

ISSN 2316-8382

REVISTA ELETRÔNICA TÉCNICO-CIENTÍFICA DO IFSC

IFSC, nº 7 - Julho 2019
www.ifsc.edu.br

Ácaros fitófagos em plantas cultivadas
e os fatores que interferem em sua
dinâmica populacional

A luz por trás do bem-estar dos frangos

Viabilidade do uso de óleos vegetais usados em
frituras para a produção de biodiesel e
possibilidade de uso do tema em sala de aula

Avaliação da água proveniente de
condicionadores de ar para uso em
aulas experimentais de química

Fabricação de papel utilizando celulose extraída
do bagaço de cana-de-açúcar com adição de
amido, extraído da casca de batata, como aditivo

Degradação lignocelulósica por hidrólise
enzimática visando a produção de Etanol

Ambiente para Simulação da
Operação de Usinas Hidrelétricas

Propagação de Incertezas de Medição
através de Redes Neurais Artificiais
utilizando o Método de Monte Carlo

Projeto conceitual de um Tênis Térmico
baseado na aplicação da metodologia
de desenvolvimento de produto

Análise da sustentabilidade de
duas empresas do setor moveleiro

REITORA

Maria Clara Kaschny Schneider

DIRETORA EXECUTIVA

Silvana Rosa Lisboa de Sá

PRÓ-REITORA DE ADMINISTRAÇÃO

Aline Heinz Belo

PRÓ-REITOR DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL

Andrei Zwetsch Cavalheiro

PRÓ-REITOR DE ENSINO

Luiz Otávio Cabral

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E RELAÇÕES EXTERNAS

André Dala Possa

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

Clodoaldo Machado

EQUIPE EDITORIAL

EDITORES GERAIS

Clodoaldo Machado, IFSC - Reitoria
Jaciera Zarpellon Mazo, IFSC - Reitoria
Luiz Henrique Castelan Carlson, IFSC - Reitoria
Luciane Farias Carneiro, IFSC - Reitoria
Karoline Gongalves Nazário, IFSC - Reitoria

EDITORES / REVISORES DE TEXTO E ORTOGRÁFICO

Viviane Grimm, IFSC - Câmpus Jaraguá do Sul

PROJETO GRÁFICO

Luiza Cavalheiro Leite

DIAGRAMAÇÃO

Bruno Cavalheiro Bertagnolli

Catálogo na fonte pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC Reitoria

Revista técnico-científica do IFSC [recurso eletrônico] / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. - n. 7 (nov. 2018). - Florianópolis: Publicação do IFSC, 2018.
100 p. : il.

Semestral
Inclui bibliografias
ISSN 2316-8382

1. Educação. 2. Ciência e Tecnologia. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. II. Título.

CDD 370

Elaborada por: Camila Koerich Burin - CRB 14/969

EDITORIAL

Desde 2018 o Instituto Federal de Santa Catarina tem desenvolvido um conjunto de ações que visam reorganizar e qualificar as publicações na instituição, dentre elas destacam-se a constituição do Conselho Editorial do IFSC e a proposição da Política Editorial para as produções científicas, que passará a ser o documento norteador das publicações de livros e periódicos do IFSC.

Diante disso, nos próximos meses, a Revista Técnico-Científica do IFSC passará por um processo de reestruturação. Para que estas alterações sejam efetuadas com qualidade, a submissão de novos artigos para avaliação em nosso site está temporariamente suspensa. Em breve reestabeleceremos o fluxo de atividades da revista e divulgaremos as mudanças para a comunidade acadêmica.

Apresentamos esta 7ª edição da revista com 10 artigos, resultantes de pesquisas de caráter teórico, experimental e aplicado, abordando temas relacionados a diversas áreas de conhecimento, dentre elas Agronomia, Engenharia, Administração, Química, Meio Ambiente e Sustentabilidade, consolidando mais uma vez o caráter multidisciplinar da RTC.

VIVIANE GRIMM

Editora RTC-IFSC

CLODOALDO MACHADO

Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (IFSC).

Todos os artigos desta publicação são de inteira responsabilidade de seus respectivos autores, não cabendo qualquer responsabilidade legal sobre o seu conteúdo à Revista Técnico-Científica ou ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). Os artigos podem ser reproduzidos total ou parcialmente, desde que a fonte seja devidamente citada e seu uso seja para fins acadêmicos.

SUMÁRIO

Ácaros fitófagos em plantas cultivadas e os fatores que interferem em sua dinâmica populacional	07
A luz por trás do bem-estar dos frangos	18
Viabilidade do uso de óleos vegetais usados em frituras para a produção de biodiesel e possibilidade de uso do tema em sala de aula	27
Avaliação da água proveniente de condicionadores de ar para uso em aulas experimentais de química	35
Fabricação de papel utilizando celulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata, como aditivo	40
Degradação lignocelulósica por hidrólise enzimática visando a produção de Etanol	52
Ambiente para Simulação da Operação de Usinas Hidrelétricas	62
Propagação de Incertezas de Medição através de Redes Neurais Artificiais utilizando o Método de Monte Carlo	70
Projeto conceitual de um Tênis Térmico baseado na aplicação da metodologia de desenvolvimento de produto	78
Análise da sustentabilidade de duas empresas do setor moveleiro	89

**BOA
LEITURA!**

01 ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE INTERFEREM EM SUA DINÂMICA POPULACIONAL

NATHÁLIA LEAL DE CARVALHO

*Departamento de Estudos Agrários (DEAg/UNIJUÍ), Professor do curso de Agronomia.
nathalia.carvalho@unijui.edu.br*

AFONSO LOPES DE BARCELLOS

*Contador, Mestre em Desenvolvimento Rural (UNICRUZ).
lopesdebarcellos@gmail.com*

VALÉRIA ESCAIO BUBANS E LUANA JENSEN PIETCZK

*Grupo de Estudos em Manejo Integrado de Pragas, Departamento de Estudos Agrários (DEAg/UNIJUÍ), Curso de Agronomia.
valeriabubans@hotmail.com
luana.pietczak@gmail.com*

RESUMO

Os ácaros fitófagos podem causar danos em culturas anuais, frutíferas e florestais, sendo as principais pragas associadas às espécies vegetais cultivadas. Vários fatores podem afetar sua dinâmica populacional e contribuir para que estes atinjam níveis populacionais capazes de causar nível de dano econômico em culturas agrícolas. O presente estudo teve o objetivo de estudar, por meio de uma revisão de literatura, os fatores ambientais que podem interferir na dinâmica populacional de ácaros. A temperatura é o fator que mais afeta a população de tetraniquídeos, variando, porém, de acordo com a espécie, sendo que temperaturas elevadas e baixa umidade relativa favorecem o desenvolvimento populacional, enquanto que chuvas abundantes contribuem para a redução da infestação. Pesquisas que abordem a relação ácaros-planta hospedeira e os fatores que interferem a dinâmica populacional e o potencial biótico dos tetraniquídeos são de suma importância para pesquisadores, produtores e para os sistemas de produção agrícola.

PALAVRAS-CHAVE

Tetranychidae. Precipitação pluviométrica. Déficit hídrico. Dano econômico. Ácaro-planta hospedeira.

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

INTRODUÇÃO

Os ácaros da Família Tetranychidae apresentam grande importância econômica em todo o mundo, pois podem causar consideráveis prejuízos em diversas culturas, entre elas a alfafa, algodão, berinjela, café, feijão, maçã, morango, pêssego, pimentão, soja, tomate, plantas ornamentais, entre outras, sendo a espécie *Tetranychus urticae* a mais importante, pois em situações nas quais ocorrem altas infestações (acima de 50 ácaros/folhíolo), estes podem causar descoloração de folhas, perda da capacidade fotossintética e queda prematura das folhas. Há relatos de injúrias causadas por ácaros às plantas cultivadas já a partir da década de 1940, o que acaba coincidindo também com o início do uso de agrotóxicos sintéticos (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Diversas são as razões que se atribuem ao aumento dos problemas causados por ácaros fitófagos: desenvolvimento de variedades mais produtivas e mais susceptíveis; sistemas de cultivo, com a eliminação de espécies indesejáveis, que serviam de habitat para espécies de ácaros predadores (ROGGIA, 2010); transporte de plantas, facilitando a dispersão de ácaros; uso de pesticidas para controle de pragas, eliminando também os inimigos naturais (MORAES; FLECHTMANN, 2008); e, por fim, fatores climáticos favoráveis ao desenvolvimento de ácaros fitófagos como altas temperaturas e baixa umidade (SIQUEIRA, 2011).

Quando se relacionam os elementos meteorológicos, entre eles a temperatura, percebe-se que esta afeta diretamente a dinâmica populacional de tetraniquídeos, variando de acordo com a espécie. Isto acontece porque, durante a ocorrência de períodos secos com baixa umidade relativa e alta temperatura, os ácaros têm uma alta taxa de reprodução. Além disso, as plantas, quando submetidas a períodos de déficit hídrico, alteram seu metabolismo secundário, produzindo substâncias que atraem os ácaros e aumentam seu potencial biótico (FALCONI, 2007).

Porém, condições de temperaturas baixas ou

mudanças bruscas de temperatura reduzem suas populações. Outro fator de importância é a umidade relativa que, quando alta e contínua, provoca redução na população da praga, por afetar sua oviposição, eclosão das larvas e menor longevidade. A precipitação é outro fator que ajuda a diminuir as populações, pois as chuvas fortes não somente causam um aumento da umidade relativa, como também lavam as folhas, podendo ocorrer a eliminação dos ácaros por afogamento ou pelo golpe direto das gotas de água (PEDRO NETO, 2009).

Desse modo, esta pesquisa objetivou discorrer sobre as injúrias causadas pelos ácaros de importância agrícola, discutir aspectos sobre a interação ácaro-planta hospedeira, abordar como os fatores climáticos (temperatura, umidade e precipitação pluviométrica) interferem no ciclo biológico, e, por fim, o efeito do déficit hídrico da planta hospedeira em relação à dinâmica populacional.

1 ÁCAROS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA

Os ácaros constituem um grupo de pequenos invertebrados, cuja designação é comum a algumas espécies (excluindo os carrapatos que compõem a ordem Ixodida) do filo Arthropoda, subfilo Chelicerata, classe Arachnida e da subclasse Acarina (=Acari), subclasse à qual pertencem mais de 30.000 espécies conhecidas. Possivelmente, existem muitas outras não classificadas, pois além dos ácaros terrestres há ainda os aquáticos e marinhos. Os ácaros correspondem ao segundo maior grupo de artrópodes depois dos insetos (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

O grupo tem natureza cosmopolita, estando representado na generalidade dos habitats e zonas climáticas. Os primeiros registros na terra ocorreram após a Era Pré-Cambriana, aproximadamente a 400 milhões de anos atrás (NORTON et al., 1993). Os ácaros diferem dos demais aracnídeos por não terem o corpo segmentado, e sua estrutura característica é o gnatossoma, que apresentam a presença de quelíceras, as quais, em espécies fitófagas são modificadas em

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE INTERFEREM EM SUA DINÂMICA POPULACIONAL

estiletes. Diferem-se dos insetos por apresentarem quatro pares de pernas e não possuem antenas (FLECHTMANN, 1983).

Os ácaros apresentam uma grande diversidade em sua morfologia, correspondente com suas características comportamentais (ROGGIA et al., 2008). Pode-se reconhecer duas categorias de ácaros, a de vida livre e a de parasita. Entre as formas de vida livre, quanto à sua alimentação, podem ser fitófagos, saprófagos, coprófagos, necrófagos, fungívoros, polinófagos, foréticos (utilizam outros artrópodes como meio de dispersão), parasitos e predadores (ROGGIA, 2010).

As espécies fitófagas são responsáveis por causar prejuízos econômicos às plantas cultivadas em todo planeta, alimentando-se da parte aérea e subterrânea de culturas anuais, frutíferas, hortícolas, ornamentais florestais e ainda de plantas daninhas (ROGGIA et al., 2008).

A respiração pode ser traqueal nas espécies que possuem estigmas ou através do tegumento nas espécies ausentes. Apresentam órgãos sensoriais em forma de setas ou cerdas (PEDRO NETO, 2009).

Os estágios de desenvolvimento podem ser ovo, larva, ninfa de 1º instar (protoninfa), ninfa de 2º instar (deutoninfa) e adulto. No início de cada instar, nos estágios de ninfa a adulto, ocorre um período em que o ácaro permanece na forma "inativa". Essas "fases inativas" são chamadas de protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida (ANDRADE et al., 2008).

A maioria das espécies é ovípara. Os ovos são colocados isolados ou agrupados. O período de desenvolvimento de ovo a adulto varia de 5 a 50 dias (dependendo da temperatura), sendo de aproximadamente 6,2 dias a 29,4°C. Cada fêmea coloca em média 40 ovos (podendo chegar a 140 ovos) durante a sua vida (NORTON et al., 1993).

A reprodução ocorre por fertilização com a subsequente produção de uma descendência de machos e fêmeas e também por partenogênese arrenótoca em que os ovos não fertilizados dão origem

a machos e telítoca que geram fêmeas (FLECHTMANN, 1983).

Das principais espécies de ácaros praga, 60% pertencem à família Tetranychidae e, destes, 75% pertencem aos gêneros Tetranychus, Oligonychus e Eotetranychus (YANINEK; MORAES, 1990).

No Brasil, entre 20 a 30 espécies causam danos em plantas cultivadas (MORAES; FLECHTMANN, 2008), ocorrendo principalmente o ácaro rajado *Tetranychus urticae* (KOCH, 1836), o ácaro verde *Mononychellus planki* (McGREGOR, 1950), os ácaros vermelhos *Tetranychus desertorum* (BANKS, 1900), *Tetranychus ludeni* (ZACHER, 1913), *Tetranychus gigas* (Arachnida: Tetranychidae) (ROGGIA et al., 2008), e o ácaro branco, *Polyphagotarsonemus latus* (BANKS, 1904), (Arachnida: Tarsonemidae) (ROGGIA, 2010).

O manejo desses ácaros exige medidas de prevenção e controle que oneram os custos de produção e tornam a atividade menos lucrativa.

2 DANOS CAUSADOS PELOS ÁCAROS FITÓFAGOS

Ao se alimentar os tetraniquídeos introduzem seus estiletes no tecido vegetal das plantas e removem o conteúdo celular exsudado (FLECHTMANN, 1983). Geralmente preferem as folhas já formadas e em espécies arbóreas nas folhas da parte inferior ou superior da copa, mas quando a população atinge níveis elevados eles se dispersarão, podendo atingir os frutos (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Cada espécie tem preferência pela face inferior ou superior da folha. Os que se alimentam da face inferior causam danos ao parênquima lacunoso e as células do parênquima paliádico entram em colapso. Já os que se alimentam da face superior atacam o parênquima paliádico e podem danificar o parênquima lacunoso adjacente (ROGGIA, 2010).

Inicialmente, o ataque resulta na coloração esbranquiçada ou prateada dos folíolos, devido ao esvaziamento das células e remoção dos cloroplastos, passando para a coloração amarelada e,

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

posteriormente, apresentando a cor marrom devido à oxidação das áreas atacadas (ROGGIA et al., 2008). O rompimento das células, a remoção da clorofila e a ação da saliva injetada pelos tetraniquídeos leva a disfunções nas folhas (ROGGIA et al., 2008) aumento da taxa de transpiração, resultando em um déficit hídrico e bloqueio da síntese de amido, acarretando um aumento na concentração de precursores, favoráveis ao desenvolvimento de ácaros. Em geral, o dano se confunde com o estresse hídrico (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Populações elevadas podem causar manchas necróticas e queda prematura das folhas, gerando perdas acentuadas na produção. Este dano pode ser confundido com o causado por estresse hídrico (ROGGIA, 2010).

Os tetraniquídeos podem injetar toxinas, reguladores de crescimento e transmitir vírus durante a alimentação causando severos prejuízos a planta hospedeira (FLECHTMANN, 1983). São pragas severas que atacam a mandioca, sendo encontrados em grande número na face inferior das folhas, frequentemente durante a estação seca do ano, podendo causar danos consideráveis. Os sintomas típicos do dano são manchas cloróticas, pontuações e bronzeamento no limbo, morte das gemas, deformações e queda das folhas, reduzindo a área foliar e a fotossíntese. As espécies mais importantes são o ácaro verde e o ácaro rajado (ROGGIA, 2010).

