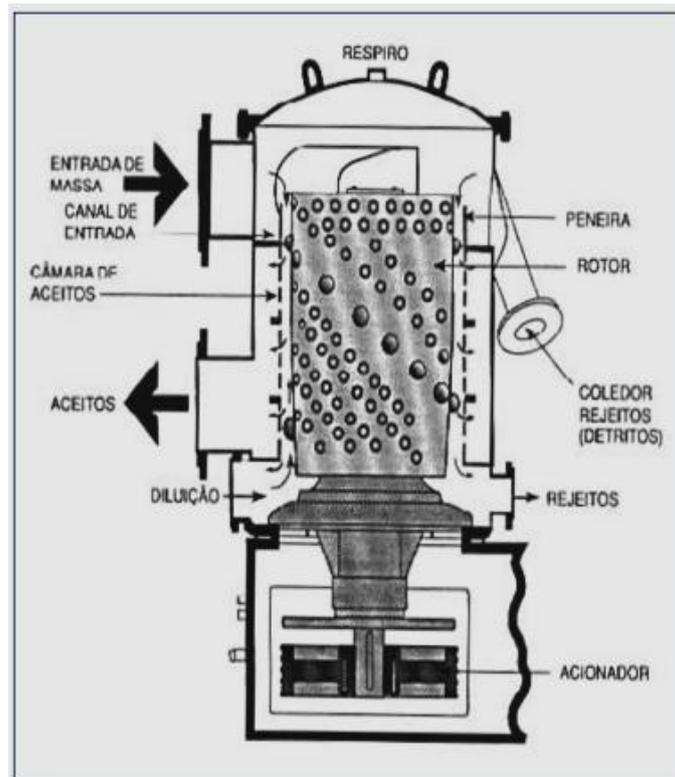


Figura 3- esboço o depurador pressurizado
Fonte: Camargo (2012).

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir das informações coletadas, observou-se que a empresa em questão possui um plano de manutenção vigente, atualmente ela realiza periodicamente manutenções corretivas e preventivas em seus equipamentos, que conseqüentemente não ocasionam depreciação dos mesmos. Foram selecionados para esse estudo dois equipamentos que estão diretamente ligados ao processo de transformação dos insumos como o Classificador Vibratório e Depurador Pressurizado. Foram realizados o FMEA, procedimentos de manutenção do plano, Plano de Controle de Manutenção Anual (PCM), programação da manutenção, bem como recursos inerentes aos custos, previsão de indicadores da manutenção.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462. confiabilidade e Manutenibilidade**. Apresentação. Rio de Janeiro, 1994a
- ALMEIDA, P, Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada** Editora Érica - 1a Edição, 2007, pag.26. Acesso em: 03 dez. 2019.
- CABRAL, José Paulo Saraiva. **Organização e gestão da manutenção**. Lisboa: Lidel, 2006.
- CAMPOS, Vicente Falconi. TQC: **controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 5. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.
- COUTO, Boanerges do Amaral; MARASH, I. R. **Gestão por processos em sistemas de gestão da qualidade: conceitos, métodos e ferramentas para a melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009, p.27.
- FILHO, G. B. Dicionário de Termos de Manutenção, **Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006.
- HARRINGTON, James; LISKE, Luiz. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron, 1993. Acesso em:
- JURAN, J. M. **Controle de qualidade: componentes básicos da função qualidade**. São Paulo: Mcgraw-Hill/Makron, 1991. Acesso em: 10 abr. 2019
- MORO, AURAS, **Princípios Técnicos e Operacionais**. Florianópolis, 2007, p.7. Disponível em < <http://www.norbertoceftsc.pro>>. Acesso em 03/12/2019
- OLIVEIRA, Ualison Rebulade; PAIVA, Emerson José de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas**. Revista Produção, v. 20, n. 1, p. 77-91, 2010. Disponível em: Acesso em: 01 abr. 2019.
- PEREIRA, Mario J. **Engenharia de Manutenção: teoria e prática**. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna, 2009.
- PINTO, Alan Kardec; Júlio de Aquino Nascif, BARONI, Tarcísio D'Aquino. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- PYZDEK, Thomas; KELLER, A. Paul. **Seis Sigmas: Guia do profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes em todos os níveis**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2005, 408p.
- VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em administração**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1998. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/MentesEmRede/130890210-vergarasylviaconstan-tprojetoserelatoriosdespesquisaemadministracao>> Acesso em: 26 novembro. 2019.
- XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- XENOS, Harilaus Georgius D'Philippus. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.



ANEXO

QUADRO 1- Modelo Ordem de Serviço (O.S) de manutenção da fábrica, Fonte: Os autores (2020).

ORDEM DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO
FÁBRICA DE CELULOSE E PAPEL

Nome do Requisitante: _____ Data: ____/____/____

Setor Requisitante: _____

Ramal: _____

Serviço a executar: _____



PARA USO DA MANUTENÇÃO

Nº DO PEDIDO: _____

Materiais necessários: _____

Autorização: _____ Data: ____/____/____

Serviço Executado por: _____ Data: ____/____/____

Serviço

Recebido por: _____ Data: ____/____/____



OS n°			
Tipo de OS:		Aberta por:	
Data de Abertura:			
Solicitação:			
Solicitante:			
Setor:			
Contato:		Telefone:	
SERVIÇO SOLICITADO:			
Servidor Designado:		Visto:	
Data da Designação: / /20			
Servidor(es) Executor(es):			
Material(is) Utilizado(s)			
Qtd.	Un.	Descrição	
Tipo de Serviço: () Corretiva () Preditiva () Melhoria () Outros: _____			
Controle de Ocorrência			
SERVIÇO A EXECUTAR		SERVIÇO EXECUTADO	
	Início Fim	Início Fim Local de chegada	
	: h : h	: h : h	
	: h : h	: h : h	
Controle de Execução de Serviço (Ocorrência)			
Data	Início Fim	Declaração	Carimbo e Ass. do Declarante
/ /20	: h : h	Confirmo as informações de execução anotadas nesta data.	
/ /20	: h : h	Confirmo as informações de execução anotadas nesta data.	
/ /20	: h : h	Confirmo as informações de execução anotadas nesta data.	
/ /20	: h : h	Confirmo as informações de execução anotadas nesta data.	

QUADRO 2- Modelo Ordem de Serviço (O.S) de manutenção para início de uma tarefa
 Fonte: Os autores (2020).

FMEA PARA PLANO DE MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA ETAPA DE DEPURAÇÃO NA FABRICA DE CELULOSE E PAPAEL

ANALISE DE MODO E EFEITA DEFALHAS - Depuração/Depurador pressurizado											
PONTO DE FALHA		ANÁLISE DA FALHA				AVALIAÇÃO DE RISCO				AÇÃO RECOMENDADA S	
SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	ÍNDICE DE GRAVIDADE	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA	ÍNDICE DE DETECÇÃO	RP N		
Depurador pressurizado.	Remover impurezas com tamanho superior a 1,6 a 2 mm.	Cesta peneira do depurador.	5.1	Cesta peneira entupida.	Volume excessivo de vazão, folga entre hidrofólio e cesta, baixa pressão na saída, grande quantidade de impurezas.	Parada do processo de depuração, aumento da corrente elétrica no depurador.	8	3	7	280	Reajuste da folga entre hidrofólio e peneira, reaperto dos parafusos do hidrofólio. Freq 3 meses.
			5.2	Cesta peneira deslocada.	Ruptura ou folga nos parafusos de fixação.	Baixa qualidade do papel, pode ocorrer perda da produção.	7	6	7	294	Reaperto dos parafusos de fixação da peneira, inspeção visual. Freq 3 meses
			5.3	Ruptura das fendas da cesta	Entrada de objetos estranhos.	Baixa qualidade do papel, pode ocorrer perda da produção.	8	4	6	192	Diagnostico visual, soldagem das fendas da cesta peneira, quando necessário. Freq 3
		Motor bomba	6.1	Motor elétrico desarmado.	Alta carga de trabalho durante longo tempo, montagem impropria das gaxetas, folga do mancal, entupimento do rotor.	Super aquecimento do motor, parada do fluxo na tubulação.	7	3	1	21	Operar até ocorrer desarme do motor.
			6.2	Rolamentos travando.	Falta de lubrificação, montagem impropria dos mancais de rolamento.	Aquecimento do mancal, depurador para de operar.	7	6	3	126	Impressionar nível de graxa do mancal do motor, nível de vibração freq 1 mes, troca
			6.3	Eixo da bomba quebrado.	Manutenção impropria, fadiga do eixo.	Falta de vazão e pressão, parada do processo.	9	4	3	108	inspeção a cada 3 meses para identificação de fissuras na bomba, operar
			6.4	Rotor da bomba entupido.	Entrada de cascas e fibras longas.	Entupimento da peneira, vazão e pressão da bomba diminui.	6	5	1	30	Operar até ocorrer entupimento do rotor da bomba.
		Correias	7.1	Correia quebrada.	Subdimensionamento da tensão, operação indevida do depurador, fadiga das correias.	Obstrução do depurador, parada de depuração pressurizada, queda a corrente elétrica.	8	4	2	64	Inspeção visual do estado das correias freq 2 semanas. Reajuste das tensões na

Observações: (use o verso desta folha)

QUADRO 3 - Demostra plano de manutenção dos equipamentos aplicado conforme FMEA

Fonte: Os autores (2020).



PLANO DE ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS - DEPURAÇÃO

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS - Depuração/Classificador vibratório										
PONTO DE FALHA			ANÁLISE DA FALHA			AVALIAÇÃO DE RISCO			AÇÃO RECOMENDADAS	
SISTEMA	FUNÇÃO	SUBSISTEMA	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	ÍNDICE DE GRAVIDADE	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA	ÍNDICE DE DETECÇÃO	RPN	
Classificador vibratório	Separar feixes longos de fibras, cavacos, lascas e demais	Motor elétrico.	1.1	Motor queimado.	Perda de isolamento devido a humidade, obstrução dos mancais por sujeiras.	4	4	2	32	Inspeccionar visualmente para identificar entrada de água ou poeira no motor. A
			1.2	Motor sobrecarregado.	Demasiada quantidade de polpa para peneiramento.	3	4	5	60	Operar até ocorrer a falha.
	Mola do sistema vibratório.	2	Mola rompida.	Fadiga do material da mola.	5	2	3	30	Acompanhar visualmente as condições	

QUADRO 4 - Plano de análise, modelo de efeito e falhas e sua classificação

Fonte: Os autores (20202).

PLANO DE MANUTENÇÃO GERADO PELO FMEA.

Motor / Classificador vibratório			
Atividade do plano	Periodicidade (dias)	Duração total (h)	Para equipamento ?
Inspeção visual de ausência umidade e foligem.	2	2	S
Motor sobrecarregado / operar até a falha	Após a falha	4	S
Inspeção visual das condições das molas. Ex: trincas e deformações	14	0,5	S
Inspeção do nível da peneira, e o tensionamento das correias.	3	0,2	S
Medição dos orifícios da peneira.	1460	0,5	S
Identificação visual de fissuras e deformações	182	0,5	S
Inspeção visual e limpeza dos bicos aspersor.	1	0,3	S
Ruptura do bico aspersor.	Após a falha	0,5	S

QUADRO 2 - Demonstra dados do plano com relação a tarefa executada

Fonte: Os autores (2020).



CAPÍTULO 7

TINGIMENTO TÊXTIL COM ÁGUA DO MAR PARA EFEITO DE LAVANDERIA: UMA ALTERNATIVA PRÁTICA E SUSTENTÁVEL

Iêda Letícia de Souza Ferreira

Aline Gabriel Freire

Fernanda Steffens

Fernando Ribeiro Oliveira

Resumo

A cadeia produtiva têxtil demanda elevados volumes de água na execução de seus processos, principalmente no setor de beneficiamentos químicos. Entretanto, a água doce no planeta está cada vez mais escassa e futuramente pode vir a ser um elemento raro de ser obtido. Dentre os beneficiamentos, os processos de lavanderia são acabamentos estéticos dados aos tecidos visando um design diferenciado com o intuito de aumentar o valor agregado do produto. Para obter estes efeitos, muitas vezes é necessário retirar e/ou alterar um corante previamente fixado na superfície dos substratos, o que torna o processo de lavanderia pouco sustentável. Tendo em vista o elevado consumo hídrico na área têxtil bem como o número de processos necessários para dar efeitos diferenciados a produtos do vestuário, esta pesquisa teve como objetivo analisar a possibilidade de utilizar água do mar no processo de tingimento têxtil com corante reativo visando obter o aspecto do processo de lavanderia comercialmente chamado "marmorizado" em tecidos 100% algodão. Foram realizados tingimentos utilizando água do mar como solvente, aproveitando o sal proveniente da própria água como o eletrólito do processo. Avaliou-se propriedades de solidez à lavagem, resistência à tração e alongamento. As amostras tingidas apresentaram aparência de tecido "marmorizado" apenas com o processo de tingimento, com índice médio de solidez à lavagem, e excelentes propriedades mecânicas. Assim, foi possível obter um efeito de design diferenciado ao produto têxtil de maneira mais sustentável, eliminando um processo bastante agressivo ambientalmente, demonstrando elevado potencial para uso de água do mar no processo avaliado.

Palavras chave: Tingimento Têxtil, Água do Mar, Lavanderia, Marmorizado, Algodão.

Abstract

The textile production chain demands high volumes of water in the execution of its processes, mainly for the processes of chemical processing. However, fresh water on the planet is increasingly scarce and in the future it may be a rare element to be obtained. Among the finishing processes, the washing design process is an aesthetic finish, which is given to the fabric for a different design and to increase the added value of the product. To obtain these effects, it is often necessary to remove and/or change a dye previously fixed to the surface of the substrates, which makes the washing unsustainable. In view of the high expenditure of fresh water in the textile area and the number of processes that are necessary to give differentiated effects to clothing products, this research aimed to analyze the possibility of using seawater in the textile dyeing process reactive in order to obtain the aspect of the washing process commercially called "marbled" in 100% cotton fabrics. Dyeing was performed using seawater as a solvent, using the salt from the water itself as the process electrolyte. Parameters of washing strength, tensile strength and elongation were evaluated. The dyed samples showed the appearance of "marbled" fabric only with the dyeing process, with an average wash fastness index, and excellent mechanical properties. Thus, it was possible to obtain a differentiated design effect on the textile product in a more sustainable way, eliminating a very environmentally aggressive process, demonstrating a high potential for the use of seawater in the evaluated process.

Keywords: Textile Dyeing, Seawater, Washing, Marbled, Cotton.



1. INTRODUÇÃO

Na atualidade uma das maiores preocupações em todo o mundo é o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis no planeta. Discutir a respeito da importância da água para a sobrevivência e desenvolvimento humano é necessário e de extrema urgência. Afinal, direta ou indiretamente todas as atividades humanas são dependentes do uso de água. É possível citar a essencialidade deste recurso natural desde o consumo direto, sobrevivência biológica de espécies, até seus usos industriais, comerciais e para agricultura (JACOBI E GRANDISOLI, 2017; VEIGA, 2013; COB, 2014). O Brasil é um país privilegiado quanto aos recursos hídricos, possui aproximadamente 12% da água doce do planeta, porém essa água não se encontra uniformemente distribuída no território nacional (AUGUSTO et al., 2012).

A água é um bem comum ao cotidiano da sociedade, entretanto, não existe a percepção de que a água doce é um recurso limitado e que precisa ser preservado. Pois, de toda a água disponível no planeta, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), aproximadamente 97,5% é salgada. Ou seja, a maior parte do volume hídrico disponível no mundo é a água contida nos mares e oceanos.

A água do mar é uma solução com uma fase e dois componentes: água pura e um conjunto de sais dissolvidos (MILLERO et al, 2008; VALÉRIO; VILAS, 2013). Considerando a abundância de água salgada no Brasil e no mundo, se faz necessário otimizar o seu uso em todas as esferas sociais, buscando alternativas sustentáveis de processos que reduzam o gasto hídrico convencional, ou que utilizem fontes de águas ainda pouco utilizadas para aplicações que gerem valor à produtos e serviços. Em outros termos, se faz necessário utilizar de maneira mais “nobre” e rentável um recurso abundante na natureza, a água do mar.

Um elevado volume de água é despendido para o abastecimento de praticamente todos os setores industriais. Um setor que possui grande impacto quanto aos recursos hídricos é o têxtil. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a indústria têxtil produz resíduos classificados como perigosos e não inertes (enquadrados como Classe I e II). Mas, destaca os efluentes líquidos como sendo os de maiores volumes e piores impactos (FERREIRA; KELLER; SILVA, 2009). São efluentes caracterizados por elevadas concentrações de sais, coloração forte e significativa carga orgânica. As cores são decorrentes dos tingimentos e processos de lavagens (ZANELLA et al., 2010).

Porém, para abordar de maneira adequada aspectos da área têxtil é necessário abranger várias esferas sociais, produtivas e econômicas (BERLIN, 2014). Os produtos têxteis envolvem em seu desenvolvimento, vertentes de agricultura, engenharia, tecnologia, química, design e gestão. Com isso, é de suma importância pensar na sustentabilidade para um setor produtivo tão grandioso e intenso.

Para buscar ações voltadas ao design de maneira sustentável, é fundamental associar aspectos positivos ao longo de todo o desenvolvimento da cadeia de valor na área têxtil e não utilizar apenas do marketing comercial com a bandeira do “ecologicamente correto” (LEITE et al., 2013). Este é um assunto com muitas variáveis a serem discutidas e analisadas, por exemplo, dentre as fibras, matérias-primas que são a base da área têxtil, é difícil classificar qual delas causam maior ou menor impacto na natureza, sejam elas artificiais, sintéticas ou naturais (ANICET E RUTHSCHILLING, 2013).

O processo de sustentabilidade em produtos de moda ganha força a partir do momento em que é entendido todo o ciclo de vida dos mesmos, desde a concepção do design até o descarte. Baseado em estratégias como as do ciclo ecodesign Okala, onde são exploradas as inovações de processos e produtos, a redução de materiais que impactam o meio ambiente, a fabricação limpa, a otimização dos processos de distribuição, como a redução dos impactos das embalagens, aumento da longevidade e a otimização e valorização do fim da vida útil do produto (OKALA, 2013).

Para os produtos de moda, em uma abordagem da área industrial os processos de beneficiamentos químicos possuem os maiores impactos ambientais, influenciando diretamente na sustentabilidade de cada artigo produzido (FERREIRA; KELLER; SILVA, 2009). Em contrapartida, esses processos compõem o setor que proporciona efeitos que darão ao produto final maior beleza, estética e resultam em maior valor agregado. Dentre os beneficiamentos, os processos de tingimento, estamparia e lavagens geram aos produtos propriedades como cor, brilho, imagens e texturas. As cores aplicadas aos têxteis, além de estarem relacionadas ao design das peças, também influenciam as pessoas fisiologicamente e psicologicamente. As cores proporcionam sensações como alegria, tristeza, calor ou frio, e influenciam diretamente nas escolhas de compra dos consumidores (FARINA; PEREZ; BASTOS, 2006).

Além dos processos de tingimento e estamparia, na indústria têxtil existem outros que conferem visual diferenciado aos produtos, por exemplo, os inúmeros processos de lavanderia. Este pode ser definido como sendo um conjunto de operações que conferem aos tecidos e/ou malhas efeitos e acabamentos diferentes com intuito de obter peças com design exclusivo (KAN, 2015). Comumente os processos de lavanderia são realizados após o tingimento do tecido e, novamente, são utilizadas várias substâncias químicas altamente poluentes e elevadas quantidades de água.