Em cafeeiros, tem se verificado que ataques de tetraniquídeos reduzem reservas necessárias à diferenciação floral posterior ao ataque (MORAES; FLECHTMANN, 2008). O ácaro-vermelho do cafeeiro, *O. ilicis*, causa injúrias às folhas do cafeeiro, destruindo células para sucção do conteúdo celular, reduzindo a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção (REIS et al., 2000).

No algodoeiro, o ácaro rajado *T. urticae* se destaca como praga de importância econômica, pois se desenvolve na superfície abaxial das folhas e causa manchas avermelhadas na superfície adaxial;

posteriormente, ocorre necrose e queda das folhas, além de efeitos indiretos, afetando as características das fibras e das sementes (ESTEVEZ FILHO, 2008).

No pessegueiro causam remoção dos tecidos superficiais da folha e perda de seiva junto às primeiras camadas do tecido foliar, provocando amarelecimento ao longo e lateralmente à nervura central, ou bronzeamento em infestações mais severas, com reduções qualitativas e quantitativas de vários níveis nos frutos, podendo ser vetores de importantes viroses (MONTES; RAGA; MINEIRO, 2010).

As colônias do Ácaro vermelho *Tetranychus bastosi* Tuttle (Acari: Tetranychidae) (BAKER; SALES, 1977) normalmente iniciam seu ataque na base da lâmina foliar, junto às nervuras principais e ao pecíolo, do Pinhão Manso, dispersando-se gradualmente para todos os lados do limbo foliar, produzindo um padrão difuso de manchas amareladas. Essas manchas tomam toda a folha, que necrosam e caem (RODRIGUES, 2010).

As populações de ácaros se desenvolvem em soja sob condições de seca ou estiagens prolongadas e em períodos de temperatura elevada. O ataque inicia em bordas de lavouras, nas plantas sob a sombra ou em manchas de lavouras sobre plantas estressadas (ROGGIA, 2010).

3 INTERAÇÃO ÁCARO-PLANTA HOSPEDEIRA

As plantas podem hospedar um grande número de insetos, nematoides e ácaros, que são pragas de culturas de importância econômica. Dependendo da espécie, pode favorecer a inimigos naturais de pragas pelo fornecimento de pólen, néctar, abrigo, locais de reprodução, presas e hospedeiros alternativos durante períodos de entressafra ou quando esses recursos não estão disponíveis nas plantas cultivadas (ANDRADE et al., 2008).

Um organismo ou uma espécie não ocorre isoladamente, pois ela faz parte de um sistema complexo e interdependente com outros organismos,

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

sendo que a dinâmica de todos é afetada mutuamente. Como exemplo, pode-se citar o cultivo de pepino em casa de vegetação na Europa, em que ocorre tanto o ácaro rajado e tripses. Toda vez que detectam a presença do *T. urticae*, o controle é realizado através do ácaro predador *Phytoseiulus persimilis* e/ou *Neoseiulus californicus*. Essas interações são comuns em sistemas complexos e passaram a influenciar no desempenho de todos os indivíduos (SILVA et al., 2012).

O valor nutricional da planta exerce papel importante no crescimento da população de ácaros em determinada cultura; no entanto, os fatores relacionados com o seu estabelecimento são mais relevantes (SIQUEIRA, 2011).

As condições da planta hospedeira podem interferir na magnitude do ataque de tetraniquídeos. A maior incidência em um determinado cultivo pode ocorrer devido aos efeitos diretos e indiretos da espécie vegetal ou da cultura sobre os ácaros. Os efeitos diretos de uma planta sobre os ácaros se devem ao valor nutricional desta (FLECHTMANN, 1983), bem como a aspectos morfológicos e bioquímicos constitutivos da planta que podem afetar os ácaros e, como efeito indireto, à adaptação e o desenvolvimento da população de tetraniquídeos sobre a planta hospedeira, que pode ser influenciada pela presença de inimigos naturais e pela produção de substâncias tóxicas que podem atrair ou repelir os ácaros ou pelo desenvolvimento de mecanismo de resistência da planta (ROGGIA, 2010).

As folhas de algumas plantas podem ter características morfológicas diferentes, como a presença de domácias (são pequenas estruturas presentes na face inferior das folhas de diversas plantas de importância agrícola e são tipicamente habitadas por ácaros predadores e fungívoros que provêm benefícios às plantas), pelos, ceras, que induzem a formação de um micro habitat, que modificam as interações e o desenvolvimento de ácaros e ou predadores, tricomas glandulares que funcionam como armadilhas, provocando desidratação e, por fim, a produção de compostos voláteis e plantas de

diferentes famílias. Observou-se que *T. urticae* prefere determinados hospedeiros, sendo que as espécies de maior aceitação são fumo, soja, lúpulo e chuva de ouro (BOOM; BEEK; DICKE et al., 2003).

A estrutura morfológica de variedades de alho-poró pode afetar a densidade populacional de *T. tabaci* (DUCHOVSKIENE, 2006).

Observou-se o efeito do manejo das plantas adventícias que nascem entre as linhas de café orgânico, as quais podem estar servindo de refúgio para ácaros predadores da família Phytoseiida. Constatou que, independente do manejo das plantas adventícias, o ácaro predador é mais encontrado em períodos mais secos, período também favorável aos ácaros-praga do café. A manutenção dos ácaros predadores na cultura no período seco pode resultar na redução dos ácaros-praga, minimizando o uso de insumos externos para o seu controle (PEDRO NETO, 2009).

Analisou-se a biologia e comportamento de *T. urticae* e do seu predador, *Phytoseiulus macropilis*, em algodoeiro Bt e não-Bt durante três gerações consecutivas. O algodoeiro Bt não afetou o tempo de desenvolvimento, a viabilidade das formas imaturas e a reprodução dos dois ácaros. Também a preferência para a colonização e postura de *T. urticae* e de *P. macropilis* foram similares entre os algodoeiros Bt e não-Bt. Além disso, não houve alteração na preferência de *P. macropilis*, quando predando de *T. urticae* criado em algodoeiro Bt e não-Bt. O ácaro rajado adquiriu e concentrou em seu corpo aproximadamente 3,97 vezes a quantidade de CryI_{Ac} expressada na planta de algodoeiro (ESTEVES FILHO, 2008).

Diferentes níveis de infestação de *T. tabaci* foram encontrados em cultivares de soja e a incidência foi atribuída à estrutura da folha, à densidade de tricomas, maciez dos tecidos e tamanho dos folíolos, sendo que as características de crescimento afetaram a população do tetraniquídeo (SEDETARIAN et al., 2010).

Utilizando a planta *Coprosma lucida*, JR & G. Forst,

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

espécie nativa e endêmica da Nova Zelândia, para comparar habitats contrastantes como mata nativa, plantações florestais e pastagens, concluiu-se que o habitat mata nativa apresentou um maior número de espécies de ácaros, sendo encontrado um percentual de 63%. Em florestas cultivadas, foram encontradas 38% e apenas 25% em pastagens. Contudo, em pastagens, a planta *C. lucida* apresentou uma maior densidade de ácaros e maior sucesso de colonização. E ainda as espécies de ácaros encontrados em pastagens foram significativamente diferentes dos outros dois tipos de vegetação. Apenas a espécie *Orthotydeus californicus* ocorreu tanto em mata nativa como em florestas plantadas (O'CONNELL et al., 2010).

Pragas estabelecem relações ecológicas com o ambiente e com outros organismos de várias maneiras, sendo uma delas a comunicação por compostos químicos, chamados de semioquímicos, geralmente oriundos do metabolismo secundário, que se relacionam com a defesa da planta (ZARBIN, 2010). Dessa forma, ocorre uma corrida bioquímica co-evolutiva, na qual uma planta desenvolve substâncias tóxicas para se defender de ácaros fitófagos e alguns desses conseguem superar essas defesas, tornando-se, assim, especialistas capazes de desintoxicar ou sequestrar as toxinas vegetais. A capacidade dos insetos de assimilar essas substâncias representa uma vantagem, uma vez que este alimento será utilizado por poucos herbívoros, diminuindo a competição; além disso, estas substâncias podem ser utilizadas pelos insetos para proteção contra agentes patogênicos e ou até mesmo predadores (MELLO; SILVA-FILHO, 2002).

Os ácaros predadores *P. persimilis* e *N. californicus* são usados para controlar o ácaro-rajado. Os resultados dos estudos comportamentais mostraram que algumas destas espécies são atraídas para a mesma planta e não evitam plantas ocupadas por outras espécies. Porém, podem haver interações complexas como predação intraguilda de *O. laevigatus* sobre *P. persimilis*, pois competições e interferências são mais prováveis de ocorrer entre predadores que

são atraídos para as plantas que possuem as mesmas espécies de herbívoros. No entanto, a ocorrência e a intensidade das interações entre os insetos que são atraídos para as plantas com mesma presa podem ser reduzidas porque os predadores evitam plantas ocupadas com outros predadores (SILVA et al., 2012).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos para avaliar a preferência e não preferência de *T. urticae* a diferentes cultivares de soja (ANDRADE et al., 2008; BOOM, BEEK; DICKE et al., 2003).

4 EFEITO DOS FATORES CLIMÁTICOS SOBRE AS POPULAÇÕES DE TETRANIQUÍDEOS

Vários fatores podem afetar a dinâmica populacional dos tetraniquídeos e contribuir para que estes atinjam níveis populacionais capazes de causar injúrias aos cultivos agrícolas. É possível que haja uma ação integrada entre estes diversos fatores, o que acontece comumente nas espécies de artrópodes (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Entre os principais fatores climáticos favoráveis ao desenvolvimento de ácaros, estão os períodos de estiagem, com baixa umidade relativa do ar, aliada à temperatura em torno de 25°C. As condições meteorológicas também têm efeito sobre os ácaros predadores agentes de controle biológico assim como de outras epizootias naturais (ANDRADE et al., 2008).

Autores citam a influência dos fatores climáticos nas infestações ocasionadas por ácaros fitófagos, como Roggia (2010), que se refere à maior ocorrência de ácaros na safra 2004/05, em relação a safras 2002/03 e 2003/04, devido aos períodos de baixa precipitação pluviométrica.

4.1 Efeito da Umidade

Durante os períodos secos (baixa umidade relativa e alta temperatura), os ácaros têm uma alta taxa de reprodução. Além disso, o aumento da população dos ácaros varia segundo a planta hospedeira, o seu estado nutricional e a presença de inimigos naturais

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE INTERFEREM EM SUA DINÂMICA POPULACIONAL

(ROGGIA, 2010). A umidade relativa, quando alta e contínua, provoca redução na população da praga, por afetar sua ovoposição, eclosão e sobrevivência das larvas e aparecimento de inimigos naturais.

Os ácaros tetraniquídeos colocam mais ovos e vivem mais tempo em condições de baixa umidade atmosférica em relação a condições de atmosfera saturada, porque aumenta sua capacidade de ingestão e aproveitamento de alimento em condições de ambiente seco e há uma maior perda de umidade do corpo, através da cutícula (ANDRADE et al., 2008).

A população de tetraniquídeos geralmente é mantida em equilíbrio pela presença de inimigos naturais. Períodos de estiagem provocam surtos de ácaros em culturas agrícolas porque perturbam este equilíbrio, aumentando a velocidade de reprodução das espécies de ácaros praga, o que não acontece com as espécies predadoras, além de diminuir a incidência de doenças fúngicas, melhorando a qualidade da planta hospedeira e contribuindo para que os fitófagos se estabeleçam (CULLAN; SCHRAMM, 2009).

As fêmeas de tetraniquídeos põem um número maior de ovos e têm maior longevidade quando em ambiente com baixa umidade relativa, sendo que as larvas sobrevivem precariamente em ambiente de elevada umidade (ANDRADE et al., 2008).

Através de levantamentos bissemanais de folhas, ramos e frutos, entre setembro de 1997 e maio de 2000, foi constatada na região Sul de Minas, MG, a ocorrência de *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) (GEJSKES, 1939), ácaro vetor do vírus causador da mancha-anular do cafeeiro, durante o ano todo, porém em menor quantidade no período compreendido entre outubro-novembro a fevereiro-março, coincidindo com a época das chuvas e temperaturas elevadas na região. A maior população foi encontrada no período mais seco do ano e com temperaturas amenas, que vai de fevereiro-março a outubro-novembro. Foi constatada também a ocorrência de inimigos naturais, como ácaros predadores pertencentes às famílias Phytoseiidae,

Stigmaeidae, Bdellidae e Tetranychidae (REIS et al., 2000).

A baixa umidade do solo e temperaturas acima de 27°C, promoveram a reprodução de *T. urticae* (WHITE; LIBURD, 2005)

A seca prolongada aumenta população do ácaro rajado (*T. urticae*) em cultivos comerciais de soja, feijão alfafa e milho (CULLEN; SCHRAMM, 2009).

Em solos de várzea encontra-se um ambiente com maior umidade do solo, o qual cria um microclima desfavorável ao desenvolvimento de tetraniquídeos e favorável ao desenvolvimento de inimigos naturais (OLIVEIRA et al., 2011).

4.2 Efeito Da Temperatura

A temperatura é um dos fatores de maior influência na população de ácaros, sendo que temperaturas baixas ou mudanças bruscas reduzem suas populações (ROGGIA, 2010).

Os ácaros têm um ciclo de vida simples, que é dependente da temperatura, podendo variar o ciclo entre 5 a 19 dias. Temperaturas mais quentes aceleram a velocidade de reprodução da maioria das espécies, enquanto temperaturas mais baixas podem retardar o ciclo. Cada fêmea pode produzir até 100 ovos por vez e a população pode aumentar até 70 vezes entre 6 a 10 dias, dependendo das condições climáticas (CULLEN; SCHRAMM, 2009).

Bonato, Mapangou-Divasse e Gutierrez (1995) revelou que tetraniquídeos conseguem se desenvolver em uma ampla faixa de temperatura, de 10,3 a 38°C. Este fato, somado à disponibilidade e qualidade do alimento, influenciam diretamente na duração do ciclo destes ácaros.

O ritmo de postura de fêmeas de *T. urticae* aumentou de acordo com a elevação da temperatura, reduzindo o período de oviposição. A temperatura influi na duração das fases de desenvolvimento, na longevidade das fêmeas e no período de ovoposição. Observou-se também que o hospedeiro influi na duração do período de ovo a adulto, na longevidade de

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

machos, na capacidade de postura e na sobrevivência das fases de desenvolvimento e adulta, porém não influi na duração dos períodos de incubação, pré-oviposição e oviposição e na longevidade de fêmeas de *T. urticae* (BERTOLLO, 2007).

O ciclo biológico do ácaro rajado pode se completar em três semanas sob temperatura de 20 °C e sob temperatura de 30 °C o ciclo se completa em apenas uma semana. Cada fêmea oviposita mais de uma centena de ovos. Com base no ciclo biológico de uma semana e a produção de 50 fêmeas, em quatro semanas cada ácaro pode dar origem a mais de seis milhões de ácaros fêmeas (ROGGIA et al., 2008).

Em cultivo de tomate, a multiplicação do *T. evansi*, acontece em aproximadamente nove dias nos meses mais quentes (>20°C) e secos, sendo considerada a praga mais importante na África do sul. Este ciclo aumenta para 15 a 20 dias no inverno. Geralmente, estes ácaros atacam os brotos e frutos, sugando o conteúdo. Períodos de estiagem e ventos favorecem o desenvolvimento e cultivos irrigados ou em períodos chuvosos desfavorecem o desenvolvimento (CUJANE, 2008).

4.3 Efeito da Precipitação

A precipitação pluvial é um elemento natural importante para a manutenção da vida na Terra, sendo indispensável para os processos ecológicos, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de água para as plantas e a atividade biológica do solo, além de ser fator condicionante para a agricultura (PEDRO NETO, 2009).

O aumento da temperatura tem influência direta na precipitação, podendo ocorrer redução de 10% a 30% em todas as regiões brasileiras, prejudicando diretamente a produção de alimentos (MOLION, 2008).

A precipitação pluvial diminui, por meio de ação mecânica, as populações de pragas importantes em várias culturas. Há diversos relatos sobre a influência da precipitação pluvial nas densidades populacionais

de insetos e ácaros (FRANCO et al., 2008; PEDRO NETO, 2009; ROGGIA, 2010; REIS et al., 2000; SILVA et al., 2012).

A precipitação ajuda a diminuir as populações de ácaros, pois as chuvas fortes causam aumento da umidade relativa, como também lavam as folhas das plantas, podendo ocorrer eliminação dos ácaros por afogamento ou pelo golpe direto das gotas de água (PEDRO NETO, 2009).