A exclusividade conferida aos produtos por meio dos processos de lavanderia também impactam diretamente seu ciclo de vida. Dependendo do design criado, a mesma peça pode passar por dois ou três processos diferentes, elevando ainda mais o volume de água consumida e conseqüentemente aumentando a quantidade efluente gerado (CHOUDHURY, 2017). Em outras palavras, tradicionalmente para se obter uma peça com efeito de lavanderia, o produto passará por inúmeros



processos conforme ilustrado na Figura 1:

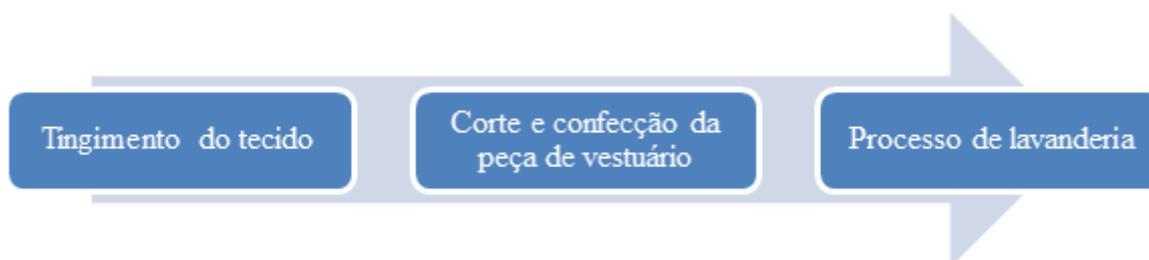


Figura 1 - Exemplo de sequência operacional para obtenção de uma peça com efeito de lavanderia
Fonte: Autor (2019)

Em muitos casos, é “colocada” a cor no tecido através da fixação de corantes, e depois este corante é “retirado” da peça para dar o efeito diferenciado da lavagem dando origem a manchas, desgastes ou estamparia sem um padrão definido.

As opções de acabamento na lavanderia são diversas. Entre elas a estonagem, *delavè*, *dirty wash*, *acid wash*, *destroyed*, efeito resinado, jato de areia, jato de permanganato de potássio, laser, lixado, *tie-dye*, *used wash* e o marmorizado. O último efeito mencionado, o marmorizado se trata do processo de oxidação da peça utilizando materiais como pedras, tampas metálicas de garrafas, rolhas juntamente com descolorantes químicos, como cloro ou permanganato. O efeito é de envelhecimento uniforme com perda de cor em tecidos planos e malhas (KAN, 2015).

O processo de concepção dos produtos de moda passa por uma série de operações, muitas vezes desconhecidas pelos consumidores. A sequência operacional para resultar em um artigo final com aspecto diferenciado e exclusivo é muito longa. Nas empresas, todos os setores produtivos devem buscar criar produtos de moda que não impactem negativamente o meio ambiente, levando em consideração todo o desenvolvimento e o ciclo de vida completo do produto.

Assim, devido a elevada demanda hídrica necessária ao processamento de artigos têxteis, diante da iminente situação de escassez de água doce, e na busca incessante por técnicas inovadoras no mercado, levando ainda em consideração a personalização dos produtos de moda, o presente trabalho tem como objetivo propor um novo processo para obtenção do efeito marmorizado em tecidos 100% algodão. Especificamente, utilizando a água do mar como solvente no tingimento com corante reativo, proporcionando um design diferenciado ao substrato têxtil, eliminando um processo na sequência operacional e diminuindo a carga de insumos químicos utilizada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

Para o desenvolvimento experimental deste trabalho foi utilizado um tecido 100% algodão convencionalmente alvejado. O tecido possui estrutura tafetá, com gramatura média de 98,5 g/m² (Figura 2).



Figura 2- Imagem do tecido utilizado, antes de ser tingido.
Fonte: Autor (2018)

2.2 Processo de tingimento

Os tingimentos foram realizados no equipamento modelo WT-B da marca Mathis® com aquecimento controlado (gradiente de 2°C/min). O processo foi feito pelo método *all-in*.

O corante utilizado foi o reativo bifuncional na cor azul, Marinho BG-SB (Golden Technology®). Os tingimentos foram realizados com concentração de corante a 2,0% sobre o peso do material (%s.p.m.). A relação de banho utilizada foi de 1:50. Na formulação incluiu-se NaOH na concentração de 40 g/L. Após o processo de tingimento, realizou-se uma lavagem com detergente não-iônico Spanscour Spark – Grupo ADI Tanachem para a retirada do corante não fixado às fibras.

No tingimento de fibras celulósicas com corantes reativos é necessário utilizar produtos químicos auxiliares. Os mais usuais são cloreto de sódio (NaCl), carbonato de sódio (Na₂CO₃), também conhecido como barrilha, e o hidróxido de sódio (NaOH). Estes compostos químicos contribuem para o aumento da alcalinidade da solução corante, auxiliando na migração, montagem e ligação química da molécula do corante com as fibras.

Visando a redução de agentes químicos adicionados a solução de tingimento, e levando em consideração que o solvente utilizado neste trabalho foi a água do mar (proveniente da Via Costeira de Natal/RN), e esta já possui em sua composição natural certa quantidade de sais, optou-se por utilizar apenas o sal contido na própria

água do mar. Sendo assim, a solução de tingimento foi produzida apenas com água do mar, corante e hidróxido de sódio (NaOH). Logo, houve a economia do cloreto de sódio, conseqüentemente reduzindo a quantidade de produtos adicionados no processo e também reduzindo a carga química no efluente.

Com base em estudos prévios, esta formulação foi desenvolvida objetivando-se obter o efeito de marmorizado. Foi constatado previamente que os compostos químicos de cálcio e magnésio presentes em elevada quantidade na água do mar causam ao substrato tingido um efeito de manchas, assim como o efeito de lavanderia desejado.

2.3 Técnicas de caracterizações

Para caracterizar o solvente utilizado foram realizadas análises de pH, salinidade, condutividade elétrica, quantidade de cálcio e magnésio. E para os substratos tingidos foram utilizadas as seguintes técnicas:

Solidez à lavagem: A fim de avaliar a qualidade da fixação da cor nos tecidos tingidos, o ensaio de solidez à lavagem doméstica e comercial foi realizado no equipamento modelo WT-B da Mathis® de acordo com a norma ISO 105-C01 a C06, utilizando uma solução de 4g/L de sabão em pó com 10 esferas de aço à temperatura de 60°C por 30 minutos.

Resistência à tração e alongamento: Este ensaio foi realizado em um dinamômetro modelo TENSOLAB 3000 da marca Mesdan®, seguindo a norma ASTM D 5034, para verificar se o processo proposto com a água do mar afetaria as propriedades mecânicas do tecido.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Água do mar

A água do mar utilizada foi caracterizada quanto aos parâmetros descritos no item 2.3. Com o intuito de ter um padrão comparativo, as mesmas análises foram realizadas em água destilada (considerada um solvente “ideal” para os processos de tingimentos têxteis tradicionais). Os resultados estão descritos na Tabela 1:

Parâmetros	Água do mar (Via Costeira)	Água destilada
Ph	7,00	7,36
Salinidade, ‰	37,80	0,00
Condutividade elétrica, $\mu\text{s/cm}$ a 25°C	56.700,00	1,20
Cálcio, mg/L de Ca^{2+}	463,61	<0,01
Magnésio, mg/L de Mg^{2+}	1.423,78	0,48

Tabela 1 – Resultados obtidos a partir dos parâmetros analisados para a caracterização da água do mar e destilada.

Fonte: Autor (2018)

Comparando os resultados obtidos da análise das águas foi possível constatar que o pH da água do mar e da água destilada são praticamente idênticos. Entretanto, é notória a diferença dos valores de salinidade, condutividade elétrica e quantidades de cálcio e magnésio. Esta diferença significativa era esperada, pelo fato da água do mar conter uma quantidade de sais dissolvidos em sua composição natural (HATJE, COSTA E CUNHA, 2013). Por essa primeira análise, já é comprovada o elevado nível de dureza da água do mar, característica que tende a influenciar na uniformidade do tingimento realizado, resultando no manchamento esperado.

O elevado índice de salinidade foi essencial para o processo de tingimento, já que não foi necessária a adição de nenhum outro composto salino como eletrólito no processo.

3.2 Aspecto visual do tingimento

A aplicação de água do mar em tingimentos com corantes reativos em tecidos de algodão foi previamente analisada. Por intermédio da literatura foi possível observar que a água do mar em composição natural possui inúmeros sais que podem afetar tanto positiva como negativamente tingimentos têxteis (FERREIRA; OLIVEIRA; STEFFENS, 2018). A amostra tingida neste trabalho apresentou o resultado visual observado na Figura 3:





Figura 3 – Efeito marmorizado da amostra tingida com corante reativo utilizando água do mar.
Fonte: Autor (2018)

Ao avaliar a amostra tingida, nas condições estabelecidas com a água do mar, foi possível observar que a capacidade tintorial do tecido de algodão com o corante não foi elevada. Entretanto, este ponto que seria negativo a um tingimento convencional, resultou no efeito denominado marmorizado, normalmente obtido em processo de lavanderia. As manchas mais escuras distribuídas não uniformemente em toda a área da amostra também potencializam a impressão do efeito de lavanderia supracitado.

Ressalta-se que o efeito de marmorizado só é obtido tradicionalmente após dois processos. Inicialmente é realizado o tingimento tradicional e após a confecção da peça é realizado o processo de lavagem para a obtenção das manchas, que caracterizam o efeito visual do marmorizado. Com este trabalho o efeito marmorizado foi conseguido sem a necessidade do processo de lavagem. Desta forma, além de eliminar uma etapa do processo, foi possível obter um efeito diferenciado de maneira mais rápida e gerando menor volume de efluentes. Vale destacar o fato de não ter sido necessária a adição de nenhum eletrólito ao processo de tingimento, pois utilizou-se de um recurso natural abundantemente disponível que já dispunha deste auxiliar.

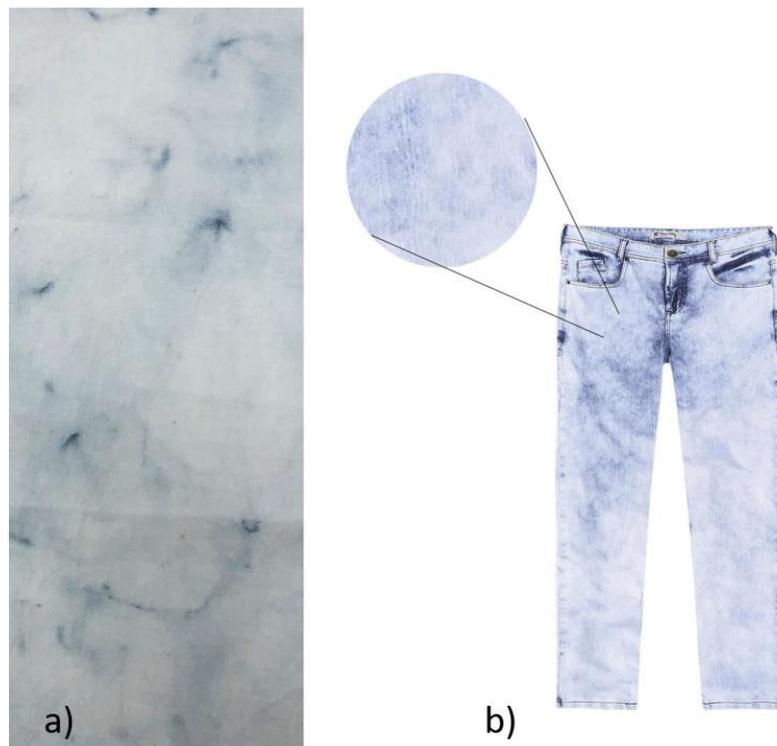


Figura 4 - Imagem comparativa entre os dois efeitos marmorizados: (a) amostra tingida neste trabalho e (b) calça jeans com efeito marmorizado tradicional.
Fonte: Autor (2018); Hering (s.d.).

Quanto à estética dos produtos de moda, foi possível a obtenção de um efeito único. O design resultante no tecido tingido com água do mar e NaOH, difere completamente de um tingimento convencional, onde visa-se prioritariamente intensidade de cor e uniformidade. Observa-se a elevada similaridade da amostra tingida com a água do mar em comparação com uma peça com marmorizado tradicional (Figura 4).

3.3 Solidez à lavagem

Além do efeito diferenciado do tingimento, é importante que materiais têxteis tingidos ou estampados possuam como um dos principais padrões de qualidade um bom índice de solidez à lavagem, visto que artigos têxteis convencionais, ao longo de seu tempo de uso (vida útil) passam por inúmeros processos de lavagem.

De acordo com o ensaio de solidez realizado, a amostra obteve índice 3 na escala cinza. Este valor é considerado regular. Entretanto, este aspecto pode ser melhorado com algumas alternativas como o uso de um agente fixante, otimização das concentrações dos auxiliares como álcalis e agentes dispersantes, além da adição de eletrólito na solução de tingimento. A temperatura de tingimento é outro fator importante a ser observado. Todos estes fatores são importantes pois alteram de forma significativa a cinética de tingimento e consequentemente a adsorção do corante na fibra, a sua difusão para o seu interior e principalmente a fixação do corante na fibra (SALEM, 2010).

No entanto, um dos objetivos do trabalho era propor uma alternativa de processo mais curto e sustentável. Logo, optou-se por usar a menor quantidade de agentes químicos possíveis e temperatura de tingimento inferior. Desta forma, considerando os critérios descritos, o índice 3 em escala cinza pode ser avaliado como satisfatório.

Na Figura 5 é possível observar a diferença das amostras antes e após o ensaio de solidez à lavagem.



Figura 5– Comparação entre as amostras: (a) tingida com água do mar (antes do ensaio de solidez à lavagem) e (b) após o ensaio de solidez à lavagem.
Fonte: Autor (2018)

3.4 Resistência à tração

A resistência mecânica é uma propriedade importante dos substratos têxteis, tendo em vista que peças de vestuário sofrem diversos esforços durante o seu ciclo de vida. Para conferir se a água do mar ocasionava alguma influência nesta propriedade foi realizado o ensaio de resistência à tração nas amostras antes e após o tingimento, em ambas as direções do tecido (trama e urdume). O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 5034. Os resultados estão apresentados nos Gráficos 1 e 2.

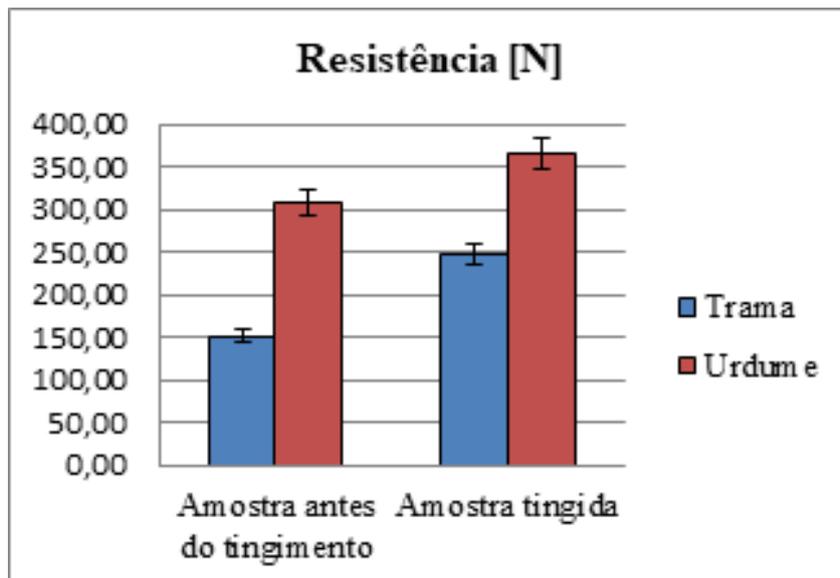


Gráfico 1 - Resistência no sentido da trama e urdume das amostras antes do tingimento e tingidas.
Fonte: Autor (2018)

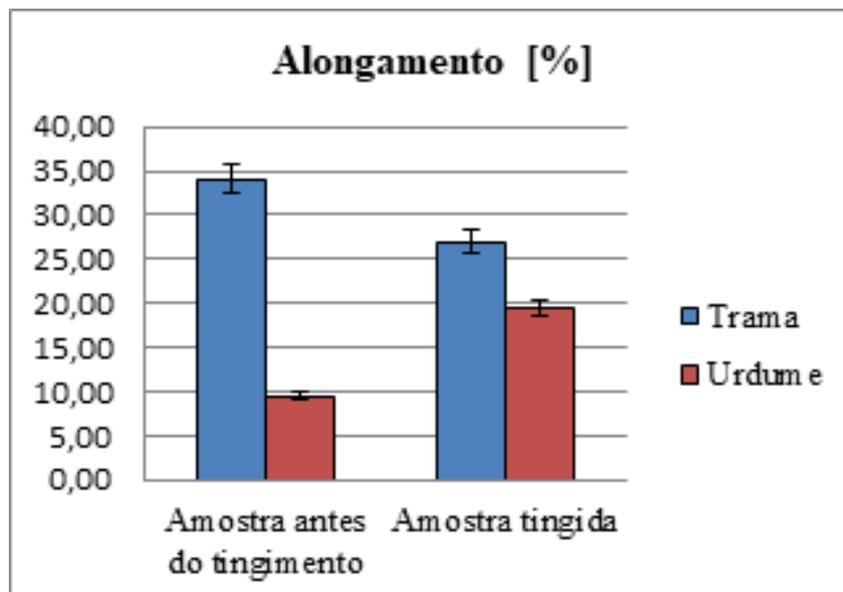


Gráfico 2- Alongamento no sentido da trama e urdume das amostras antes do tingimento e tingidas.
Fonte: Autor (2018)

A partir dos resultados obtidos pelo ensaio de resistência à tração, observa-se que as propriedades mecânicas das amostras tingidas não foram prejudicadas pelo processo de tingimento com a água do mar. Com relação ao alongamento, os resultados não indicam nenhuma característica que inviabilize o processo. O processo de marmorizado convencional, por possuir mais etapas em seu fluxo produtivo, tende a ser mais agressivo a estrutura dos substratos, podendo influenciar negativamente as propriedades supracitadas.

4. CONCLUSÕES

A partir de um estudo prático verificou-se que é possível a utilização da água do mar em beneficiamentos têxteis, especificamente no processo de tingimento. O resultado obtido remeteu visualmente ao processo conhecido como marmorizado. E o design de lavagem foi conseguido realizando apenas o processo de tingimento.

Os ensaios de caracterização indicaram resultados satisfatórios no que se refere a solidez à lavagem, entretanto, que podem ser melhorados a partir de estudos que proporcionem melhor adsorção, difusão e conseqüente fixação do corante na fibra. Quanto aos ensaios de resistência mecânica os valores obtidos foram muito bons, comprovando que o substrato têxtil manteve suas propriedades mecânicas após o tingimento com água do mar.

Desta forma, verifica-se que é possível tingir utilizando água do mar, e que o substrato resultante apresenta efeito marmorizado, comumente obtido após os processos convencionais de tingimento e lavagem. Desta forma, obteve-se em uma única etapa um efeito diferenciado, contribuindo para a personalização tão desejada nos processos de design, utilizando como solvente um recurso hídrico encontrado em abundância e que já possui o eletrólito em sua composição natural, alcançando portanto um processo ambientalmente correto e economicamente mais viável.

Referências

- ANICET, A, RUTHSCHILING, E.A. **Relações entre moda e sustentabilidade**, 9º Colóquio de Moda, 2013.
- AUGUSTO, L. G. DA S. et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**, *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1511–1522, 2012.
- BERLIN, L. G. **A Indústria Têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável**, *ModaPalavra e Periódico*, p. 15–45, 2014.
- CHOUDHURY, A. K. R. **Finishing of denim fabrics**. In: *Principles of Textile Finishing*, p. 383– 415, 2017.
- COB, S.S. **Towards zero liquid discharge in drinking water production**, PhD Thesis., Universidad de Valladolid, Burgos (Spain), 2014.
- FARINA, M.; PEREZ, C.; BASTOS, D. **Psicodinâmica Das Cores em Comunicação**. 5ª ed. São Paulo, SP: [s.n.].
- FERREIRA, D. D. M.; KELLER, J.; SILVA, L. E. DA. **A Utilização da água pela indústria têxtil: Uma pesquisa no município de Brusque, SC**, *Inter Science Place - Revista Científica Internacional*, v. 2, p. 1–19, 2009.
- FERREIRA, I. L. DE S.; OLIVEIRA, F. R.; STEFFENS, F. **Processos químicos têxteis utilizando água do mar: Propriedades mecânicas e colorística**, *CONTEXMOD - Congresso Científico Têxtil e Moda*, n. 1, p. 11, 2018.
- HATJE V., COSTA M.F., CUNHA L.C. **Oceanografia e Química: unindo conhecimentos em prol dos oceanos e da sociedade**, *Química Nova [online]*, v.36, n.10, p.1497-1508., 2013.



- JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. Água e **Sustentabilidade: Desafios, perspectivas e soluções**. 1ª edição. ed. São Paulo: IEE/USP, 2017.
- KAN, C. W. **Washing techniques for denim jeans**. In: **Denim**. Woodhead Publishing, p. 313- 356, 2015.
- LEITE, A. S. et al. **Custos ecológicos e sustentabilidade em recursos hídricos na indústria têxtil**. *Revista de Ciências Gerenciais*, v. 17, n. 26, p. 103–111, 2013.
- MILLERO F.J. et al.. **The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale**. *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, v. 55, n.1, p. 50-72. 2008.
- OKALA. **Ecodesign Strategy Wheel**. In: *Okala practitioner: Integrating Ecological Design*. Okala Team, 2013.
- SALEM, V. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher, 2010.
- VALÉRIO, E.; VILAS, D. E. B. **Características Físicas E Químicas da água do mar**. p. 237–244, 2013.
- VEIGA, L.B.E., MAGRINI A. **The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges**. *Water Resources Management*. v. 27, n. 1, p. 2287-2302, 2013.
- ZANELLA, G. et al. **Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-fenton e avaliação da potencialidade de reuso**, *Química Nova [online]*, v. 33, n. 5, p. 1039-1043, 2010.



CAPÍTULO 8

APLICAÇÕES DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM PROCESSOS DE USINAGEM

Hugo Marcelo Silva Pinheiro
Patrício Moreira de Araújo Filho

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo de redes neurais artificiais (RNA), buscando compreender sua estrutura funcional e sistema de aprendizagem contínua para aplicação em indústrias para os processos de usinagem, visando a melhoria do processo, aumentando a precisão e eliminando falhas e gargalos em manufaturas. Simulando um funcionamento de um cérebro humano, a estrutura da rede neural segue um modelo matemático que se assemelha ao arranjo de um neurônio, à vista disso, buscando compreender a fundo o funcionamento de uma rede neural e sua estrutura. A aplicação de redes neurais em processos de usinagem, otimiza o processo realizando tarefas que exigiriam uma demanda de mão-de-obra humana, além da capacidade de executar processos inviáveis para um operador, tendo a aptidão de receber e armazenar vários dados e processá-los em milésimos de segundo, executando assim a tarefa com alta velocidade e precisão, eliminando desperdícios e falhas humanas.

Palavras chave: Redes Neurais Artificiais; Usinagem; Neurônios.

Abstract

This work presents the study of artificial neural networks (ANN), seeking to understand its functional structure and continuous learning system for application in industries for machining processes, aiming at improving the process, increasing precision and eliminating failures and bottlenecks in manufacturing. Simulating the functioning of a human brain, the structure of the neural network follows a mathematical model that resembles the arrangement of a neuron, in view of this, seeking to understand in depth the functioning of a neural network and its structure. The application of neural networks in machining processes, optimizes the process by performing tasks that would require a demand for human labor, in addition to the ability to execute processes that are not viable for an operator, having the ability to receive and store various data and processes. them in milliseconds, thus executing the task with high speed and precision, eliminating waste and human failures.

Keywords: Artificial Neural Networks; Machining; Neurons.



1. INTRODUÇÃO

De acordo com Haykin (2001), uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro humano de dois aspectos: o primeiro é pelo fato do conhecimento ser adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem; E o segundo são as forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, que são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido. Cada vez mais a teoria de Redes Neurais Artificiais corrobora-se como um novo protótipo para a abordagem de problemas complexos, em que amplas massas de dados devem ser modeladas e avaliadas em um contexto multidisciplinar, envolvendo, simultaneamente, tanto os aspectos estatísticos e computacionais como dinâmicos e de otimização. Diante disso, apresentamos os fundamentos biológicos, conceitos de neurônios, rede neural artificial e sua aplicação em operações de furação e controle de superfícies.

2. REDES NEURAIS

A origem da teoria de redes neurais remonta aos modelos matemáticos e aos modelos de engenharia de neurônios biológicos. A célula nervosa, ou neurônio, foi identificado anatomicamente e descrito com notável detalhe, pelo neurologista espanhol Ramón y Cajal no século 19. Como qualquer célula biológica, o neurônio é delimitado por uma fina membrana celular que além de sua função biológica normal, possui determinadas propriedades que são essenciais para o funcionamento elétrico da célula nervosa. A partir do corpo celular, ou soma, - o centro dos processos metabólicos da célula nervosa - projetam-se extensões filamentosas, os dendritos, e o axônio (KOVÁCS, 2006, p.13).

Os neurônios utilizam uma variedade de mecanismos bioquímicos para o processamento e transmissão de informação, incluindo os canais iônicos. Esses canais permitem um fluxo contínuo de entrada e saída de correntes (elétricas), a liberação de neurotransmissores e a geração e propagação de potenciais de ação. O processo de transmissão de sinais entre neurônios é fundamental para a capacidade de processamento de informação do cérebro. Os neurônios que enviam sinais, são chamados de neurônios pré-sinápticos ou "enviadores", fazem contato com os neurônios receptores ou pós-sinápticos em regiões especializadas, denominadas de sinapses. Uma das descobertas mais relevantes e neurociência foi a de que a efetividade da transmissão de sinais pode ser modulada, permitindo que o cérebro se adapte a diferentes situações. A plasticidade sináptica, ou seja, a capacidade do



sistema nervoso em desenvolvimento se adaptar ao seu meio ambiente, é o ingrediente chave para o aprendizado da maioria das RNAs (ZUBEN, 2015, p. 36-37).

Os dendritos captam os estímulos recebidos em um determinado período de tempo e os transmitem ao corpo do neurônio, onde são processados. Quando tais estímulos atingem determinado limite, o corpo da célula envia novo impulso que se propaga pelo axônio e é transmitido às células vizinhas por meio de sinapses - junção entre o axônio de um neurônio pré-sináptico e o dendrito ou corpo celular de um neurônio pós-sináptico. Este processo pode se repetir em várias camadas de neurônios. Como resultado, a informação de entrada é processada, podendo levar o cérebro a comandar reações físicas (FERNEDA, 2006).

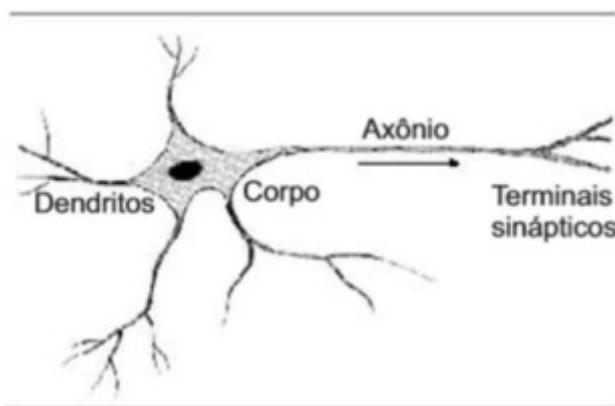


Figura 1 – Representação simplificada de um neurônio.
Fonte: FERNEDA, 2006.

Assim como a plasticidade parece ser essencial para o funcionamento dos neurônios como unidade de processamento de informações do cérebro humano, também ela o é com relação às redes neurais construídas com neurônios artificiais. Na sua forma mais geral, uma rede neural é uma máquina que é projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou uma função de interesse; a rede é normalmente implementada utilizando-se componentes eletrônicos ou simulada por programação computacional. (HAYKIN, 2001, p.28)

O neurônio artificial é uma estrutura lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico. Assim sendo, os dendritos serão substituídos por entradas, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de peso (simulando as sinapses). Os estímulos captados pelas entradas são processados por uma função soma, e o limiar de disparo do neurônio biológico é substituído por uma função de transferência (ou uma função de ativação). (TAFNER, 1998)



Figura 2 – Representação de neurônio artificial.
 Fonte: Revista "Cérebro e Mente", 1998.

2.1 Função de ativação

Para Haykin (2001), a função de ativação representa o efeito que a entrada interna e o estado atual de ativação exercem na definição do próximo estado de ativação da unidade, tendo em vista a redução da não-linearidade na sua saída. Considera como mais popular as funções: de limiar; linear por partes, sigmoide e tangente hiperbólica.