Algumas espécies de tetraniquídeos como, por exemplo, *T. bastosi*, produzem grande quantidade de teia sobre suas colônias, o que prejudica a arquitetura da planta, atrapalhando a captação da luz solar pelas folhas. Para as colônias, a teia tem a função principal de dificultar o forrageamento de predadores, além de protegê-las da ação destrutiva das chuvas, estabelecendo o domínio local da espécie, favorecendo um microclima ideal para a incubação dos ovos (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

A flutuação populacional do ácaro da Leprose dos Citros, *Brevipalpus phoenicis* (GEIJSKES, 1939) (SAYED, 1946) (Acari: Tenuipalpidae) estudada em pomar comercial no município de Taquari, Rio Grande do Sul, foi influenciada pela umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Relativamente ao ácaro da *B. phoenicis*, especula-se que condições inadequadas de manejo da cultura dos citros, como a falta de água, influencia sua população. Mesmo ocorrendo na cultura de citros durante todo o ano, sua maior incidência ocorre nos meses com estiagem. No inverno, ocorre seu pico populacional, decrescendo gradativamente, na medida em que a precipitação pluviométrica aumenta. Quanto mais longo o período de falta de chuvas, melhores serão as condições para o crescimento da população desse ácaro (OLIVEIRA et al., 2011). Nos períodos mais chuvosos e, com maior umidade relativa do ar, que coincidem com os meses de outubro a março, há uma menor ocorrência do ácaro (FALCONI, 2007).

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

INTERFEREM EM SUA DINÂMICA POPULACIONAL

O efeito da temperatura, da umidade e da precipitação mostraram-se bem relacionadas com as populações de *T. urticae* em citros. O aumento populacional esteve relacionado com a menor precipitação, enquanto que flutuações de temperatura tiveram menor efeito entre as diferentes estações do ano (PASCUAL; FERRAGUT, 2003).

Os ácaros fitófagos *Dichopelmus notus* Keifer e *Oligonychus yothersi* (McGREGOR) tiveram picos populacionais no período de temperatura amena e baixa precipitação pluviométrica, no cultivo de erva-mate em Dois Vizinhos, PR (GOUVEA et al., 2006).

Pedro Neto (2009) estudando a espécie, *O. ilicis*, em sistema de produção de café orgânico e convencional, durante os meses junho de 2006 a julho de 2008, concluiu que a precipitação pluvial influencia a densidade populacional de ácaros encontrados nos dois sistemas, em períodos de menor precipitação, tendendo-se a encontrar números maiores de ácaros em ambos os sistemas. No sistema orgânico ocorreu menor oscilação das espécies encontradas. Franco et al. (2008) observaram que o período de menor ocorrência de *O. ilicis* coincide com o período chuvoso. A correlação da precipitação pluvial foi negativa para o número total de ácaros encontrados nos dois sistemas de produção, demonstrando que a precipitação pode ser um método mecânico de controle de ácaros na cafeicultura. No sistema de produção orgânica, a precipitação não foi significativa, indicando que a acarofauna não depende da precipitação, isso devido à presença de plantas arbóreas nas bordas e entre as plantas de café, servindo de barreira. Já no sistema de produção convencional, a precipitação pluvial foi significativa no total de ácaros e no número de ácaros-praga, e não foi significativa para o total de predadores (PEDRO NETO, 2009).

Chuvas intensas e períodos prolongados com elevada umidade relativa do ar resultam na diminuição da taxa reprodutiva das fêmeas de tetraniquídeos na cultura da soja (ROGGIA 2008; ROGGIA et al., 2009).

Em pomares de citros em Descalvo, SP, a espécie *P. citri* obteve correlações negativas para temperatura e precipitação, ou seja, condições mais quentes e chuvosas foram desfavoráveis para o ácaro-praga. O maior pico populacional para essa espécie foi observado entre junho e julho (SILVA et al., 2012).

A temperatura e a precipitação não influenciaram a população do ácaro *Calacarus heveae*, e o ácaro *Tenuipalpus heveae* teve aumento na quantidade de indivíduos com a diminuição da temperatura e da precipitação pluviométrica no cultivo da seringueira (HENRIQUE; MARUYAMA, 2012).

4.4 Efeito do estresse hídrico da planta hospedeira e a população de ácaros

O conceito de estresse implica a presença de um fator externo à planta, que exerce influência negativa sobre seu desenvolvimento. Durante todo seu ciclo, as plantas estão expostas a um grande número de condições e fatores estressantes, que podem ser agrupados em bióticos (insetos, ácaros, fungos, vírus, etc.) e abióticos (estresse hídrico, salino, temperatura, nutricional, entre outros) (FALCONI, 2007). Como resposta ao estresse, as plantas acumulam hormônios rapidamente, induzindo a expressão de genes que codificam proteínas que fazem parte da resposta a adaptações às condições adversas (TADEO, 2000).

O estresse hídrico ocorre sempre que as condições ambientais levam à insuficiente absorção ou transporte de água pela planta para que essa recupere a água perdida pela transpiração. Severos estresses inibem o crescimento vegetativo da planta e/ou crescimento do fruto, causando murchamento e queda de folhas. É conhecido por causar a queda das folhas em algumas plantas, a qual pode ser potencializada quando o estresse é combinado com o dano causado por ácaros, infecção patógena ou outros estresses (ANDRADE et al., 2008).

Os ácaros necessitam encontrar na planta hospedeira alimentos solúveis, em forma de aminoácidos, açúcares e minerais. Quando o metabolismo da planta é alterado devido à ação de alguma adversidade,

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

INTERFEREM EM SUA DENSIDADE POPULACIONAL

pode ocorrer a proliferação desses organismos, tendo por origem um aumento do seu potencial biótico, ocorrendo uma ação sobre a fecundidade, longevidade e velocidade de reprodução (FALCONI, 2007).

A alimentação do ácaro e o estresse por déficit hídrico estão estreitamente correlacionados devido à queda da folha e à injúria da planta. O estresse da planta por falta de água afeta a taxa de desenvolvimento do ácaro e a injúria da alimentação do ácaro também acelera a transpiração da planta, perda de água e, conseqüentemente, reduz a fotossíntese (SANCES; GIMAN; TING, 1979).

Plantas simultaneamente sujeitas ao estresse hídrico e à injúria alimentar de ácaros apresentam uma menor taxa de trocas gasosas, comparadas às plantas submetidas a apenas uma dessas adversidades (OI et al., 1989, 1986).

O efeito do estresse hídrico sobre populações de ácaros tem sido avaliado por pesquisadores, causando aumento populacional em algumas espécies (OI et al., 1989, WHITE & LIBURD, 2005), decréscimo em outras e ainda não provocando efeito algum em sua população. Tais variações podem ser atreladas às espécies de plantas hospedeiras e à intensidade do estresse que foram submetidas, bem como a forma como o estudo foi conduzido (TRINDADE, 1995).

Nos últimos anos, tem sido explorada a hipótese de que o estresse hídrico aumenta a suscetibilidade das plantas aos herbívoros-praga, baseando-se na variação das concentrações de compostos nitrogenados solúveis presentes nas plantas. A resposta dos herbívoros ao estresse hídrico da planta depende do tempo em que a planta ficou exposta a essa adversidade, tanto pela falta quanto pelo excesso de água (WHITE; LIBURD (2005). Tal fato foi referido também por Van Emden (1987), que relaciona o aumento populacional de ácaros à quantidade de aminoácidos nos tecidos das plantas.

Em plantas estressadas por períodos de estiagem, a temperatura de suas folhas é mais elevada do que

naquelas não estressadas; sendo assim, os fitófagos que delas se alimentam terão sua temperatura corporal maior, proporcionando uma temperatura perto da ótima para o seu desenvolvimento e reprodução, sendo que o estresse hídrico pode aumentar a disponibilidade de nutrientes, diminuir as concentrações de combinações defensivas nas folhas ou alterar a relação de nutrientes envolvidos em suas defesas químicas (MATTSON; HAACK, 1987).

O efeito do estresse hídrico em plantas de soja sobre populações do ácaro *T. urticae*, reduziu a população da praga em função do estresse e influenciou a taxa de oviposição das fêmeas (OLOUMI-SADEGHI et al., 1988).

A fecundidade de *T. urticae*, em plantas de feijão reduziu sob condições de fraco estresse hídrico, aumentando em intensidades intermediárias e reduzindo-se novamente quando submetido ao estresse severo, sendo que a duração dos estágios imaturos também aumentou com a intensidade do estresse (ENGLISH-LOEB, 1989).

As tensões potenciais impostas pelo déficit hídrico geram desequilíbrios nutricionais ou poluentes externos que melhoram o desenvolvimento das pragas e diminuem a resistência da planta (MONTEIRO; GUY FAUVEL, ORTS, 2008).

O efeito do estresse hídrico sobre o crescimento populacional do ácaro vermelho europeu *Panonychus ulmi* (Koch) em macieira, mostraram que a condutância estomática explicou 49,7% da variância no número de ácaros. O número de ácaros aumentou quatro vezes e a baixa umidade da superfície da folha da folha reduziu a transpiração das árvores com escassez de água, aumentou a oviposição e a mortalidade das larvas. As temperaturas diárias das folhas com escassez de água foram em média 1,5° C a mais do que as outras árvores. Porém, isto não resultou em um aumento nas populações de ácaros, por causa da influência negativa da baixa umidade foliar. As formas móveis de *P. ulmi* foram duas vezes maiores em macieiras cultivadas sob o regime de capacidade de campo

ÁCAROS FITÓFAGOS EM PLANTAS CULTIVADAS E OS FATORES QUE

do que o de irrigação reduzida. O tratamento sem irrigação foi o que apresentou a menor população de ácaros e as mudanças fisiológicas que ocorreram nas macieiras, motivadas por estresse hídrico, repercutiram no desenvolvimento de *P. ulmi* (MONTEIRO et al., 2008).

O aumento da população de tetraniquídeos em amêndoas estressadas foi atribuído à elevada temperatura na superfície das folhas, que consequentemente aumentaram o metabolismo dos ácaros e seu desenvolvimento (OI et al., 1989).

Em plantas de *Evonymus alata*, estressadas pela falta de água, o ácaro *T. urticae* desenvolveu-se mais rapidamente quando comparado a plantas que receberam quantidades adequadas e excessivas de água (SMITLEY; PETERSON, 1991).

O efeito de diferentes disponibilidades hídricas foi analisado, baseando-se na evapotranspiração total das plantas (ET): moderada (80%ET), ideal (100%ET) e excessiva (120%ET), na produção de ovos e no crescimento da população do ácaro purpúreo, *P. citri*, em limão e laranja, e concluíram que as variações na sensibilidade das plantas à irrigação diferenciada, sendo o limão menos e a laranja mais sensível. As taxas de produção de ovos independeram do nível de irrigação, assim como o crescimento das populações de ácaros em plantas comerciais de laranja diferentemente irrigadas (HARE; RETTIG; PEHRSON, 1989).

Ainda na citricultura, comparando o efeito da irrigação da sobrecopa (canhão) em relação à subcopa (microaspersão e gotejamento) na população de ácaros, houve reduções da população na sobrecopa dos ácaros da falsa-ferrugem *Phyllocoptruta oleivora* e texano *Eutetranychus banksi* e aumento na população de ácaro vermelho *P. citri*.

No caso do *B. phoenicis*, praga-chave na citricultura, além de danos diretos causa à transmissão do vírus "Citrus leprosis vírus" (CiLV) (RODRIGUES, 2000). Sua população é favorecida pelo tempo seco (OLIVEIRA et al., 2011), que pode estar associado à falta de água a que a planta hospedeira está sujeita

(SOUZA, 2002). Em experimentos realizados em casa de vegetação, as plantas mantidas sobre condições de estresse hídrico, o *B. phoenicis* obtiveram um aumento populacional maior em plantas estressadas pela falta de água, quando comparadas a plantas mantidas em condições ideais e com excesso de água (SOUZA, 2002).

A disponibilidade de água para a planta influencia no desenvolvimento de *B. phoenicis*, visto que, em plantas submetidas a 25%CC (capacidade de campo), o número de ácaros foi maior que nos demais regimes hídricos, decrescendo à medida que a disponibilidade de água foi maior, atingindo seu menor índice populacional aos 70%CC. Em relação à severidade da Leprose, as plantas submetidas a 25 e 40%CC obtiveram notas mais altas, evidenciando maior suscetibilidade da planta à doença e mais rápida evolução dos sintomas (FALCONI, 2007).

A influência da temperatura foliar com infestação de *B. phoenicis* e a severidade da Leprose em citros submetidos a diferentes condições hídricas foi observada, concluindo-se que a população de *B. phoenicis* infectada com o CiLV foi maior que a população de ácaro não-infectada. A temperatura foliar influenciou o desenvolvimento de *B. phoenicis* e o aumento da temperatura foliar esteve correlacionado à severidade da Leprose, não sendo os teores de nitrogênio foliar influenciados pelo déficit hídrico nem pelos ácaros (ANDRADE et al., 2008).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de ácaros tem ganhado importância tanto pelas injúrias causadas às culturas de agrícolas quanto pela necessidade de controle.

A qualidade da planta hospedeira é um fator determinante para o desempenho de um ácaro, pois é sabido que alterações na fisiologia e bioquímica da planta afetam diretamente seu desenvolvimento e ciclo.

A temperatura é o mais importante fator ambiental que afeta a população de tetraniquídeos, variando, porém, de acordo com a espécie, sendo

que temperaturas elevadas e baixa umidade relativa favorecem o desenvolvimento populacional de tetraniquídeos, enquanto que chuvas abundantes contribuem para a redução da infestação e o estado nutricional da planta hospedeira, assim como estresses sofridos pela planta hospedeira também interferem na dinâmica populacional, pois seu potencial biótico é aumentado, ocorrendo elevação na sua fecundidade (número de ovos postos diariamente), da sua longevidade (fazem posturas até a morte), pela redução do seu ciclo evolutivo (aptidão para chegar mais rápido à idade reprodutiva) e por uma maior proporção de fêmeas na população (distorção na proporção de sexos).

Diante dos fatos mencionados, trabalhos que abordem a relação ácaros-planta hospedeira e os fatores que interferem a dinâmica populacional e o potencial biótico dos tetraniquídeos são de suma importância para pesquisadores, produtores e para os sistemas de produção agrícola.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D.J.; OLIVEIRA, C.A.L.; FALCONI, R.S.; PATTARO, F.C.; FERNANDES, E.J. Efeito do déficit hídrico e da presença do vírus da Leprose dos citros na temperatura foliar e sua relação com a população de *Brevipalpus phoenicis* e a severidade da doença em plantas cítricas. *Laranja, Cordeirópolis*. v. 29. n.1-2, p, 1-15. 2008.

BERTOLLO, E. C. Efeito da temperatura e do hospedeiro na biologia do ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE). Dissertação (Mestrado). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

BONATO, O.; MAPANGOU-DIVASSA, S.; GUTIERREZ, J. Influence of relative humidity on life-history parameters on *Mononychellus progressivus* and *Oligonychus gossypii* (Acari Tetranychidae). *Environmental Entomology*, v. 24, n. 4, p. 841-844, 1995.

BOOM, C.E.M Van Den; BEEK, T. A. Van; DICKE, M. Differences among plant species in acceptance by the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Entomology*. v. 127, p. 177-183, 2003.

CUANE, J.A. Efeito da nutrição (*Lycopersicon esculentum* Miller.) no controle do Ácaro vermelho (*Tetranychus evansi*), em tomate da época fresca na Estação Agrária do Umbeluzi. Tese (Doutorado). Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade de Eduardo Mondlane, Maputo, 2008.

CULLEN, E.; SCHRAMM, S. Two-spotted spider mite management in soybean and corn. Madison: University of Wisconsin - Extension, 2009.

DUCHOVSKIENE, L. The abundance and population dynamics of onion thrips (*Thrips tabaci* Lind) in leek under field conditions. *Agronomy Research*. Berlin, v. 4, p. 163-166, 2006.

ENGLISH-LOEB, G.M. Nonlinear responses of spider mite to drought-stressed host plants. *Ecologic Entomology*, v. 14, n.1, p. 45-55, 1989.

ESTEVES FILHO, A.B. Interação entre o algodoeiro Bollgard[®], o ácaro rajado, *Tetranychus urticae* Koch (acari: tetranychidae) e o predador *Phytoseiulus macropilis* (banks) (acari: phytoseiidae). Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

FALCONI, R.S. Inter-relação: citros, porta-enxerto, doença e ácaro da Leprose em plantas submetidas a estresse hídrico e nutricional. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

FLECHTMANN, C. H. W. Ácaros de importância agrícola. 5. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1983.