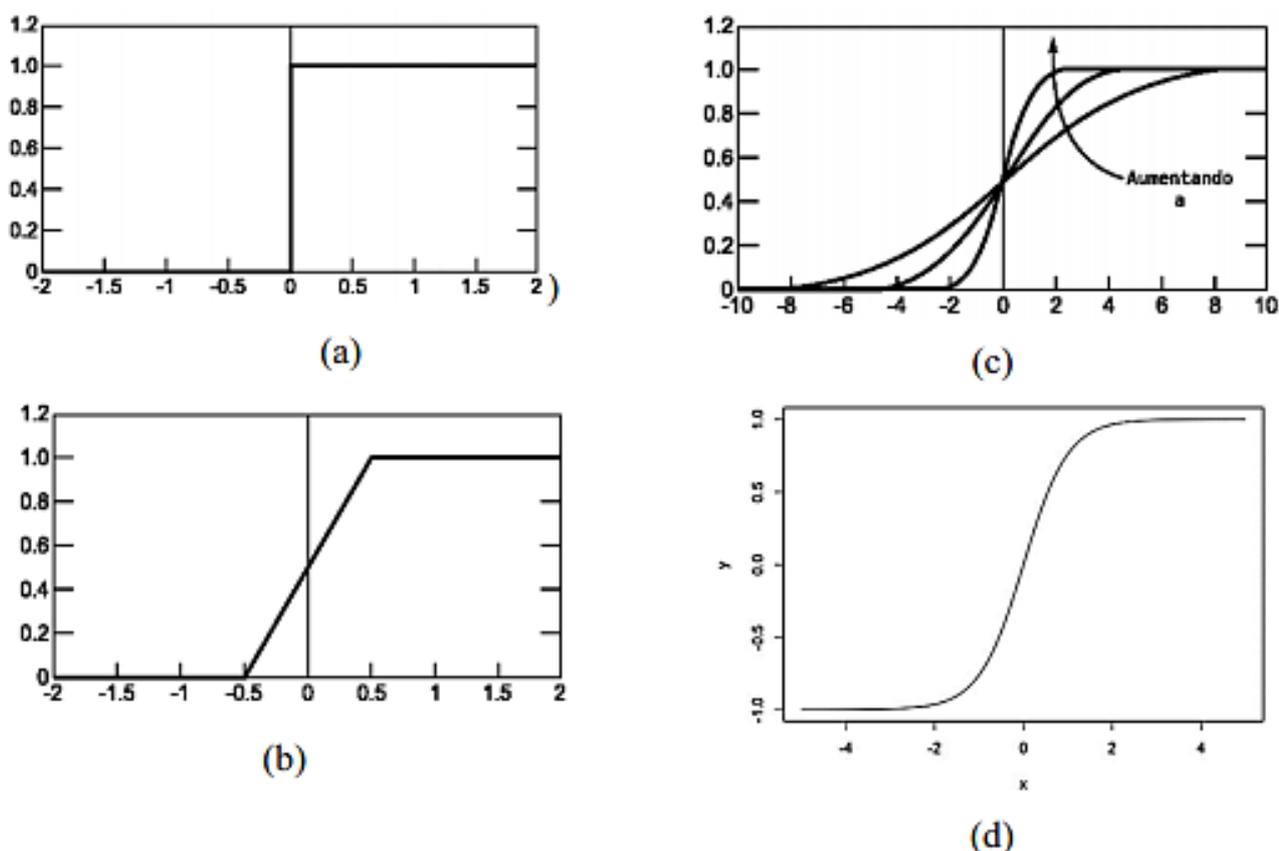


Figura 3 – (a) função de limiar, (b) função linear por partes, (c) função sigmoide para parâmetro de inclinação *a* variável, (d) função tangente hiperbólica.

Fonte: Adaptado de KOVÁCS, 2006, p. 39.

Segundo Kenny (2009), a função sigmoide é a predominante em RNAs por ser estritamente crescente, exibir suavidade e possuir propriedade desejável de ser

assintótica. A função sigmóide padrão é a função logística, definida pela equação abaixo:

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (1)$$

onde a é o parâmetro de inclinação.

2.2 Processos de Aprendizagem

Em 1949, Donald Hebb, em seu livro "The Organization of Behavior", apresentou pela primeira vez um modelo de uma regra de aprendizado psicológica, dando origem à regra que hoje é conhecida como regra de aprendizagem de Hebb. No início da década de 50, Edmonds and Minsky realizaram a primeira construção física de uma rede neural artificial. Os computadores de segunda geração utilizaram a regra de aprendizagem de Hebb e foi capaz de armazenar 40 padrões de 40 dígitos binários (SANTOS, 2001, p. 76).

As formas de aprendizagem são importantes na definição das RNAs, as quais (baseadas nas regras de aprendizado de Hebb) podem ser classificadas em: (1) aprendizagem supervisionada; (2) aprendizagem não supervisionada; (3) aprendizagem híbrida.

Na aprendizagem supervisionada, a saída gerada pelo sistema é comparada com a saída desejada - desvio de comportamento em relação aos exemplos de referência; se forem diferentes, é gerado um sinal de erro e os pesos são reajustados para minimizar o erro gerado. Na aprendizagem não supervisionada, o sinal de entrada é processado e uma saída é gerada (o comportamento resultante deste tipo de aprendizado é usualmente comparado com técnicas de análise de dados empregadas na estatística). Não existindo uma saída desejada, a RNA auto organiza-se. Já a aprendizagem híbrida combina as duas formas de aprendizagem anteriores (CARVALHO, 2007, p. 12).

A capacidade da RNA de aprender automaticamente a partir de exemplos a torna atrativa e instigante. Em lugar de seguir um conjunto de regras especificadas por um humano, as RNAs aprendem as regras subjacentes a partir da coleção de exemplos representativos. Esta é uma das maiores vantagens das redes neurais artificiais sobre os sistemas especialistas (KENNY, 2009).



3. APLICAÇÕES

3.1 Redes neurais na indústria

3.1.1 Processos de usinagem

Na área de usinagem metalmeccânica existem diversas formas de se obter furos em peças. Pode-se destacar os seguintes meios: puncionamento, fundição, forjamento, serra copo; eletro-erosão, oxiacetileno e por meio de brocas.

Focaremos na furação realizado por brocas em metais, no qual consiste no processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico numa peça, com auxílio de uma ferramenta multi cortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina.

O monitoramento desse processo, realizado por humanos apenas a olho nu, não assegura a qualidade do produto final, podendo haver desvios de rugosidade, circularidade, diâmetro do furo, entre outros. Nestas situações, redes neurais artificiais são uma poderosa ferramenta para detecção de desvios de geometria ao longo da operação. Um exemplo de rede neural para esse cenário é apresentado por Cruz (2010), na figura 4.

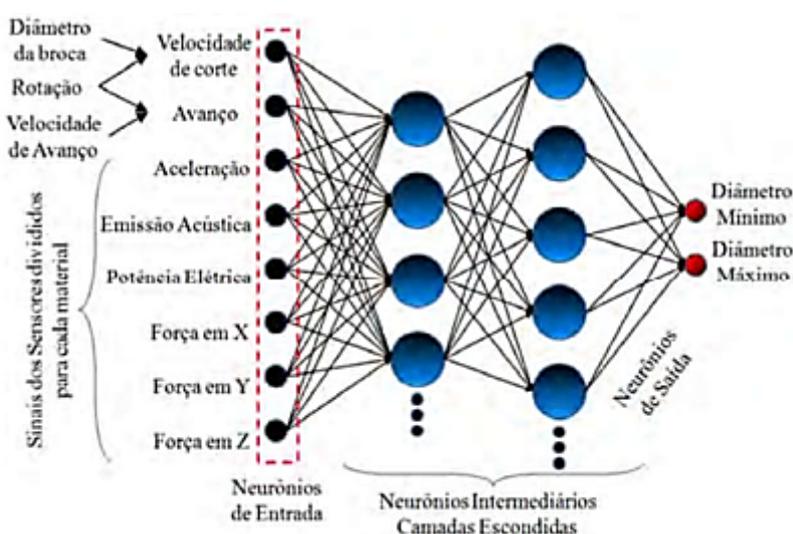


Figura 4 - Arquitetura da rede neural artificial utilizada na estimativa do diâmetro do furo usinado.
Fonte: CRUZ, 2010.

A arquitetura proposta para a estimativa do diâmetro utilizou como parâmetro de entrada na rede a média dos sinais medidos durante ensaios (aceleração, emissão acústica, potência, força em X, força em Y e força em Z). (CRUZ, 2010)

3.1.2 Monitoramento de superfície com redes neurais

As rugosidades de superfícies são definidas através de parâmetros que avaliam o acabamento superficial de um componente. Dentre todos, o mais amplamente usado é a rugosidade média. Este parâmetro de rugosidade consiste na média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento em relação a linha média. Pode ser representada como a altura de um retângulo com área igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e a linha média, e comprimento igual ao percurso da medição (AMORIM, 2002).

Mizuyama (2012), apresenta testes práticos de medições que foram realizadas em um corpo de prova, sempre em três pontos (1, 2 e 3) ao longo do perímetro da superfície, espaçados de 120° , conforme ilustrado na figura 5.

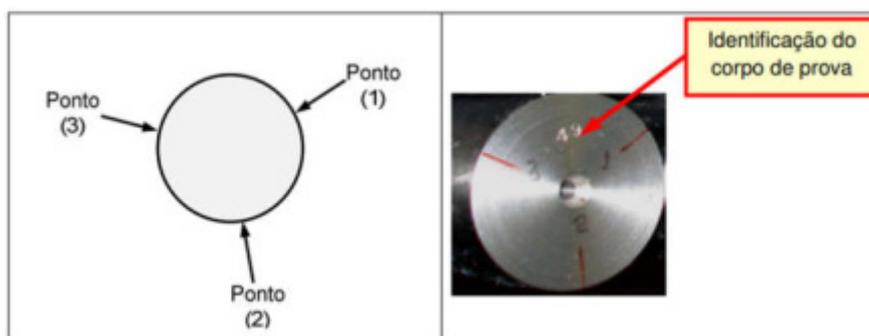


Figura 5 - Pontos de medições de rugosidade ao longo perímetro circular do corpo de prova.
Fonte: MIZUYAMA, 2012.

De posse de todas as medições de rugosidade, todos os valores médios de rugosidade obtidos foram importados para o ambiente Matlab/Simulink, ilustrado no gráfico da Figura 6, os quais compõem o vetor de dados da saída para o treinamento da rede neural artificial. (MIZUYAMA, 2012)

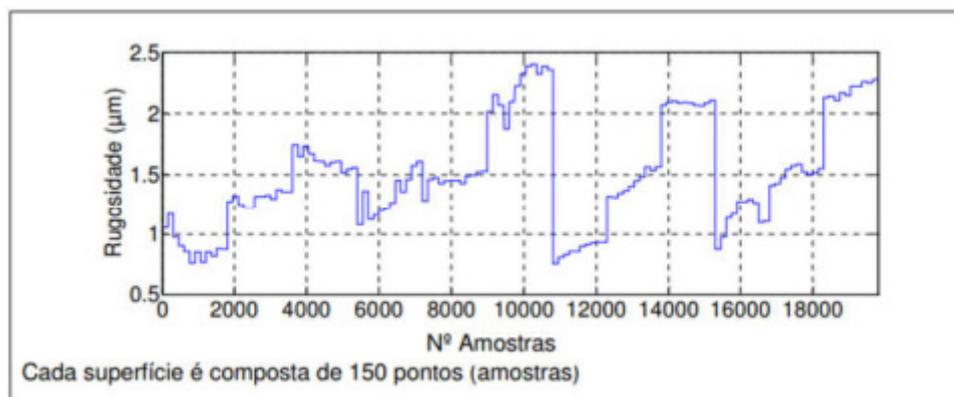


Figura 6 - Valores médios de rugosidade das superfícies usinadas.
Fonte: MIZUYAMA, 2012.