FRANCO, R. A.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S.; ALTOÉ, B. F.; PEDRO NETO, M. Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. *Coffee Science, Lavras*. v. 3. n. 1. p. 38-46, jan./jun. 2008.

GOUVEA, A.; BOARETTO, L.C.; ZANELLA, C.F.; ALVES, L.F.A. Dinâmica Populacional de Ácaros (Acari) em Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.: Aquifoliaceae). *Neotropical Entomology*, v. 35. n.1. p. 101-111. 2006.

HARE, J.D.; RETTIG, J.M.; PEHRSON, J.E. Egg production and population growth of the citrus red mite (Acari: Tetranychidae) on differentially irrigated citrus trees. *Environmental Entomology*, v. 18. n.4. 651-59p. 1989.

HENRIQUE, C. S.; MARUYAMA, W.I. Levantamento populacional de ácaros em seringueira (*Hevea brasiliensis* muell. agr.) em Cassilândia/MS. *Anais do encontro de iniciação científica*. v. 1. n. 1 (3). p. 5. 2012.

MATTSON, W.J., HAACK, R.A. The role of drought estresse in provoking outbreaks of phytophagous insects. In: BARBOSA, P. SCHULTZ, J.C. *Insect outbreaks*. New York: Academic, 1987. p. 365-407.

MELLO, M. O.; SILVA-FILHO, M. C. Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanism. *Braz. J. Plant Physiol. Campinas*. v. 14. p. 71-81, 2002.

MOLION, L. C. B. Considerações sobre o aquecimento global antropogênico. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*. v. 29. n. 246. p. 7-18. set./out. 2008.

MONTEIRO, L.A.; GUY FAUVEL, G.; ORTS R. Influência do estresse hídrico sobre a fisiologia de macieiras e a flutuação de *Panonychus ulmi* (acari: tetranychidae). *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba*. v. 6. n. 1. 97-106p. jan./mar. 2008.

MONTES, S.M.N.; RAGA, A.; MINEIRO, J.F.L.C. Avaliação da Acarofauna em pessegueiros sob efeito de fungicidas. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 7. n. 1. p. 7, jan./jun. 2010.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2008.

NORTON, R.A.; KETHLEY, J.B.; JOHNSTON D.E.; OCONNOR, B.M. Phylogenetic perspectives on genetic systems and reproductive modes of mites. In: WRENSCH, D.L.; EBBERT, M.A. (Orgs.). *Evolution and diversity of sex ratio in insects and mites*. New lork: Chapman & Hall Publications, 1993.

O'CONNELL, D.M.; LEE, W.G.; MONKS, A.; DICKINSON, K.J.M. Does microhabitat structure affect foliar mite assemblages? *Ecological Entomology*. v.35. Issue 3. 317-328p. 2010.

OI, D.H.; SANDERSON, J.P.; YOUNGMAN, R.R.; BARNES, M.W. Development times of the pacific spider mite (Acari: Tetranychidae) on water-stressed almond trees. *Environmental Entomology*, v. 18. n. 2. p. 208-212, 1989.

OLIVEIRA, M.G.; GRÜTZMACHER, A.D.; CUNHA, U.S.; ROGGIA, S. Dinâmica populacional de ácaros fitófagos e predadores associados à soja em cultivos de várzea e coxilha. *Revista Brasileira Agrociência, Pelotas*. v.17. n.2-4, p. 211-220, abr./jun. 2011.

OLOUMI-SADEGHI, H.; HELM, C.G.; KOGAN, M.; SCHOENEWEISS, D.F. Effect of water stress on abundance of twospotted spider mite on soybeans under greenhouse conditions. *Entomology Experimental Applied*, v.48, n.1, p. 85-90p, 1988.

PASCUAL, A.; FERRAGUT, F. Influence of climatic conditions on population dynamics of *Tetranychus urticae* and *Euseius stipulatus*n (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on clementines (*Citrus reticulata*), *Bulletin oilb/srop, Valencia*. v. 26. n. 6. p. 211, 2003.

PEDRO NETO, M. Influência de cobertura vegetal do solo e da precipitação pluvial na população de ácaros-praga e de ácaros predadores em cafeeiro orgânico e convencional. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C.; PEDRO NETO, M.; TEODORO, A. V. Flutuação populacional do ácaro da mancha-anular do cafeeiro e seus inimigos naturais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Poços de Caldas. Resumos... Brasília: EMBRAPA-CAFÉ. 1210-1212p. 2000.

RODRIGUES, J.C.V. Relações patógeno-vetor-planta no sistema Leprose dos citros. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RODRIGUES, D.M. Acarofauna e potencial de ácaros predadores no controle de ácaros-praga em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) no estado do Tocantins. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010.

ROGGIA, S. Caracterização de fatores determinantes dos aumentos populacionais de ácaros tetraniquídeos em soja. 2010. 154 f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

ROGGIA, S.; GUEDES, J. V. C.; KUSS, R. C. R.; ARNEMANN, J. A.; NÁVIA, D. Ácaros associados à soja no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. v. 43, n. 3, p. 295-301, 2008.

SANCES, F.V.; GIMAN, J.A.; TING, I.P. Physiological responses to spider mite infestations os strawberries. *Environmental Entomology*, v. 8. n. 2, p. 711-714p. 1979.

SIQUEIRA, F. Biologia e flutuação populacional de *Mononychellus planki* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) em cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merr. e impacto do imidacloprido em aspectos biológicos do adulto. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SILVA, A.G.; SOUZA, B.H.S.; RODRIGUES, N.E.L.; BOTTEGA, D.B.; BOIÇA JUNIOR, A.L. Interação tritrófica: aspectos gerais e suas implicações no manejo integrado de pragas. *Nucleus*. v. 9. n. 1., páginas, abr. 2012.

SMITLEY, D.R.; PETERSON, N.C. Twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) population Dynamics and Growth of *Evonymus alata* 'Compacta' in response to irrigation rate. *Journal Economic Entomology*, v. 84. n. 6, p. 806-1811, 1991.

SOUZA, R.S. Aspectos da inter-relação: ácaro da Leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae), *Citrus sinensis* (L.) e meio ambiente. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

TADEO, F.R. Fisiología de las plantas y el estrés. In: BIETO-AZCÓN, J.; TALÓN, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona: McGraw-Hill, 2000. p. 481-498.

TRINDADE, M.L.B. Influências de nutrientes e piretróides na atividade biológica de *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Tetranychidae) em algodoeiro. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômica da Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1995.

VAN EMDEN, H.F. Sources of plant variation in susceptibility to pest. In: BURN, A. J., COAKER, T.H , JEPSON, P. C. Integrated pest management. London: Academic Press, 1987. p. 27-68.

WHITE, J.C.; LIBURD, O.E. Effects of soil moisture and temperature on reproduction and development of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) in strawberries. *Journal of Economic Entomology*, v. 98. n.1, p. 154-158, 2005.

YANINEK, J. S.; MORAES, G.J. Classical biological control of mites in agriculture. In: International Congresso f Acarology, 8., Ceske Budejovice, Czekoslovakia. Abstracts... 14p. 1990.

ZARBIN, P. H. G. et al. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. *Química Nova*. v.32. n.3. p. 14, 2009.

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

ESTÉFANY PAWLOWSKI

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Graduanda de Agronomia, Campus Cerro Largo - RS
estefanykaw@hotmail.com*

JOCEMAR PORTELA

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Graduando de Agronomia, Campus Cerro Largo - RS
jocemarportela@gmail.com*

LUCIANO WASZKIEWICZ

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Graduando de Agronomia, Campus Cerro Largo - RS
waszkiewiczluciano@gmail.com*

RICARDO ADAMSKI

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Graduando de Agronomia, Campus Cerro Largo - RS
ricardoadamski98@gmail.com*

RODRIGO DOMBROSKI

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Graduando de Agronomia, Campus Cerro Largo - RS
rodrigo.dombroski@outlook.com*

ANDRÉIA K. BARRAZ

*Escola Técnica Guaramano (EETG), Professora de Física, Guarani das Missões - RS
andreiakornowski@gmail.com*

NEY M. BARRAZ JR.

*Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Professor Dr. de Física, Campus Cerro Largo - RS
ney.barraz@uffs.com.br*

RESUMO

A exportação de carne de frango vem crescendo nos últimos anos e o aumento da eficiência na criação das aves de corte tem se dado pelo bem-estar do animal. Neste trabalho explorou-se uma das características que os frangos possuem, que é a visão. Diante disso, descreveu-se conceitualmente a composição da luz e sua classificação, conectando as cores da luz com as fases de vida do frango e por fim, propondo um programa de luz colorida, objetivando o aumento da produção de carne e do bem-estar animal. Desta forma, conclui-se que para uma diminuição no uso de medicamentos e estresse na criação dos frangos, e conseqüentemente um maior bem-estar, deve-se utilizar um programa de luz colorida, em que este deve prever cores específicas para a nutrição dos frangos, proporcionando um ambiente tranquilo a cada fase de crescimento.

PALAVRAS-CHAVE

Frangos. Bem-estar. Luz. Espectro eletromagnético. Sistema intensivo.

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem se mantido na liderança da exportação de carne de frango. Segunda o Relatório Anual de 2018 da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), sua produção em 2017 chegou a 13,1 milhões de toneladas de carne produzidas, o equivalente a um aumento de 6% em comparação à 2013, chegando a ocupar o segundo lugar no ranking mundial (ABPA, 2018). Desta forma, a grande produção só é obtida por conta das novas tecnologias e equipamentos com diferentes funções para o crescimento e bem-estar do animal, visando sempre o tempo da produção e o espaço disponibilizado.

São usados três sistemas para a criação de frango: intensivo, semi-intensivo e extensivo. No sistema intensivo, o qual tornou-se o foco do estudo, consegue-se produzir uma quantidade significativa de frangos por metro quadrado. Neste sistema os frangos ficam agrupados, com pouca liberdade de locomoção, trazendo vários transtornos às aves, como: dificuldades nos seus funcionamentos essenciais; estresse excessivo; hematomas, contusões e fraturas; e excesso ou insuficiência no consumo de alimentos. Os transtornos sofridos pelos frangos acabam sendo tratados com antibióticos, elevando o valor do produto final. Além disso, é questionada a possível presença de resíduos de antibióticos nas carnes, ovos e/ou leite (MENDES et al., 2013).

Com isso, os consumidores passam a indagar o tratamento utilizado na criação das aves e do seu abate, surgindo assim entidades na intenção de difundir a ideia do bem-estar dos animais. Muitos se questionam sobre quais seriam as melhores condições dentro das características requeridas em um aviário, como a ração que irá nutrir melhor as aves, forração do chão do piso do aviário, densidade de criação mais adequada, luminosidade e sonoridade, visando proporcionar comodidade e aconchego às aves (LUDKTE et al., 2010).

Os frangos possuem duas características acentuadas, que são a visão e a audição. Estas

características não são exploradas na criação dos frangos pelo fato de muitos produtores acreditarem não ter importância e/ou não estarem informados a respeito. No entanto, a qualidade e devida adaptação da luminosidade e sonoridade em um aviário é de extrema importância para uma melhor produção e para conceder um ambiente tranquilo e favorável. (PECHE, 2017). Assim, torna-se necessário o entendimento de conceitos físicos para que se possa explorar a visão dos frangos usando apenas a luz. Neste artigo, descreveu-se a luz fisicamente, realizando a conexão entre a luz e a criação dos frangos, e por fim, a realização de uma perspectiva para a utilização da luz na vida dos frangos.

Nesta publicação abordou-se os conceitos físicos envolvido na iluminação do ambiente dos frangos de corte. No decorrer do artigo, aborda-se os seguintes tópicos: as características dos frangos; as sensibilidades da visão dos frangos; a concepção física envolvida no conceito da luz; a conexão da luz com a criação dos frangos; e por fim, uma breve conclusão.

METODOLOGIA

O presente estudo constitui uma revisão bibliográfica de caráter analítico a respeito da influência de diferentes tipos de luminosidades na criação de frangos de corte. A coleta de dados se deu no período de 09 de julho a 23 de setembro de 2018, utilizando-se para a pesquisa a base de dados dos indexadores de periódicos científicos Scientific Eletronic Library Online (SciELO), Google Scholar e ResearchGate, além de periódico e exemplares físicos presentes na biblioteca da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo, na qual realizou-se a pesquisa.

Após a seleção dos materiais, realizou-se a leitura exploratória seguida de leitura seletiva e escolha dos materiais que se adequavam melhor aos assuntos que seriam abordados, enfatizando os objetivos e tema do estudo. Após essas etapas, organizou-se os assuntos em agrupamentos conforme

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

os temas a serem abordados nas categorias do artigo, sendo eles: estresse causado no sistema intensivo de criação; análise física da luz através da visão do frango; descrição física da luz; e conexão das ondas eletromagnéticas com a criação do frango. Por fim, a realização da redação do texto.

DISCUSSÕES

Estresse causado no sistema intensivo de criação

Um dos problemas que os frangos de corte enfrentam no sistema intensivo de criação é o estresse causado pela alta população dos frangos por metro quadrado (densidade por alojamento), o que proporciona a otimização da produção por área (FILHO et al., 2018). Dessa maneira, os frangos que passam por estresse possuem dificuldades para se alimentar adequadamente, afetando o seu sistema imunológico. Esse fator pode favorecer o acesso de microrganismos patogênicos de difícil controle, podendo levar a morte dos animais (TAVERNARI, 2018).

Para diminuir as perdas financeiras, normalmente é necessário tratar as aves com diversos antibióticos e outros tipos de medicamentos que aliviam o estresse de uma maneira química, podendo deixar resíduos na carne por um determinado tempo. Desta forma, a carne ingerida pelos consumidores pode conter uma dose significativa de medicamentos, mesmo que as doses consumidas juntamente com a carne não causem danos à saúde dos seres humanos imediatamente. Por outro lado, ao passar dos anos podem levar ao surgimento de microrganismos resistentes a determinados tipos de medicamentos (MENDES et al., 2013).

Ao analisar a parte fisiológica do frango, eles possuem duas sensibilidades acentuadas, a visão e a audição, que podem ser exploradas de uma maneira física para uma diminuição do estresse causado no sistema intensivo de criação.

Análise física da luz através da visão do frango

Sabemos que as aves possuem a visão mais acentuada em relação aos demais animais, sendo essencial para a sua sobrevivência. Os seus olhos possuem sensibilidade à luz vermelha, amarela e azul, como os seres humanos. Ainda, possuem sensibilidade à luz ultravioleta que facilita encontrar os alimentos, além de uma sensibilidade adicional específica para movimentos muito rápidos, facilitando assim o rastreamento de insetos ou algum perigo (PECHE, 2017).

O uso da luz branca artificial pode levar a uma maior agitação dentro de um rebanho, pois o movimento súbito de uma lâmpada que é invisível para nós seres humanos, aparece muito forte para estes animais (SANTANA et al., 2014). Os frangos também têm a capacidade de percepção da oscilação luminosa, chegando a compreender até cem quadros por segundo¹ (100 Hz)², enquanto a luz fornecida pelas companhias de luz tem uma frequência entre cinquenta a sessenta quadros por segundo (50 Hz a 60 Hz).

Desta forma, um controle adequado da luz pode trazer um conforto considerável às aves, pois, considerando que possuam a visão acentuada podem manifestar uma irritabilidade na forma de estresse. Assim, desencadeia-se uma série de problemas comportamentais, fazendo com que estes animais se tornem agressivos, observando-se até a prática do canibalismo e a presença de uma hierarquia dentro do lote. Além disso, os frangos dominados acabam muitas vezes não se alimentando ou bebendo pouca água, consequentemente levando a uma queda significativa na produção de carne e também aumentando o percentual de mortalidade (MARCELINO, 2017; LUDTKE, 2010).

Descrição física da luz

Quando referindo-se à luz, isto repercute a todas as cores possíveis de serem visualizadas. Fisicamente, a luz visível é uma faixa de ondas eletromagnéticas

1 Também conhecido por fotogramas ou frames por segundo.

2 A unidade Hz, Hertz, é o inverso do segundo, isto é, 1 Hz = 1/s.

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANCOS

que variam entre 400 nm a 700 nm, em que a unidade de medida 'nm' é chamado de nanômetro³. Para compreender o que é a luz, torna-se necessário o conhecimento de alguns conceitos de onda, onda eletromagnética e algumas de suas características.