A rede utilizada por Mizuyama (2012), é a *Perceptron* multicamadas e os parâmetros de entrada são as correntes I_a , I_b e I_c que foram avaliados por uma estrutura com seis camadas. Sendo 3 entradas e nas camadas escondidas, 5 neurônios na 1ª camada escondida, 10 neurônios na 2ª camada escondida, 17 neurônios na 3ª camada escondida, 12 neurônios na 4ª camada escondida, 3 neurônios da 5ª camada escondida e 1 neurônio na camada de saída (R_a) durante 4.000 épocas.

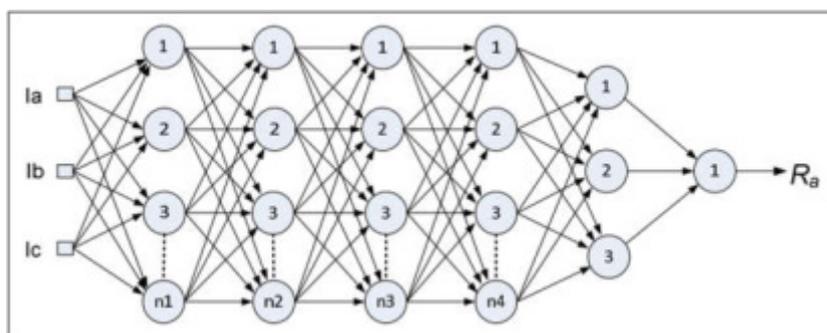


Figura 7 - Configuração da RNA utilizada.
Fonte: MIZUYAMA, 2012.

A estrutura neural com apenas 5 neurônios na camada escondida, apresentou uma resposta com alguns pontos de teste com elevado erro. Para uma outra estrutura com duas camadas escondidas, sendo de 5 neurônios na primeira camada escondida e de 7 neurônios na segunda camada escondida, a estimativa apresentou melhor resposta. Após alguns testes implementando maior número de camadas escondidas e de neurônios, chegou-se à estrutura apresentada na Figura 7. (MIZUYAMA, 2012)

4. CONCLUSÃO

A humanidade sempre desenvolveu o ramo da tecnologia para auxílio de tarefas de uma forma muito mais eficaz. Na recente evolução da indústria 4.0, o desenvolvimento de sistemas neurocomputacionais se torna mais comum e importante para as redes industriais.

O uso de RNAs que simulam o comportamento dos neurônios que formam o nosso cérebro, os quais recebem informações, interpretam e respondem sempre obedecendo uma base lógica matemática, auxiliam na execução de tarefas.

A aplicação de RNAs na mecânica é usada como, exemplo, diagnósticos e prevenção de falhas, mapeamento de superfícies e usinagem, possibilitando a análise de falhas online, sendo capazes de operar sem a ajuda de especialistas na área. Desta forma a ação de RNAs na engenharia mecânica tem como propósito, ajudar o profissional afim de aumentar a precisão, além de deparar-se com novas poses e formas de trabalho, evitando assim falhas humanas nos processos industriais.

Referencias

CARVALHO, Lucimar Maria Fossatti de. **Modelos de aprendizagem para sistemas neurodifusos**. 2007. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CRUZ, CARLOS EDUARDO DORIGATTI. **Estimação do diâmetro e rugosidade em um processo de furação utilizando multi sensores e redes neurais artificiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru, São Paulo, 2010.

FERNEDA, Edberto. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ci. Inf.**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 25-30, jan./abr. 2006. Disponível em: <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzubben/ea072_2s15/topico1_EA072_2s2015_Parte1.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: princípios e prática**. 2. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2001.

KENNY, Elaine Dalledone. **Avaliação do impacto da poluição ambiental no processo da corrosão atmosférica de metais através de redes neurais artificiais**. 2009. Tese (Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

KOVÁCS, Zsolt László. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações: um texto básico**. 4. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MIZUYAMA, DEMERVAL. **Aplicação de redes neurais artificiais como preditor de rugosidade em processo de torneamento**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2012.

SANTOS, André Luís Beloni dos. **Metodologia via redes neurais para a estimativa da rugosidade e do desgaste de ferramentas de corte no processo de fresamento frontal**. 2001. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

TAFNER, Malcon Anderson. **O que são as redes neurais artificiais**. **Revista "Cérebro & Mente"**. Universidade Estadual de Campinas, março/1998. Disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/rna.htm>. Acesso em: 21 mar. de 2019.



AUTORES¹

1 Currículo vide Lattes / Linkendin

Aline Gabriel Freire

Engenheira Têxtil formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pós Graduada em Engenharia de Segurança no Trabalho (UNP). Mestre em Engenharia Têxtil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil (UFRN). Estilista da Confecção formada pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Professora substituta EBTT no IFRN campus Caicó nos cursos técnicos em Vestuário e Têxtil. Docente externa da UFRN através do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego na área têxtil e de moda. Prestadora de serviços do SENAI Clóvis Motta na área têxtil e moda.

Arthur Freire Santos de Freitas

Profissional Bacharel em Engenharia de Produção 10º período (2020.2) pela instituição CEUMA (2020). Iniciou sua carreira sendo Técnico em edificações formado pelo programa Jovem Aprendiz da empresa Vale S/A. Atuou no Grupo Ferraz consultoria, na área de Gestão de Processos, implantando e executando planos de ação para melhoria no gerenciamento da qualidade conforme a ISO 9001. Estagiou na empresa Mills Estruturas e Serviços de Engenharia na área da logística, com apoio na elaboração de senários para ganho de produtividade nas operações de transporte, movimentação e armazenagem do produto. Em 2019 concluiu o intercâmbio de estágio na empresa Suzano Papel e Celulose S/A como estagiário de Planejamento Financeiro, realizando diagnósticos monetários, análise de viabilidade econômica de projetos, composição do custo estrutural das áreas e gerenciamento dos indicadores de desempenho da organização.

Carlos César Almeida Aranha Júnior

Graduado em Engenharia Industrial Mecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2007) e Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Maranhão (2010) é atualmente Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica na Universidade CEUMA, aonde além de conduzir ações de liderança, pesquisa e desenvolvimento tecnológico, ministra aulas nos Cursos de Engenharia: Mecânica, Produção, Elétrica, Ambiental, Civil e Computação. Desenvolveu atividades de ensino em curso profissionalizante do Centro de Ensino Médio e profissionalizante do Maranhão - CEMP. Foi professor dos Cursos de Engenharias Mecânica, Civil e Produção na DEVRV Brasil e Faculdade Pitágoras em São Luís-MA. Possui experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Soldagem. Participa de Grupo de Pesquisa em Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial (GPEAA/UNICEUMA) certificado pelo UNICEUMA no DGP/CNPq que possui foco em construir e desenvolver tecnologias para participação das competições SAE Brasil de Aeromodelismo e BAJA.



Carlos Fernando de Araújo Pereira

Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Pitágoras, São Luís-MA. Técnico de planejamento pela RIP Serviços Industriais.

Cláudia Virgínia Gomes Guerra Miranda

Possui graduação em Química Licenciatura e Bacharelado pela Universidade Federal do Maranhão(2006) e mestrado em Química pela Universidade Federal do Maranhão(2009). Atualmente é Professora da Faculdade Pitágoras de São Luis. Tem experiência na área de Química. Atuando principalmente nos seguintes temas:- quantificação de CO₂, trimetálicos, eletrodepósitos, eletro-oxidação - etanol, CLAE e monóxido de carbono.

Eugenio Mendes Moraes Filho

Possui Curso de Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT) pela Universidade Federal do Maranhão. Atualmente é professor da rede privada de ensino pela Faculdade Pitágoras do Maranhão, professor da rede estadual de ensino do Maranhão e professor na rede municipal de ensino.

Felipe dos Santos Azevedo

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Ceuma, UNICEUMA, Brasil.

Felipe Fonseca Barth

Graduando de Engenharia de Produção pela Universidade CEUMA, cursando o 10º período (2020.2).

Fernanda Steffens

Concluiu o doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho, Guimarães, Portugal (2015). Possui Mestrado em Engenharia Têxtil e Confecção pela Technische Universität Dresden, Alemanha (2011). MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (2008). Graduação em Engenharia Industrial Têxtil pela Faculdade Senai-Cetiqt (2005). Além disso possui experiência na área industrial têxtil. Sua área de atuação consiste em Engenharia Têxtil e Confecção, no desenvolvimento de malhas com comportamento auxético, têxteis técnicos e inteligentes, materiais fibrosos, desenvolvimento de produto e indústria 4.0. Em 2015 iniciou suas atividades como Professora Adjunto com dedicação exclusiva no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é também professora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX) da UFSC.



Fernando Ribeiro Oliveira

Possui graduação em Engenharia Industrial Têxtil pelo Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (2003), mestrado em Química Têxtil (2009) e doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (01/2013). Desenvolveu um projeto de pós-doutorado no Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil na Escola de Engenharia da Universidade do Minho - Portugal (08/2013). Tem experiência de 04 anos na indústria, atuando no desenvolvimento de produto, qualidade, programação e controle da produção na área de têxteis técnicos (2004-2007). Em Agosto de 2013 iniciou suas atividades como Professor de Magistério Superior com dedicação exclusiva no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente é Professor Adjunto nível 4 no Departamento de Engenharias, Campus Blumenau, da Universidade Federal de Santa Catarina, atuando na graduação e pós-graduação. Atua também, como membro permanente, no programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Gleudson Abreu de Jesus

Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Ceuma, UNICEUMA, Brasil.