A onda é um sinal que pode ir de um ponto ao outro. O sinal pode transportar energia, mas não consegue transportar matéria e pode se propagar com uma velocidade definida. As ondas podem se locomover em meios que possuem matéria, chamadas de ondas mecânicas. As ondas também podem se locomover na ausência da matéria (no vácuo) ou/e em meios que possuem matéria, as quais são classificadas como ondas eletromagnéticas (TIPLER, 1999).

Para compreender o que é uma onda, analisa-se a Figura 1. Ela mostra três pontos importantes: i) a crista, ponto mais alto da onda; ii) o ponto de inflexão, ponto onde troca a concavidade da onda (na figura pode ser visualizada pela linha horizontal); e iii) o vale, ponto mais baixo da onda. A partir desses pontos pode-se definir conceitos importantes, como por exemplo: o comprimento de onda que é definido pela medida da distância entre dois picos (também entre dois vales ou entre dois pontos de inflexão); e a distância entre o pico e a linha que demarca os pontos de inflexão, em que esta medida é chamada de amplitude.

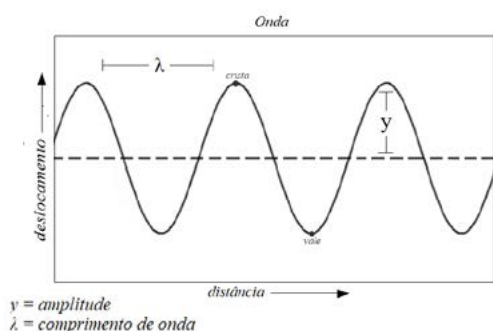


Figura 1: Pontos importantes de uma onda: crista, e vale. Com esses pontos é possível definir o comprimento de onda e a amplitude. Fonte: autoria própria.

As ondas eletromagnéticas possuem os mesmos comportamentos das ondas mecânicas, portanto

³ Onde nano é o nome do prefixo do metro e a representação numérica é de 10^{-9} , logo podemos dizer que: $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$.

diferenciando-se pelos meios de propagação e nas fontes que as produzem. A fonte das ondas eletromagnéticas possui uma parte elétrica⁴ (ELETRomagnética) e outra parte magnética⁵ (eletroMAGNÉTICA), e a sua propagação é realizada simultaneamente com as duas fontes, conforme mostra a Figura 2.

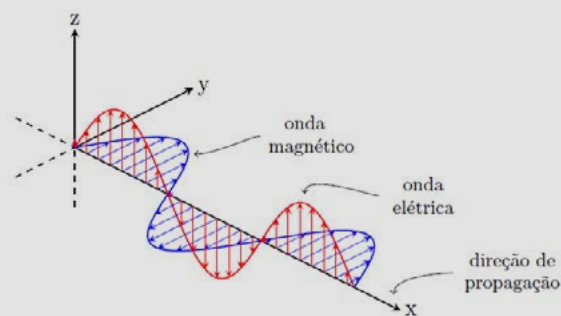


Figura 2: Onda Eletromagnética (Fonte: autoria própria).

I. Percebe-se que a onda elétrica se encontra no plano vertical e a onda magnética se encontra no plano horizontal. Logo, as ondas são perpendiculares entre si;

II. A velocidade da onda está saindo da página, formando um ângulo ortogonal ("noventa graus") com os planos vertical e horizontal. Por isso que a velocidade da onda é perpendicular as ondas elétrica e magnética;

III. As ondas eletromagnéticas podem propagar no vácuo e em outros meios, como o ar, água, vidros e entre outros;

IV. A velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo é de $c \approx 2,99792 \times 10^8 \text{ m/s}$, que é a velocidade da luz⁷, reservando a letra "c" para representar essa velocidade;

⁴ Aqui, vamos nos referir em onda elétrica como sendo um campo elétrico, para simplificar a compreensão dos conceitos sem um estudo prévio do campo elétrico. Desta forma, a fonte da onda elétrica é gerada por cargas elétricas.

⁵ Ao nos referirmos a onda magnética, seria uma equivalência do campo magnético, mas utilizamos essa expressão para simplificarmos a explicação sem um conhecimento anterior de campo magnético. A fonte da onda magnética são as cargas magnéticas

⁶ Definimos vácuo como sendo a ausência da matéria.

⁷ A velocidade da luz é a maior velocidade observada até a

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

V. As ondas eletromagnéticas transportam energia, mas não é possível transportar matéria;

VI. A amplitude da onda elétrica e a amplitude da onda magnética é exatamente a mesma;

VII. As ondas elétrica e magnética estão em fase, isto é, o ponto de inflexão das duas ondas se encontram em toda a sua propagação.

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas conforme o seu comprimento e a sua frequência, propagando-se com velocidade c constante. Assim, formam um conjunto de ondas que denotamos como espectro eletromagnético, onde são classificadas as ondas de rádio, os raios X, raios gama, micro-ondas, ondas luminosas e outros tipos de radiação (NUSSENZVEIG, 2002; TIPLER, 1999).

A Figura 3 mostra a classificação das ondas eletromagnética para todos os comprimentos de ondas (primeira linha da Figura). Logo abaixo, possuem os nomes dos tipos de radiação utilizados para designar as várias faixas de frequência e comprimentos de onda, em que as faixas não apresentam-se bem definidas, podendo se sobrepor. Exemplificando, os raios X e os raios γ (gamas) podem ter o mesmo comprimento de onda e frequência, onde o que os diferencia é a sua fonte. Os raios gama são formados por substâncias radioativas e os raios X são produzidos pela desaceleração dos elétrons ao se chocarem em um alvo. Em seguida, na terceira e quarta linha da Figura 3, consta a ordem de tamanho das ondas e objetos para comparar o tamanho do comprimento de onda.

A Figura 4 apresenta a pequena faixa das ondas eletromagnéticas que é visível ao olho humano, ou seja, os olhos dos humanos são sensíveis ao comprimento de onda que variam entre 400 a 700 nm, e assim essa faixa é chamada de luz visível. Já os frangos conseguem visualizar ondas que variam entre 350 a 700 nm, abrangendo a região de raios ultravioleta. Estes raios possuem o comprimento de onda um pouco menor que os comprimentos de onda do espectro

visível, podendo ser visualizado ao lado esquerdo da Figura. Já no lado direito, pode-se visualizar as ondas com comprimentos de onda um pouco maior que os comprimentos de onda do espectro visível, as quais são denotadas de raios infravermelhos.

A luz branca, a qual recebemos do sol e das lâmpadas sem cores específicas (lâmpadas bastante utilizadas nas residências e na criação de frangos), caracteriza-se pela união de todos os comprimentos de ondas. Quando na ausência de luz, seja uma cor específica ou branca, temos o escuro ou a cor preta.

Conexão das ondas eletromagnéticas com a criação do frango

Um programa de luz adequado constitui-se como uma técnica de manejo imprescindível para o bom desenvolvimento dos frangos. A luz branca é bastante utilizada na criação das aves, para proporcionar o seu crescimento e desenvolvimento. Algumas das técnicas utilizadas para o ganho de massa corporal é intercalar a noite dos frangos em 3,5 h de escuro, 1 h de luz para o consumo do alimento e 3,5 h novamente de escuro, além das 16 h de luz diária intercalada com a luz natural e artificial, ambas luzes brancas.

Estudos que demonstraram as interações da luz com os frangos, concluíram que nas faixas de raios ultravioleta e faixas de luz roxa, os frangos conseguem detectar com maior facilidade os alimentos, como por exemplo pequenos animais. A luz azul oferece uma tranquilidade para os frangos, enquanto a união da luz azul à verde estimula o crescimento das aves. A faixa de luz laranja até a luz vermelha aumenta a reprodução das aves, enquanto a luz vermelha, assim como comprimentos de ondas maiores, fazem com que os frangos produzam penas e pratiquem o canibalismo entre si (PECHE, 2017; DAVIS et al., 1999; LEWIS et al., 2006; DAVIS et al., 1999; PRESCOTT et al., 1999; KRISTENSE et al., 2007; PRAYITNO et al., 1997; MARCELINO, 2017; AMARAL et al., 2011; ARAÚJO et al., 2011; MENDES, 2010; DIAS, 2015).

A partir destes estudos, pode-se perceber diferentes estados comportamentais dos animais

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

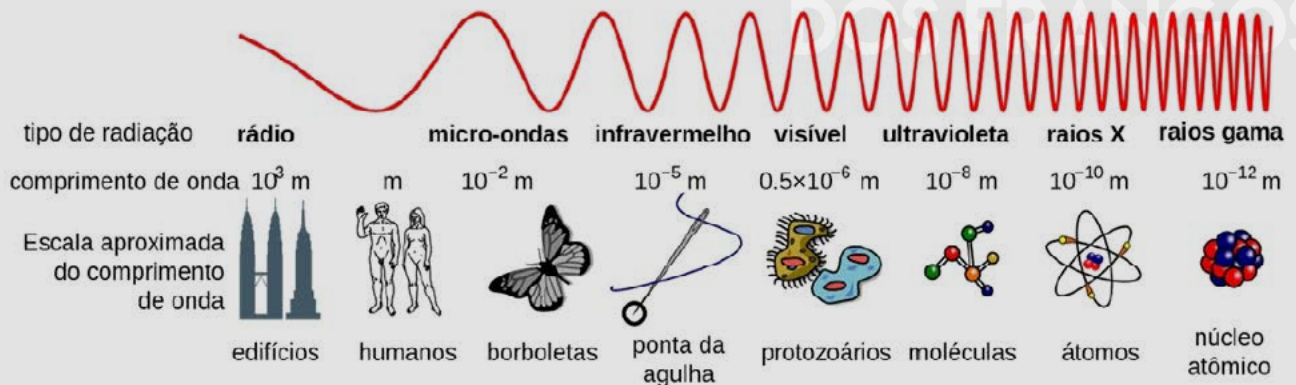


Figura 3: Espectro eletromagnético (Fonte: ZÚÑIGA, 2009).

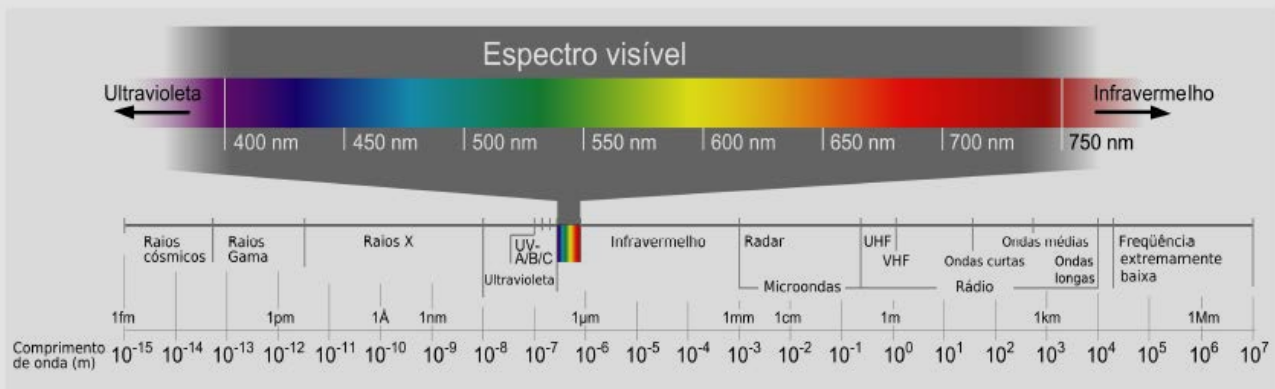


Figura 4: Espectro eletromagnético (GARCIA, 2018).

quando em contato com diferentes frequências luminosas. Essa dinâmica pode ser percebida através da Figura 4, em que quando analisado através do lado esquerdo do espectro eletromagnético (raios ultravioletas ou luz roxa), os frangos tornam-se mais tranquilos por conta de uma maior facilidade de percepção dos alimentos. Já no centro do espectro, por mais que apresentem-se tranquilos, o organismo dos animais reconhece que poderá entrar em extinção, dessa forma desenvolvendo-se com maior rapidez. Em contraponto, quando analisado através do outro lado do espectro luminoso (luz vermelha), os frangos entram em estado de alerta, aumentando a sua armadura (produzindo mais penas) e apresentando-se em estado de autodefesa, os quais podem atacar uns aos outros para se manterem vivos.

Através da interação comportamental dos animais

por conta das diferentes frequências luminosas, pode-se realizar uma análise física relacionando a energia fornecida pela luz com os comportamentos dos frangos. É importante ressaltar que a temperatura ambiente deve estar constante, sem levar em consideração qualquer tipo de variação.

À medida que aumenta-se o comprimento de onda, a energia das ondas eletromagnéticas diminui, conseqüentemente ao diminuir a energia das ondas o calor fornecido por elas também diminui. Portanto, as luzes com tons de vermelho transmitem menos calor e o organismo dos frangos interpreta a necessidade de desenvolver o aumento da massa corporal, o qual acaba prevendo uma aproximação de uma estação mais fria que virá no ambiente. Ao aumentar mais o comprimento de onda, luz com tons mais forte de vermelho, o calor da onda eletromagnética

A LUZ POR TRÁS DO BEM-ESTAR DOS FRANGOS

diminui, assim o organismo do frango pressente que o crescimento corporal não será o suficiente, logo desenvolvendo um maior empenamento.

Por outro lado, ao diminuirmos o comprimento de onda, a energia das ondas eletromagnéticas aumenta e a luz com tons de roxo para os raios ultravioleta acabam fornecendo mais calor. Com isso, o organismo do frango consegue detectar essa pequena variação, e assim, percebendo que a temperatura ambiente poderá aumentar, causando uma diminuição na necessidade de se alimentar. Para passar um grande período sem alimentação, os frangos utilizam a sensibilidade de prever o aumento da temperatura ambiente e se alimentam para suportar esse período. Algum sensor existente no organismo do frango consegue perceber essas pequenas variações de energia proporcionadas pela luz, onde a luz azulada deve estar perto do centro de equilíbrio desse sensor, pois nesta faixa de luz os frangos tornam-se mais tranquilos.

Levando em consideração com os demais fatores que aumentam a produção de carne na criação de frangos, como a nutrição, a temperatura ambiente, o manejo e outros, agregar estes fatores à um sistema de iluminação artificial de luz colorida, para cada fase de vida dos frangos, poderia tornar viável um maior resultado na produção, objetivando um maior ganho de peso, seguido por uma melhora significativa na qualidade e no sabor da carne. Isto se concretizaria pelo fato de diminuir os tratamentos químicos realizados com o uso de remédios para combater algumas doenças causadas pelo estresse, através da utilização de uma iluminação correta, e conseqüentemente auxiliando em um maior bem-estar animal.

CONCLUSÃO

Nos últimos anos os produtores brasileiros têm prestado mais atenção na criação de frangos. Para possuir mais eficiência na criação e um bem-estar

do animal são utilizadas algumas técnicas, como os sistemas de criação, manejo, sonoridade, luminosidade, entre outros.

Neste artigo, percebeu-se que os frangos possuem duas características acentuadas, a audição e a visão. Assim, analisou-se a composição da luz, baseada na Teoria Eletromagnética, para a compreender a influência da luz na criação dos frangos. Também, observou-se a influência da luz com as fases de vida do frango, em que para cada frequência luminosa específica (visualizada em forma de cor), o animal reage de uma forma diferente. Os frangos conseguem prever o aumento ou a diminuição da temperatura através da luz, e isso traz conseqüências comportamentais no seu desenvolvimento.

Desta forma, para uma possível diminuição no uso de medicamentos e estresse na criação dos frangos, propõe-se a utilização de um programa de luz colorido, em que este deve prever cores específicas para a nutrição dos frangos, proporcionando um ambiente tranquilo a cada fase de crescimento. Essas luzes específicas devem obedecer um determinado horário durante as 24h do dia e por um determinado tempo para que os frangos consigam detectar a luz e o seu organismo possa se adaptar ao novo ambiente. Com isso, objetiva-se proporcionar qualidade e eficiência na produção da carne, além de um ambiente mais saudável aos animais.

REFERÊNCIAS

ABPA. Relatório Anual 2018. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>> Acesso em: 09 agosto, 2018.

AMARAL et al., Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. v.63, n.3, p.649-658, 2011.

ARAÚJO, W. A. G. et al. Programa de luz na avicultura de postura. Revista CFMW. Brasília/DF, ano XVII, n. 52, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/901275/programa-de-luz-na-avicultura-de-postura>> Acesso em: 15 agosto de 2017.

DAVIS, N.J.; PRESCOTT, N.B.; SAVORY, C.J. et al. Preferences of growing fowls for different light intensities in relation to age, strain and behaviour. Animal Welfare. v.8, p.193-203, 1999.