Hugo Marcelo Silva Pinheiro

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Ceuma, UNICEUMA, Brasil.

Iêda Letícia de Souza Ferreira

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Possui graduação (2015) e Mestrado (2019) em Engenharia Têxtil pela UFRN. Mestrado com bolsa de estudos CAPES. Atuou em pesquisas na área de modificação química de materiais têxteis. Especialmente na área de química têxtil, trabalhou com diversos processos de beneficiamentos. Desenvolveu atividades como estagiária em assessoria técnica de lavanderias hoteleiras e hospitalares. Realizou atividades na área industrial como estagiária no setor de Engenharia de Produto e Processos. Tem experiência como Analista (Jr. e Plena) em Planejamento, Programação e Controle da produção em empresa de grande porte. Possui experiência docente como professora substituta do curso de Engenharia Têxtil (UFRN), em disciplinas das áreas de modificações físicas da matéria, gestão e criação.

Isabella Fernanda Gouveia Santos

Técnica em Estradas na Prefeitura Municipal de Paço do Lumiar. Engenharia Civil pela Faculdade Pitágoras, São Luís-MA. Administração pela Faculdade Estácio de Sá, São Luís-MA.



Isaide de Araujo Rodrigues

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Maranhão (1983), graduação em Química Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (1989) e mestrado doutorado em Química (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo (2000). Foi Secretária da SBQ, Regional Maranhão por dois mandatos (2008-2010 e 2010-2012). Membro do comitê de Ética em Pesquisa no período de 2012 a 2013. Atualmente é professora Titular da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Eletroquímica e Bioeletroquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: Eletrocatalise de pequenas moléculas orgânicas como CO, metanol e etanol. Células a combustível. Estudo de superfícies catalíticas modificadas, eletrocatalisadores a base de platina e outros metais nobres, além de uso de nanopartículas metálicas. Realiza ainda trabalhos estudo dos mecanismos redox de antioxidantes, flavonoides e ácidos fenólicos em frutos regionais. Realizou dois pós doutoramento, o primeiro em 2005 no IQSC-USP, na área de eletroquímica e o segundo em 2015, na Universidade de Coimbra, na área de Bioeletroquímica, sob a supervisão da Profa. Dra. Ana Maria Oliveira Brett, desenvolvendo o projeto intitulado "Mecanismos redox relativos à atividade antioxidante e pró-oxidante de sistemas fenólicos. Atualmente ocupa também o cargo de Chefe do Departamento de Química no biênio 2018-2020.

Josinaldo Pereira Marques

Graduando em Engenharia de Produção pela Universidade CEUMA, cursando o 10º período (2020.2), Técnico em Eletromecânica, ampla vivência em Almoxarifado e Centro de Distribuição com destaque na logística de movimentação de materiais e afins. Autor da publicação do capítulo: "A logística na perspectiva da cadeia de suprimentos (reversa)" no livro A Perspectiva e Abordagens da Gestão Logística no Contexto Urbano e Social pela Editora CEAMA.

Jurandir Amorim Moraes Filho

Técnico em Edificações pelo Senai (2008). Projetista Cadista na Fundação Soudrade de Apoio a UFMA, programa de regularização fundiária do governo do estado do Maranhão (Atual). Técnico Laboratorista do Laboratório de Concreto e Materiais de Construção da UEMA, desenvolvendo projetos voltados ao uso de materiais alternativos incorporados ao concreto (Atual). Graduando de Engenharia Civil pela Faculdade Pitágoras de São Luís. Pós Graduando Latus Senso em Docência do Ensino Superior pela instituição Dom Alberto. Co-autor de artigos científicos, como: Utilização de cinza volante como substituto parcial do cimento Portland na confecção de bloquetes.

Marcelle Fernanda Magalhães Silva

Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Ceuma, UNICEUMA, Brasil.



Marcus Diego S. Santos

Graduando de Engenharia de Produção pela Universidade CEUMA, cursando o 10º período (2020.2). Técnico em Eletrotécnica, gestor de qualidade, PCP com ênfase nos seguimentos de - Produção de moveis planejados e gerenciamento de processos.

Patrício Moreira de Araújo Filho

Atualmente é Professor Adjunto na Universidade CEUMA, atuando nos cursos de Engenharia: Mecânica, Civil, Produção, Ambiental, Elétrica e Computação, nas disciplinas de Estatística, Física I e II, Mecânica Geral, Dinâmica, Vibrações Mecânicas, Ciência dos Materiais e Soldagem. Graduado em Física pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA (1996), Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica, nas áreas de Projetos e Materiais pela Universidade Estadual Paulista "Dr. Júlio de Mesquita Filho" - UNESP (1998 a 2002). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Materiais, Controle de Processo e Metalurgia de Semicondutores: desenvolvimento e aprimoramento de materiais e ligas amorfas, por meio de processos de refino sob vácuo, Bridgman e Fusão Zonal; caracterização de propriedades elétricas e mecânicas. Possui vasta experiência em nível de Graduação e Pós-Graduação, adquiridas durante atuação como docente: *Na área de Engenharia: desenvolveu as disciplinas de Siderurgia e Fundições; Materiais Elétricos; Eletrônica; Resistência de Materiais; Probabilidade, Pneumática e comandos hidráulicos, Processos contínuos, Controle de qualidade, Ciência de Materiais, Resistência dos materiais e Práticas Laboratoriais. *Na área das Ciências Sociais Aplicadas desenvolveu temas correlacionados as disciplinas de Contabilometria, Estatística; Métodos Financeiros, Projetos, Técnica para Tomada de Decisão; Lógica e Matemática, em IES do setor público e privado. Na Pós-Graduação desenvolve atividades de ensino e coordenou os cursos de Matemática-Estatística e Química-Estatística da Faculdade Atenas Maranhense. Foi o Coordenador Geral do CPPE/FAMA e Coordenador do Comitê Interno de Pesquisa, Pós-Graduação e Extensão da Faculdade Atenas Maranhense - FAMA entre os anos de 2009 a Jun/2011. Em Ago/2011 foi nomeado Coordenador de Pesquisa da FAMA e presidente do CEP-FAMA. Exerceu a função de Conselheiro titular, junto a Secretaria de Estado do Meio-Ambiente/MA, com atividades desenvolvidas no Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão\ CONERH-MA (2010-2013) - segmento de Ensino e Pesquisa com atuação na área de Recursos Hídricos. Foi coordenador de Pesquisa e Extensão da Faculdade Pitágoras São Luís/ Maranhão onde realizou pesquisas relacionadas a temas que envolvem as áreas de Física, Mecânica, Estatística, Ciência de Materiais, Tecnologia da Informação e Meio-Ambiente, além de organizar grupos de Iniciação Científica e Eventos. Foi presidente do Conselho da Editora do Centro de Ensino Atenas Maranhense - CEAMA e Editor Chefe (Prefixo Editorial: 89293), sendo também, fundador e editor chefe da Revista Científica Acta Brazilian Science (ISSN 2317-7403) até 2018.
Atualmente desenvolve ações como consultor AD Hoc da: Fundação de Ampara a Pesquisa no Maranhão - FAPEMA, Secretaria de Ciência Tecnologia e Inovação - Blog PopCiência Maranhão e Revista CEUMA



Perspectivas (ISSN 1415-3068) e é Editor Chefe na Editora Pascal (Prefixo Editorial 80751). É líder de grupo de pesquisa registrado no DGP/CNPq e certificado pela UNIVERSIDADE CEUMA, com o título: Grupo de Pesquisa em Engenharia Aero-náutica e Aeroespacial, pelo curso de Engenharia Mecânica, que tem como propósito desenvolver aeronaves não tripuladas e veículo do tipo Baja, além de participar do Programa SAE Brasil.

Wellington da Silva Santos

Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Ceuma, UNICEUMA, Brasil.

Wellington Santos Araujo

Possui graduação em Licenciatura em Física pelo Instituto Federal do Maranhão (2009), com experiência na área da Docência desde 2009, Pós Graduação em Matemática e estatística e Estudante de Mestrado na Área do ensino de Física Com ênfase em Física Geral e Experimental Mecânica, Física Geral e Experimental Energia, Física Geral e Experimental Eletromagnetismo, Gravitação, Onda, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Ótica e Física Moderna, Probabilidade e Estatística, Métodos quantitativa, Calculo Vetorial, Empreendedorismo, Sistema de Informação Gerencial. Professor de Física do Ensino Fundamental, Médio e Superior Professor de Matemática do Ensino Fundamental, Médio e Superior.



ORGANIZADORES

Clebson Santos Cândido



Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2008), graduação em Química pela Universidade Cruzeiro do Sul (2016), mestrado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (2011) e Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (2018). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: hidrologia, análise química e medidores acústicos de vazão.

Marcos André Silva Araújo



Possui graduação em Engenharia civil pela Faculdade Pitágoras (2020), possui pós graduação lato sensu em Docência do Ensino Superior pela Instituição Dom Alberto (2020). Possui Pós Graduação lato sensu em andamento em Pavimentação Asfáltica pela instituição Dom Alberto (2020). Diretor e proprietário da Pilar Engenharia, empresa que atua em vários seguimentos como, Orçamento, Fundações, Projetos, Terraplenagem, obra de artes, consultoria etc. Engenheiro Civil na Edeconsil, atuando em acompanhamento de obras. Fundador e membro da GPIC, Grupo de Pesquisas e Iniciação Científica, com dezenas de publicações nos mais diversos meios de pesquisas voltado para Engenharia Civil.

O objetivo principal desta coletânea é difundir no meio técnico, assuntos inerentes à engenharia, com um rico material de diversos assuntos, o que levará você leitor a um mundo sem fronteiras a cerca da engenharia. Pensado e escrito especialmente para atender a carência de alunos e professores de engenharia, bem como a profissionais da área esta segunda edição do Engenharia Sem Fronteiras preserva as qualidades da primeira edição com um material didático e bem aceito no meio profissional.

ISBN: 978-65-86707-26-7



Pascal
Editora