DIAS, E. R. Utilização de lâmpadas de led em distintas intensidades luminosas e seus efeitos no desempenho e comportamento de frangos de corte. UTFPR, Dois Vizinhos: [s.n], 2015. 85f. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2364/1/DI%20PGZQ%20Dias%2C%20Elisandro%20Rafael%202015.pdf>> Acesso em: 02 junho de 2018.

FILHO, P. H. et al., Efeitos de Genótipo e do Sistema de Criação sobre o Desempenho de Frangos Tipo Cajpira. R. Bras. Zootec., v.32, n.6, p.1883-1889, 2003 (Supl. 2). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v32n6s2/20960.pdf>> Acesso em: 02 junho de 2018.
GARCIA, Antonio. Curso de Engenharia Elétrica 2016. Disponível em: <<http://www.antonioguillherme.web.br.com/blog/tag/espectroeletromagnetico/>> Acesso em: 22 de Fevereiro de 2018.

KRISTENSE, H. H.; PRESCOTT, N.B.; PERRY, G.C. et al. The behavior of broiler chickens in different light sources and illuminances. Applied Animal Behaviour Science. v.103, p.75-89, 2007.

LEWIS, P.D.; MORRIS, T. Poultry Lighting - the theory and practice. Northcot: United Kingdon. 380p. 2006.
LUDTKE, C et al. Abate humanitário de aves. WSPA: Rio de Janeiro. 2010.

MARCELINO, R. A. Bicagem e canibalismo em galinhas de postura. Universidade Federal de Lavras - 3rlab. 2016.

TORRETA, M. Fatores que afetam a conversão alimentar em frangos. Agroceres Multimix, Nutrição Animal. Jan, 2017.

MENDES, A. S. Visão e iluminação na avicultura moderna. R. Bras. Agrocência, Pelotas, v.16, n.1-4, p.05-13. 2010. Disponível em: < <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/2001>> Acesso em: 01 agosto de 2018.

MENDES, F. R. et al. Utilização de antimicrobianos na avicultura. Artigo 197 - Volume 10 - Número 02 - p. 2352 - 2389- Março - Abril /2013. Disponível em: <<http://www.nutritime.com.br/arquivosinternos/artigos/artigo197.pdf>> Acesso em: 01 junho de 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor; Vol. 2, 2002.

PECHE, G. A. A visão e o ambiente dos frangos de corte. AviNews, 2017. Disponível em: <https://goo.gl/wi18wT>> Acesso em: 08 Novembro de 2017.

PRAYITNO, D.S.; PHILLIPS, C.J.C.; OMED, H. The effects of color of lighting on the behaviour and production of meat chickens. Poultry Science. v.76, p.452-457, 1997a.

PRAYITNO, D.S.; PHILLIPS, C.J.C.; STOKES, D.K. The effects of color and intensity of light on behavior and leg disorders in broiler chickens. Poultry Science. v.76, p.1674-1681, 1997b.

PRESCOTT, N.B.; WATHES, C.M. Reflective properties of domestic fowl (*Gallus g. domesticus*), the fabric of their housing and the characteristics of the light environment in environmentally controlled poultry houses. British Poultry Science. V.40, p.185-193, 1999a.

SANTANA, M. R. de. et al. Efeito da luz monocromática em lesões e rendimentos de carcaça de frangos de corte. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 819, 2014.

TAVERNARI, F. C. Interação nutrição e sistema imune em frangos de corte e aditivos promotores de crescimento. Revista Avicultura Industrial, n. 04, 2015. Acesso em: < <https://www.flipsnack.com/gessullagribusiness/revista-avicultura-industrial-0415-ftpsrfa8t.html?p=16>> Acesso em: 01 agosto de 2018.

TIPLER, P. A. Física: Eletricidade e Magnetismo, Ótica; Vol. 2, 4a Ed., 1999.

TIPLER, P. A. Física: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica; Vol. 1, 4a Ed., 1999.

ZÚÑIGA, E. R. E. Influencia de la aislación térmica aplicada por el exterior en muros de albañilería. Universidade de Chile, facultade de ciências físicas y matemáticas; departamento de ingeniería civil. Santiago de Chile. Septiembre, 2009.

VIABILIDADE DO USO DE ÓLEOS VEGETAIS USADOS EM FRITURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL E POSSIBILIDADE DE USO DO TEMA EM SALA DE AULA

VINÍCIUS HEIDEMANN DE SOUZA

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Aluno do curso técnico em Química, Câmpus Florianópolis, viniciusheidemann@hotmail.com@ifsc.edu.br

SABRINA MORO VILLELA PACHECO

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Química, Câmpus Garopaba, sabrinap@ifsc.edu.br

AMÉRICO CRUZ JÚNIOR

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Técnico em Química, Câmpus Trindade, americocruz2000@yahoo.com.br

RESUMO

O presente artigo possui como objetivo apresentar uma breve revisão sobre o que se compreende por biocombustíveis dando ênfase para o biodiesel, os materiais de partida que podem ser utilizados para a sua produção e principais fatores que influenciam no processo. Além disso, comenta-se sobre as principais rotas para produção de biodiesel, enfatizando a viabilidade técnica de produção do mesmo a partir de um material de baixo custo, os óleos residuais utilizados em frituras. Trata-se de um tema atual, cujo conteúdo pode ser utilizado por pesquisadores e estudantes da área, assim como também pode ser usado por professores da área de Química. Além disso, propõe uma forma de abordar o assunto em sala de aula para o ensino de Química.

PALAVRAS-CHAVE

Biodiesel. Óleos residuais. Transesterificação.

VIABILIDADE DO USO DE ÓLEOS VEGETAIS USADOS EM FRITURAS

INTRODUÇÃO

A busca por combustíveis alternativos vem ganhando destaque nas últimas décadas. A substituição dos combustíveis fósseis tem sido motivada por fatores ambientais, econômicos e sociais, uma vez que toda a sociedade depende de seu uso. Dentro desse contexto, uma alternativa ao uso dos combustíveis fósseis e que merece destaque são os biocombustíveis (OLIVEIRA et al., 2008). A expressão biocombustível é associada ao combustível líquido ou gasoso que é produzido a partir de biomassa. São várias as razões para os biocombustíveis serem considerados relevantes tecnologias. Tais razões estão relacionadas à segurança energética, a questões ambientais, à sustentabilidade e a questões relacionadas à socioeconomia do setor rural. As vantagens dos biocombustíveis são: a) o fato de serem facilmente disponíveis a partir de uma fonte comum de biomassa; b) representarem um ciclo fechado de dióxido de carbono, pois os derivados de petróleo aumentam a concentração de CO₂ na atmosfera, enquanto o uso de biomassa permite a reabsorção do CO₂ liberado, possibilitando que um ciclo quase fechado de carbono seja estabelecido; c) vem sendo considerados ambientalmente corretos, principalmente por serem biodegradáveis e contribuírem para sustentabilidade (DEMIRBAS, 2008). De acordo com a Lei No 11.097 de 13 de Janeiro de 2005, o biodiesel pode ser definido como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia que possa substituir total ou parcialmente combustíveis de origem fóssil. É constituído por uma mistura de ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos.

O uso de óleos vegetais como biocombustíveis

Os primeiros relatos do uso de óleos vegetais "in natura" no Brasil são da década de 20. Posteriormente, algumas pesquisas foram desenvolvidas no Instituto Nacional de Tecnologia, no Instituto de Óleos do

Ministério da Agricultura e no Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais. Neste último, em 1950, registraram-se estudos sobre o uso dos óleos de ouricuri, mamona e algodão em motores diesel (BIODIESELBR, 2019). A partir da década de 70, o cenário energético mundial estava em crise, o que acabou incentivando a redução da dependência de petróleo importado, impulsionando novamente as pesquisas sobre o uso de óleos vegetais.

Diversos estudos realizados com óleos vegetais demonstraram que houve um bom rendimento quando os mesmos foram utilizados em máquinas agrícolas ou caminhões. No entanto, esses estudos demonstraram a existência de algumas desvantagens no uso direto dos óleos "in natura": (a) ocorrência de excessivos depósitos de carbono no motor; (b) obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores; (c) diluição parcial do combustível no lubrificante; (d) comprometimento da durabilidade do motor; (e) aumento considerável nos custos de manutenção e (f) possível formação de compostos lacrimogênicos (odor desagradável) e outros carcinogênicos, como as dioxinas (acroleína) (FUKUDA; KONDO; TAMALAMPUDI, 2009; MENANI, 2008; RAMOS et al., 2003).

Outros estudos demonstraram que a alta viscosidade e a baixa volatilidade dos óleos vegetais "in natura" podem provocar sérios problemas ao bom funcionamento do motor.

Para contornar as desvantagens citadas, houve investimento na adaptação dos motores para que o uso de óleos vegetais pudesse ser viabilizado. Contudo, ainda fazia-se necessário desenvolver uma metodologia de transformação química do óleo para que suas propriedades se tornassem mais adequadas ao seu uso como combustível. Dessa forma, em meados da década de 70, surgiram no Brasil as primeiras propostas para modificação de óleos vegetais, cujos objetivos eram melhorar sua qualidade de ignição, reduzir seu ponto de fluidez e ajustar os seus índices de viscosidade e densidade específica (KNOTHE et al., 2006).

VIABILIDADE DO USO DE ÓLEOS VEGETAIS USADOS EM FRITURAS

Apesar de atualmente existirem comissões no senado federal que defendem o uso dos óleos vegetais "in natura" como combustível, conforme notícia publicada por Senadonotícias (2019), estudos realizados já na década de 30 ilustravam que, para se obter o maior valor combustível de óleos vegetais, seria necessário quebrar as ligações éster-glicéridas dos óleos vegetais e usar diretamente os ácidos graxos remanescentes (NEWS, 1980). A afirmação citada foi um indicativo daquilo que hoje é conhecido como "biodiesel".

A produção de biodiesel - rotas tradicionais

Os maiores componentes de óleos vegetais e gorduras animais são os triacilgliceróis (TAG: muitas vezes chamados triglicerídeos). Quimicamente, os TAGs são ésteres de ácidos graxos (AG) com glicerol (1,2,3 propanotriol).

A reação de craqueamento consiste na quebra das cadeias carbônicas de TAGs de origem animal ou vegetal pelo aumento da temperatura do sistema, resultando em uma mistura de compostos constituída, em sua maioria por hidrocarbonetos lineares (SUAREZ, 2005). As similaridades dos hidrocarbonetos obtidos neste processo aos hidrocarbonetos contidos no biodiesel oriundo do combustível fóssil permite seu uso em motores convencionais.

O biodiesel obtido através do processo de craqueamento foi amplamente usado na China como um substituto ao uso do petróleo, porém, no final da Segunda Guerra houve uma normalização do mercado mundial de petróleo e a utilização do biodiesel foi abandonada (CHANG; WAN, 1947).

Outro processo para produção de biodiesel é a esterificação, que se caracteriza pela reação reversível entre um ácido carboxílico e um álcool produzindo éster e água. Por outro lado, a transesterificação trata-se de uma reação que ocorre entre um éster e um álcool da qual resulta um novo éster e um álcool. Das reações citadas, a mais utilizada para a produção de biodiesel é a reação de transesterificação, pois fornece um

subproduto que possui diversas aplicações em vários segmentos industriais, o glicerol.

Nas reações de transesterificação, a produção de biodiesel forma ésteres alquílicos e glicerol, sendo que a camada de glicerol, mais densa que os ésteres, se deposita no fundo do recipiente da reação. O processo se baseia na reação estequiométrica do alquil glicerol com álcool em presença de um catalisador (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007). O processo global de transesterificação de óleos vegetais e gorduras é uma seqüência de três reações reversíveis e consecutivas em que os mono e os diacilgliceróis são intermediários das reações, conforme a Figura 1 (KRAUSE, 2008).

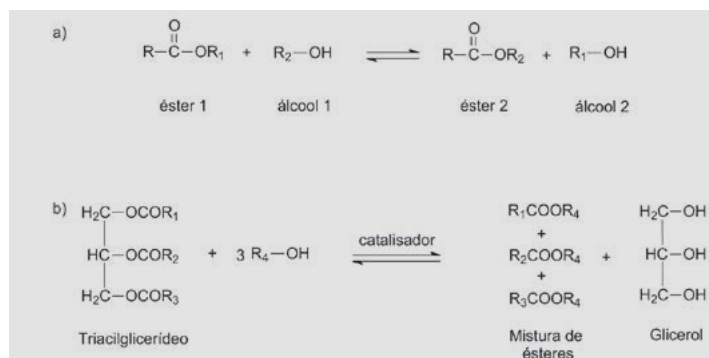


Figura 1: Ilustração das etapas intermediárias e da etapa global de produção de ésteres alquílicos e glicerol a partir de triacilgliceróis e um álcool (KRAUSE, 2008).

As reações de transesterificação podem ser

conduzidas através do uso de um catalisador ácido ou básico, catalisador enzimático ou fluidos supercríticos. Na catálise ácida são normalmente utilizados: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico e ácidos sulfônicos. Embora a reação de transesterificação catalisada por ácidos seja mais lenta em relação a mesma reação catalisada por álcalis, ela apresenta a vantagem de ser mais indicada para matérias-primas que contenham uma elevada porcentagem de ácidos graxos livres e água (FUKUDA; KONDO; NODA, 2001). Na catálise básica são normalmente utilizados: hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, carbonatos e alcóxidos (CHUNG; KIM; LEE, 2009).

As reações de transesterificação catalisadas por

reagentes álcalis ocorrem a velocidades que chegam a ser quatro mil vezes mais maiores que a catálise ácida e por esse motivo, é o tipo de catálise mais utilizada comercialmente. Outra possibilidade é o uso de enzimas. A enzima utilizada para a produção de biodiesel é a lipase, que são classificadas como (triacilglicerol acilhidrolase, EC 3.1.1.3) (Figura 2) e catalisam a hidrólise de triacilgliceróis para glicerol e ácidos graxos livres (SHARMA et al., 2001, CASTRO et al., 2004).



Figura 2: Modelo da estrutura tridimensional da lipase de *Arabidopsis thaliana*. (MESSAOUDI; BELGUTH; HAMIDA, 2011)

A viabilidade técnica da produção de biodiesel de óleos de frituras usados

Os estudos preliminares para a implementação de qualquer tipo de processo estão relacionados ao ato de verificar se é viável técnica ou tecnologicamente a adoção deste processo. Logo, para verificar a real viabilidade de uso de óleos residuais para a produção de biodiesel, existe a necessidade de estudar vários parâmetros da reação e da qualidade final do combustível obtido. Para a análise de viabilidade da reação de obtenção de biodiesel, são realizados estudos com diferentes tipos de catalisadores, alcoóis, temperaturas, razões molares álcool/óleo e rendimentos da reação de obtenção de ésteres (BHATTI; HANIF; QASIM, 2008; SOUZA; GOMES; BARICCATTI, 2008).

Alguns resultados obtidos por outros autores para os parâmetros mencionados encontram-se ilustrados na Tabela 1, onde é possível obter biodiesel partindo

Tabela 1 - Dados de autores que obtiveram elevados rendimentos de reações de transesterificação com óleos vegetais. Os resultados estão organizados por ordem decrescente em termos de rendimento de produção de biodiesel.

REFERÊNCIA
FELIZARDO et al., 2006
LIU et al., 2008
AWORANTI; AGARRY; AJANI, 2013
(WEN et al., 2010)
DIZGE et al., 2009
FERREIRA; SOUSA; CAETANO, 2008)
SUPARDAN, 2012
(CHRISTOF, 2006)
OMAR, 2009
PACHECO, 2012

de óleos residuais com bons rendimentos de obtenção de ésteres. Além dos parâmetros analisados pelos autores, também é importante citar a importância em se analisar os parâmetros finais de qualidade do biodiesel estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A ANP é o órgão que regula as especificações de combustíveis no Brasil (LÔBO ET AL., 2009).

Conforme apresentado anteriormente os valores maiores de taxas de conversão em ésteres foram obtidos para os catalisadores básicos. Entretanto, existe uma desvantagem no uso destes catalisadores, o fato dos mesmos serem solúveis em meio reacional dificultando muitas vezes a sua remoção ou recuperação. Para contornar esse, estudos vem sendo realizados com a catálise heterogênea (KNOTHE et al., 2006; PREDOJEVI, 2008, ANTCZAK et al., 2009; PACHECO, 2012;).

Motivações para a produção de biodiesel a partir de óleos residuais

Através da pesquisa de artigos publicados desde 2008, nos periódicos disponíveis na coleção eletrônica da ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>) é possível verificar que dos artigos encontrados para a palavra chave biodiesel, a maioria se refere à produção ou caracterização de biodiesel obtido a partir de óleos vegetais de alta qualidade, como por exemplo, a soja, colza, girassol, palma e mamona.

VIABILIDADE DO USO DE ÓLEOS VEGETAIS USADOS EM FRITURAS

NATUREZA DO ÓLEO	TIPO DE CATALISADOR	RAZÃO MOLAR ÁLCOOL/ ÓLEO	TIPO DE ÁLCOOL	TEMPERATURA (°C)	RENDIMENTO (%)
Óleo residual	KOH	6:1	Metílico	65	98
Óleo de soja	óxido de cálcio	12:1	Metílico	65	95
Óleo residual	CaO	14:1	Metílico	60	94,15
Óleo residual	TiO ₂ -MgO	50:1	Metílico	60	93,8
Óleo residual	lipase	6:1	Metílico	65	90,2
Óleo residual	Lipozyme TL-IM	3:1	Etilico	35-38	90
Óleo residual	KOH	6:1	Metílico	60	89,4
Óleo residual	NaOH	12:1	Etilico	40-55,5	85
Óleo residual	CaO	7:1	Metílico	60	81,3
Óleo residual de vísceras de frango	Novozymes 435	-	Sem co-solvente	30	35,2

A expressão: óleos vegetais de alta qualidade, se refere aos óleos que passaram por tratamentos que fornecem aos mesmos baixas concentrações de ácidos graxos livres, de pigmentos que conferem cor aos óleos e que possuem baixos índices de peróxido. O restante dos artigos são relacionados à produção ou à caracterização de biodiesel de óleos vegetais usados, sebos e outros tipos de resíduos.

A constatação realizada motiva a realização de mais pesquisas sobre produção de biodiesel a partir de materiais residuais. Outra questão que merece reflexão é o aumento significativo que deverá ocorrer na produção de oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel, para o cumprimento da Lei 11.097/05. Segundo Barbosa (2007), esse aumento poderá acarretar em mudanças no setor de alimentos. O efeito dessa elevada procura de produtos agrícolas para o setor energético aponta para um aumento nos preços das sementes, nos custos da ração para os animais e, no final da cadeia, no preço da alimentação.

Esse cenário causa preocupação e também traz à tona o debate combustível x alimento. Outro ponto de debate é a ameaça à biodiversidade. Ainda, segundo Barbosa (2007), a produção de óleo de palma já causou o desmatamento de grandes extensões de florestas na Colômbia, Equador e Indonésia.

Na Malásia, maior produtor mundial de óleo de palma, 87% das florestas foram derrubadas em

função das plantações de palma. No Brasil, até 2008, o Governo Federal ofertou incentivos fiscais para impulsionar a produção de biodiesel utilizando o óleo de mamona. O óleo de mamona é utilizado como substrato para a produção de um biodiesel que possui características singulares, que, por sua vez, estão relacionadas à sua composição química. De acordo com o mesmo autor o óleo de soja e o óleo de palma respondem, respectivamente, por 30% e 70% da produção do biodiesel nacional.

As questões levantadas ressaltam a necessidade pela busca por novos substratos para a produção de biodiesel. Para o caso do uso de resíduos, apesar de serem poucas as ações neste sentido, já é possível encontrar casos de empresas que utilizam os óleos residuais para produção de biocombustível para abastecimento da própria frota.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos residuais tratam-se de um grave problema ambiental, sendo que o descarte de um litro de óleo vegetal nos corpos hídricos, contaminam milhares de litros de água. O fato é que não existe uma forma de descarte ideal, mas existem alternativas de reaproveitamento deste óleo e uma das possibilidades é a produção de biodiesel. Dessa forma, o presente artigo ilustra a viabilidade da produção do biodiesel utilizando óleos residuais de frituras.

No contexto escolar normalmente, os projetos

VIABILIDADE DO USO DE ÓLEOS VEGETAIS USADOS EM SALA DE AULA E POSSIBILIDADE DE REFERÊNCIAS

realizados nas escolas se concentram em reutilizar o óleo usado para a produção de sabão. Apesar deste ser um fim bastante interessante, é importante abordar com os alunos que esses resíduos podem ter um fim mais nobre, ou seja, para a produção de biodiesel.

Conforme Oliveira et al. (2008), o biodiesel pode ser abordado de forma associada as questões ambientais, sociais, econômicas. Além disso, pode servir como tema para contextualização e abordagem de saberes da disciplina de Química, tais como: Funções orgânicas, Compostos orgânicos naturais, Termoquímica, Equilíbrio químico e Bioquímica. O texto de Santos e Pinto (2009) também é interessante pois apresenta uma forma simples de realização de experimento em sala de aula para a produção de biodiesel com o uso de materiais caseiros.

O artigo em questão trata da produção de biodiesel com o uso da rota tradicional usando hidróxido de sódio como catalisador. A proposta deste artigo, é que o mesmo ensaio descrito anteriormente seja realizado modificando-se o catalisador químico para o catalisador biológico. Existem várias empresas que vendem enzimas ou mesmo realizam doação de enzimas, porém, a que se destaca no mercado mundial atualmente é a Novozymes - multinacional de origem dinamarquesa.

ANTCZAK, Mirosława Szczęсна et al. Enzymatic biodiesel synthesis - Key factors affecting efficiency of the process. *Renewable Energy*, [s.l.], v. 34, n. 5, p.1185-1194, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.013>.

AWORANTI, O. A.; AGARRY, S. E.; AJANI, A. O. Statistical Optimization of Process Variables for Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Heterogeneous Base Catalyst. *British Biotechnology Journal*, London, v. 2, n. 3, p.116-132, fev. 2013.

BARBOSA, L. M. Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos. *British Biotechnology Journal*, Belo Horizonte, p.1-7, set. 2007.

BIODIESELBR (Ed.). História - Brasil. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/oleos-vegetais-biodiesel-brasil>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BHATTI, H; HANIF, M; QASIM, M. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*, [s.l.], v. 87, n. 13-14, p.2961-2966, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.016>.

CASTRO, H. G. et al. Modificação de óleos e gorduras por biotransformação. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 1, p.146-156, 2004.

CHANG, Chia-chu.; WAN, Shen-wu.. China's Motor Fuels from Tung Oil. *Industrial & Engineering Chemistry*, [s.l.], v. 39, n. 12, p.1543-1548, dez. 1947. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ie50456a011>.

CHRISTOFF, Paulo. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA COMERCIAL. ESTUDO DE CASO: GUARATUBA, LITORAL PARANAENSE. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologias, Instituto de Engenharia do Paraná - lep, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/PauloChristoff.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

DEMIRBAS, Ayhan. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion And Management*, [s.l.], v. 49, n. 8, p.2106-2116, ago. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>.

DIZGE, Nadir et al. Biodiesel production from sunflower, soybean, and waste cooking oils by transesterification using lipase immobilized onto a novel microporous polymer. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 100, n. 6, p.1983-1991, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.008>.

FELIZARDO, Pedro et al. Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, [s.l.], v. 26, n. 5, p.487-494, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.02.025>.

FERREIRA, P. J.; SOUSA, H. S.; CAETANO, N. S. BIODIESEL PRODUCTION FROM VEGETABLE FRYING OIL AND ETHANOL USING ENZYMATIC CATALYSIS. In: BIOENERGY: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON BIOENERGY, 6., 2008, Portugal. *Anais Bioenergy: Challenges and Opportunities*. Portugal: Universidade do Minho, Guimarães, 2008. p. 1 - 7.

FUKUDA, Hideki; KONDO, Akihiko; NODA, Hideo. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience And Bioengineering*, [s.l.], v. 92, n. 5, p.405-416, jan. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1389-1723\(01\)80288-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1389-1723(01)80288-7).

FUKUDA, Hideki; KONDO, Akihiko; TAMALAMPUDI, Sriappareddy. Bioenergy: Sustainable fuels from biomass by yeast and fungal whole-cell biocatalysts. *Biochemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 44, n. 1, p.2-12, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2008.11.016>.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; GOMES, Luis Fernando Souza; BARICCATTI, Reinaldo Aparecido. Biodiesel produzido com óleo de frango. *Acta Scientiarum. Technology*, [s.l.], v. 30, n. 1, p.1-6, 8 maio 2008. Universidade Estadual de Maringa. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i1.3203>.

KNOTHE, Gerhard et al. *Manual de Biodiesel*. São Paulo: Blucher, 2006. 352 p.

KRAUSE, L. C. Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal. 2008. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CHUNG, Kyong-hwan; KIM, Jin; LEE, Ki-young. Biodiesel production by transesterification of duck tallow with methanol on alkali catalysts. *Biomass And Bioenergy*, [s.l.], v. 33, n. 1, p.155-158, jan. 2009. Elsevier BV.

LIU, Xuejun et al. Calcium Ethoxide as a Solid Base Catalyst for the Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Energy & Fuels*, [s.l.], v. 22, n. 2, p.1313-1317, mar. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ef700518h>.

MARCHETTI, J.m.; MIGUEL, V.u.; ERRAZU, A.f. Possible methods for biodiesel production. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 11, n. 6, p.1300-1311, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.006>.

MESSAOUDI, Abdelmonaem; BELGUTH, Hatem; HAMIDA, Jeannette Ben. Three-Dimensional Structure of Arabidopsis thaliana Lipase Predicted by Homology Modeling Method. *Evolutionary Bioinformatics*, [s.l.], v. 7, p.99-105, jan. 2011. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.4137/ebo.s7122>.

NEWS, Industry. Vegetable oil as diesel fuel? *Journal of The American Oil Chemist's Society*, [s.l.], v. 57, n. 11, p. 805-819, 1980.

PREDOJEVIĆ, Zlatica J.. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. *Fuel*, [s.l.], v. 87, n. 17-18, p.3522-3528, dez. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.003>.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. *Química e Sociedade. Química Nova na Escola*, [s.l.], v. 31, n. 28, p. 1-6, 2008.

OMAR, N. W.; NORDIN, M.; AMIN, M.; AMIN, N.A.S. A two-step biodiesel production from waste cooking oil: optimization of pre-treatment spet. *Journal of Applied Sciences*, [s.l.], v. 9, n. 17, p. 3098-3103, 2009.

RAMOS, Luiz Pereira et al. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, [s.l.], n. 31, p. 28-37, 2003.

SANTOS, A. P. B.; PINTO, A. C. Biodiesel: Uma Alternativa de Combustível Limpo. *Química Nova na Escola*, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 1-5, 2009.

SENADONOTÍCIAS. Comissões discutem uso de óleo vegetal in natura como combustível. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2009/06/16/comissoes-discutem-uso-de-oleo-vegetal-in-natura-como-combustivel>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

SHARMA, R.; CHISTI, Y.; BANERJEE, U. C. Production, purification, characterization and applications of lipases. *Biotechnology Advances*, [s.l.], n. 19, p. 627-662, 2001.

SUAREZ, P. A. S. Energia para o Mercosul: edição 2004 do Prêmio MERCOSUL de Ciência e Tecnologia, UNESCO, REGYT, MCT, 2005.

SUPARDAN, M. D.; Satriana; Mahlinda. BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL USING HYDRODINAMIC CAVITATION. *Makara Journal of Technology Series*, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 157-162, 2012.

WEN, Zhenzhong et al. Biodiesel production from waste cooking oil catalyzed by TiO₂-MgO mixed oxides. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 101, n. 24, p.9570-9576, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.066>.

AVALIAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DE CONDICIONADORES DE AR PARA USO EM AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA

INSTITUTO FEDERAL DE DE SANTA CATARINA (IFSC), CAMPUS CRICIÚMA, EDITAL UNIVERSAL DE PESQUISA N° 05/2015/PROPII, CHAMADA INTERNA CAMPUS CRICIÚMA N° 05/2015

ORLANDO GONNELLI NETTO

*Instituto Federal de de Santa Catarina (IFSC), Campus Criciúma.
orlando.netto@ifsc.edu.br*

JOÃO LUCAS MIRANDA MENEGASSO

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus Porto Alegre.
joaohm@hotmail.com*

RESUMO

Nesta pesquisa estuda-se a viabilidade de utilização da água proveniente da condensação da umidade da atmosfera em equipamentos condicionadores de ar, em aulas experimentais de Química, como água destilada. Para tanto, é analisada a condutividade elétrica da água produzida pelos equipamentos condicionadores de ar do IFSC - Campus Criciúma, coletada e armazenada por meio de um sistema de tubos e canos implementado para a realização da pesquisa. A condutividade média das amostras coletadas é 30,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$, acima do limite aceitável para água destilada, que está entre 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O sistema mostra-se útil para coleta e armazenamento, mas não é isolado de contaminantes externos. Futuramente, espera-se executar testes de grau de mineralização, poluição orgânica e aspectos físicos que melhor caracterizam a água condensada pelos aparelhos.

PALAVRAS CHAVE

Condutividade elétrica. Qualidade da água. Ar condicionado. Reaproveitamento de água.

AVALIAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DE

INTRODUÇÃO

Em laboratórios de química, o uso de água destilada em experimentos é fundamental para obtenção de resultados precisos. Esta água é destilada no próprio laboratório e sua produção gera um efluente de água não destilada da ordem de 100 L para cada litro de água pura obtida. Os destiladores dos laboratórios atuam como evaporadores/condensadores de água e para tal utilizam-se de resistências elétricas que consomem 4 kW·h para evaporação de uma parcela de 1% da água de entrada.

Com a implementação dos cursos técnico de nível médio Integrado em Química e Licenciatura em Química, o consumo de água destilada nas aulas práticas teve aumento significativo, apontando para propostas ecologicamente viáveis de obtenção de água destilada. O sistema de condensação de água presente em aparelhos de ar-condicionado pode ser uma fonte de água com pureza suficiente para realização de atividades experimentais.

O funcionamento do aparelho se baseia na condensação e na vaporização de determinado fluido por meio de uma compressão e expansão muito aceleradas (processos adiabáticos) que resfriam o fluido. Dessa forma, o ambiente diminui sua temperatura ao trocar calor com o fluido refrigerado (RAMALHO et al, 2003). A água que é descartada dos aparelhos é oriunda da condensação do vapor d'água presente na atmosfera do ambiente quando em contato com a serpentina em que o fluido resfriado se encontra. A princípio, tal água deveria ser livre de sais minerais e outras substâncias inorgânicas. Porém, por se tratar de um sistema aberto, está sujeito ao acúmulo de poeira e outros contaminantes.

Conforme BOLINA et al. (2017), que realizou análise detalhada da água condensada, a presença de sulfeto de hidrogênio em concentração cem vezes acima do tolerável, entre outros compostos, inviabiliza seu uso para consumo humano. Seus pontos de coleta localizam-se próximos a densos centros urbanos onde há intenso tráfego de caminhões e automóveis que

poluem a atmosfera. A pesar disso em LIMA et al. (2015), é mostrado que a água pode ser reaproveitada e, com o devido tratamento, é possível até utilizá-la para consumo humano. Tais pesquisas despertaram o interesse em compreender melhor as propriedades físico-químicas dessa água no campus Criciúma, desenvolvendo-se para tal fim um sistema de coleta e armazenamento.

O campus IFSC Criciúma conta com 42 aparelhos condicionadores de ar que operam por 8 h diárias no verão, descartando grandes volumes de água. Conforme reportagem do Jornal Nacional (2015), uma residência com três aparelhos consegue, operando durante o dia ao longo de uma semana, um volume de 40 L. Extrapolando os números para o IFSC campus Criciúma, pode ser possível obter 500 L de água por semana e aumentar a quantidade de água destilada disponível para as práticas dos laboratórios.

Nesta pesquisa, propõe-se a determinação da condutividade elétrica da água com um teste de um sistema de coleta e armazenamento e um estudo introdutório da caracterização dessa água coletada. A condutividade elétrica representa a facilidade ou dificuldade da passagem elétrica pela água e nos informa sobre a carga mineral presente na amostra, isto é, a concentração de íons (cloretos, sulfatos, nitratos e fosfatos) e cátions (magnésio, cálcio, ferro, alumínio e amônio) advindos de contaminantes sólidos dissolvidos na água. Desta forma, ao mensurar-se a condutividade elétrica, quantifica-se a quantidade de compostos nela contidos. Portanto, o presente trabalho descreve a montagem de um sistema de armazenamento de água dos aparelhos condicionadores de ar e apresenta os resultados da análise da condutividade elétrica desta água coletada a fim de iniciar um estudo da viabilidade de sua reutilização como água destilada em aulas experimentais de Química.

METODOLOGIA

A pesquisa dividiu-se em três partes, executados nesta ordem:

AVALIAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DE CONDICIONADORES DE AR PARA USO EM AULAS

1º Quantificação do volume de água dos aparelhos de ar condicionado do campus: foi selecionado um aparelho referência da marca ELGIN 18000 btu, instalado no Laboratório de Química, ao longo de 2 semanas operando em 20 °C. Registrou-se o tempo de operação, o volume de água gerado, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.

2º Elaboração e implementação de um sistema de coleta e armazenamento de água de baixo custo;

3º Análise da condutividade elétrica da água coletada;

Para a execução do projeto prezou-se pela economia de recursos financeiros, sendo utilizadas mangueiras de silicone e canos de PVC para conduzir a água a um reservatório plástico de capacidade 100 L. O preço total do sistema com sua instalação foi de R\$150,00. A análise da condutividade elétrica foi feita a partir de um condutivímetro da marca TECNOPON e modelo mCA-150. A higienização do sistema foi realizada a fim de eliminar contaminantes grosseiros, o que não permite afirmar que o sistema esteja completamente isolado da influência de demais contaminante. O sistema está mostrado na Fig. 1 a seguir.



Figura 1: Sistema de coleta e armazenamento de água. O sistema abrange 5 aparelhos e armazena água no reservatório localizado no canto inferior direito da imagem.
FONTE: Dados da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

¹ A temperatura de operação em 20 °C é estabelecida como padrão por convenção do campus, que adota uma política de economia de energia elétrica, sugerindo tal temperatura como padrão para todos os aparelhos.

Os dados coletados no aparelho referência para a quantificação da água estão mostrados na Tabela 1 a seguir.

TEMPO DE OPERAÇÃO (H)	VOLUME (L)	UMIDADE RELATIVA DO AR	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)
2,43	4,5	70%	23,5
2,00	4,0	88%	21,0
2,30	3,6	88%	24,0
4,43	8,0	70%	22,5
2,50	9,2	59%	24,0

Tabela 1: Registro dos parâmetros para a quantificação da água de um aparelho de ar condicionado.

FONTE: Dados da pesquisa.

Desta forma, a média de produção de água é 2,14 L/h, para uma umidade relativa do ar média de 75%, ideal para o ser humano (VARELLA, 2016). A seguir, é extrapolada a quantificação para os demais aparelhos e projeta-se um sistema de captação e armazenamento de água para os demais aparelhos que operam por 24 h ininterruptas refrigerando o servidor de internet central do campus, ilustrados na Fig. 1. O sistema abrange a coleta de 5 aparelhos e consegue, em média, preencher o reservatório de 100 L em 3 dias. Um total de 6 amostras foram coletadas em dias diferentes das fontes: água da torneira, destilada em laboratório e do sistema de coleta. O resultado médio das análises está representado na Tab. 2 a seguir.

DESTILADA EM LABORATÓRIO	TORNEIRA	SISTEMA DE COLETA
1,99	54,43	30,08

Tabela 2: Condutividade elétrica média de 6 amostras de água advindas de diferentes fontes a 25 °C (2°S/cm).
FONTE: Dados da pesquisa.

Na Tabela 2, foram utilizados dois valores de referência: água destilada em laboratório e água de torneira. Valores aceitáveis para água destilada estão entre 0,5µS/cm e 3,0µS/cm (VILLAS, M; BANDERALI,

2016). A condutividade média do sistema de coleta é 30,08 μ S/cm e o padrão recomendável para águas de origem natural está entre 10 μ S/cm e 100 μ S/cm (BRASIL, 2016). Acima destes valores, a água é considerada salobra e sofreu contaminação excessiva de agentes externos.

A condutividade média dos aparelhos está acima dos padrões aceitáveis de água destilada e, portanto, sem um tratamento prévio não pode ser utilizada em aulas experimentais nos laboratórios de química.

CONCLUSÕES

A condutividade da água armazenada pelo sistema de coleta possui valor de 30,08 μ S/cm, enquanto que os valores tolerados para água destilada estão entre 0,5 μ S/cm e 3,0 μ S/cm. A discrepância da condutividade elétrica das amostras de água do ar condicionado com os limites estipulados para a água destilada mostram que o sistema de coleta está sendo contaminado, uma vez que a serpentina do aparelho responsável pela condensação da água não é isolado do ambiente externo. De acordo com BOLINA et al. (2017), uma possível explicação é a contaminação atmosférica com gases provenientes da queima de combustível. É provável que a mesma contaminação aconteça no campus Criciúma, uma vez que está localizado às margens de rodovia estadual movimentada. Tal hipótese está sendo investigada em projetos paralelos, como por exemplo, a implementação de um filtro ecológico junto à saída de água que visa eliminar contaminantes como CaCO₃ e partículas maiores em suspensão. Tal projeto vem sendo desenvolvido via edital 33/2018/PROPI do campus Criciúma desde 2018.

Para uma avaliação mais completa da qualidade da água futuros trabalhos analisarão o caráter físico, químico e biológico dessa água como, por exemplo, grau de mineralização (obtido por meio da análise da condutividade, alcalinidade, dureza), poluição orgânica (oxigênio dissolvido, DBO, DQO e amônio), presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo),

presença de poluentes significativos (metais pesados, detergentes, pesticidas e compostos organossintéticos), contaminação fecal (bactérias coliformes) e aspecto físico (série de sólidos, cor e turbidez).

Agradecimentos

Agradecemos à coordenação do campus IFSC Criciúma, que nos permitiu a utilização da fachada do campus para implementar o sistema de coleta, ao zelador do campus, que nos assessorou na montagem do sistema de coleta, técnicos de laboratórios que nos auxiliaram com a manutenção, ferramentas e ideias, aos alunos voluntários que participaram da implementação do sistema de coleta e às laboratoristas de química.

REFERÊNCIAS

BOLINA, C. C.; RODRIGUES, A. L.; GOMES, M. I. L. SARDINHA, G. O. M. FÉLIX, M. V. Reuso de água de dreno de ar condicionado para fins não potáveis. ENGEVISTA, V. 19, n.5, p. 1387-1400, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF, 2006.

JORNAL NACIONAL. Água de ar condicionado pode ser bebida após tratamento. Reportagem exibida em 31/03/2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/03/agua-de-ar-condicionado-pode-ser-bebida-apos-tratamento-diz-pesquisa.html>> Data de acesso: 23 de Abril de 2015.

LIMA, S. M.; ZAQUE, R. A. M.; VALENTINI, C. M. A.; SOUZA, F. ALBANO, P. Água de ar condicionado: uma fonte alternativa de água potável? VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, RS. Novembro de 2015.

RAMALHO, NICOLAU e TOLEDO. Os Fundamentos da Física, Vol. 02, 8ª Ed. Editora Moderna, 2003.

VARELLA, D. Umidade do ar: reflexos na saúde. Site do Drauzio. Revisado em 09/09/2014. Disponível em < <https://drauziovarella.com.br/doencas-e-sintomas/umidade-do-ar-reflexos-na-saude/>>. Acesso em 20 de abril de 2016.

VILLAS, M. BANDERALI, M. Como e porque medir a Condutividade Elétrica (CE) com sondas multiparâmetros? AgSolve Monitoramento Ambiental. Publicada em 12/03/2013. Disponível em <https://www.agsolve.com.br/noticias/como-e-porque-medir-a-condutividade-eletrica-ce-com-sondas-multiparâmetros>. Acesso em 22 de abril de 2016.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

JULIANO CARVALHO RAMOS

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Química, Campus Jaraguá do Sul - Centro, juliano.ramos@ifsc.edu.br

ANNA JULIA ZANDONAI

DANIELLE VITÓRIA SANTANA DIAS

JEISIANE RAMOS MONTEIRO

LAYSA GABRIELI PEREIRA

KAWANNE PAOLLA ROGALEWSKI

RAYSSA CAROLINA COSTA

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Discentes do curso Técnico em Química integrado ao Ensino Médio, Campus Jaraguá do Sul - Centro

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, o país que possui a maior geração de biomassa residual (bagaço e palha). A cada tonelada de cana processada são gerados cerca de 140 kg de bagaço. Outro rejeito muito produzido pela indústria alimentícia é a casca de batata inglesa, que possui uma grande quantidade de amido em sua composição. Os resíduos gerados por essas indústrias, mais especificamente pela indústria de papel com o processo kraft, são a causa de diversos problemas ambientais, econômicos e sociais. Em vista disso, averiguou-se uma forma sustentável para produção de papel com o uso de fontes e recursos que fossem rejeitos, como o bagaço de cana-de-açúcar e a casca de batata. Para isso, a metodologia baseou-se na extração de celulose do bagaço de cana-de-açúcar pelo método de extração por Soxhlet, usando como solventes hexano e etanol; seguido de branqueamento com lavagem alcalina utilizando hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio, obtendo-se rendimentos de 29, 74, 67 e 58% para granulometrias de 63 μm , 150 μm , 250 μm e 850 μm respectivamente. Para melhorar a qualidade do papel, houve adição de amido extraído da casca de batata por processo de lavagem para retirada de impurezas, moagem com água gelada e decantação. Realizaram-se testes físicos, para fins comparativos entre os papéis produzidos e a folha sulfite (papel comumente comercializado). Os melhores valores de cada ensaio foram atribuídos aos papéis da granulometria de 850 μm com e sem adição de amido: no ensaio de gramatura foram obtidos valores de 50,8 g/m² e 49,5 g/m²; para a umidade os valores foram 12,8% e 13,4%; e resistência à tração apresentou valores de $1,8 \times 10^{-3}$ N/mm² e $1,6 \times 10^{-3}$ N/mm², todos respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE

Fabricação de papel, Bagaço de cana-de-açúcar, Celulose, Casca de batata, Amido.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM CASCA DE BATATA

INTRODUÇÃO

A maior parte das plantas fibrosas como algodão, sisal, carnaúba e fibras de coço podem ser utilizadas para fabricação de papel, sendo a condição limitante a viabilidade econômica do processo, logo fatores como a quantidade de celulose que é possível encontrar nesta planta e o processo necessário para extração do polímero nesta matriz devem ser considerados, pois todas essas etapas (cultivo das plantas, extração da celulose, reagentes adicionados no processo, entre outros) influenciam na produção do papel (KLOCK et al., 2013).

Dentre os rejeitos brasileiros de origem agrícola que poderiam ser utilizados como matéria prima para fabricação do papel, o bagaço de cana-de-açúcar é um dos mais significativos por sua abundância. Estima-se que na safra de 2018/2019 serão produzidos cerca de 625,96 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2018).

Assim como o bagaço de cana-de-açúcar, a casca da batata inglesa também é um rejeito, e a indústria processadora gera anualmente entre 70 a 140 mil toneladas deste resíduo (WU, D., 2016). A casca da batata contribui com a maior fração orgânica deste detrito gerado na indústria processadora e o seu descarte incorreto pode ocasionar problemas ambientais, tais como a poluição das águas, devido ao aumentando da demanda química de oxigênio, sólidos totais suspensos e nitrogênio total. Além disso, há diminuição do pH das águas, devido a utilização de

soda cáustica para facilitar a remoção da casca da batata (HUNG, et al., 2006).

O papel é produzido a partir de uma suspensão aquosa de fibras celulósicas - polímero linear de ligações 1-4 glicosídicas - provenientes principalmente da madeira ou de outras fontes, como o bagaço da cana-de-açúcar. As fibras celulósicas são entrelaçadas e drenadas através de processos mecânicos e térmicos. Além disso, são empregados aditivos que fornecem diferentes características ao papel (cor e textura). Atualmente são utilizados como aditivos o sulfato de alumínio, corantes, carga mineral (dióxido de titânio), além dos amidos de mandioca e milho (CASTRO, 2009; KLOCK et al., 2013; SANTOS, et al., 2001).

A unidade de repetição da celulose, a celobiose, apresentada na Figura 1, se forma através da eliminação da molécula de água, presente nos carbonos 1 e 4 onde, seguidamente, duas moléculas farão uma ligação glicosídica (CARVALHO, 2011 apud WYMAN et al., 2005).

O amido é um homopolissacarídeo formado por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose tem em sua estrutura unidades de glicose formadas por ligações glicosídicas α -1,4, enquanto a amilopectina é formada por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. Como representado na Figura 2, a amilose (A), possui uma cadeia linear e a amilopectina (B), uma estrutura ramificada (DENARDIN et al., 2009 apud ELIASSON, 2004).

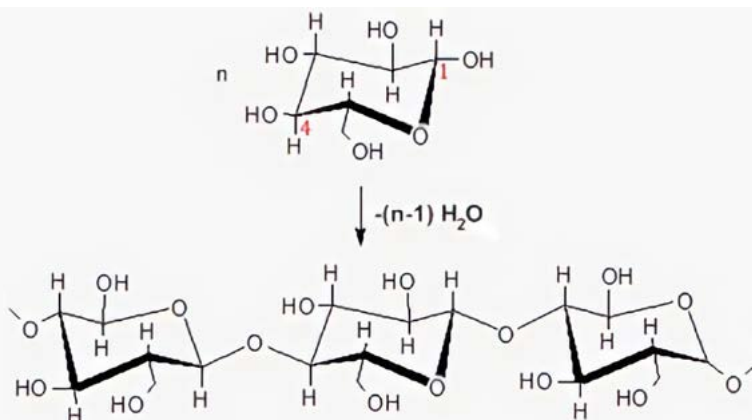


Figura 1. Estrutura da unidade de repetição da celulose, celobiose. Os números 1 e 4 representam a localização dos carbonos responsáveis pela formação da ligação glicosídica. FONTE: Baseado em Carvalho (2011).

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

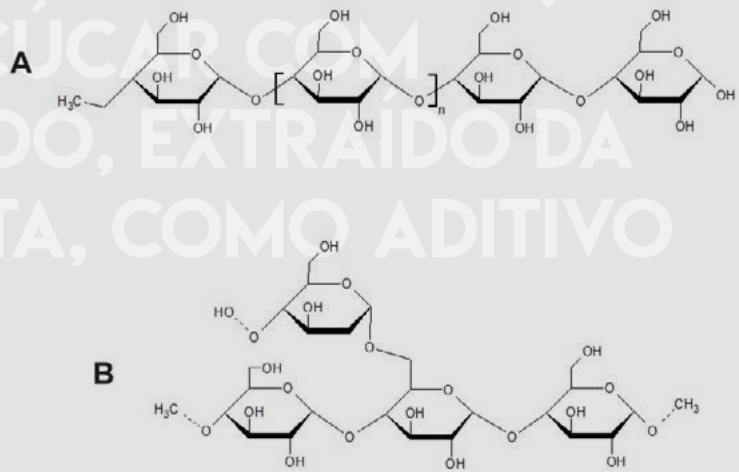


Figura 2. Estrutura da amilose (A) e da amilopectina (B).
FONTE: Baseado em Denardin et al. 2009 (apud Lajolo et al., 2006).

O amido como aditivo já é utilizado comumente na indústria do papel por atribuir características relacionadas às propriedades mecânicas, físicas e estéticas. Grande parcela do amido utilizado como aditivo é modificado para garantir uma maior interação com as fibras do papel, já que a tração e arrebatamento do papel tem relação com o número de ligações que são formadas entre os elementos fibrosos (LEGOWSKI et al., s.d.).

Sendo extremamente dependente de recursos naturais - tais como fibras vegetais, energia e água - a indústria de papel e celulose é uma grande geradora de resíduos, sendo considerada uma importante fonte de poluentes do ar, água e solo (MIRANDA, 2008).

Em vista disso, o presente trabalho visa a extração da celulose do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes granulometrias de fibras utilizando o amido da casca da batata inglesa como aditivo natural, verificando a viabilidade da realização do processo,

proporcionando a geração de um novo produto mais sustentável.

2 METODOLOGIA

2.1 Preparo das amostras

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado no presente trabalho foi disponibilizado por um estabelecimento comercial da cidade de Jaraguá do Sul, SC.

O bagaço passou por um pré-tratamento, no qual foi desfiado manualmente para a obtenção das fibras que em seguida foram secas em estufa à 60 °C por 2 h. Na sequência, foi realizado o processo de trituração do material e a separação das fibras por um sistema de peneiras com quatro granulometrias distintas, sendo elas: 63 µm, 150 µm, 250 µm e 850 µm. A Figura 3 apresenta as fibras separadas por granulometria.

É importante ressaltar que inicialmente seria também avaliada, além das já citadas, as fibras na granulometria de 38 µm, porém foi observado que a

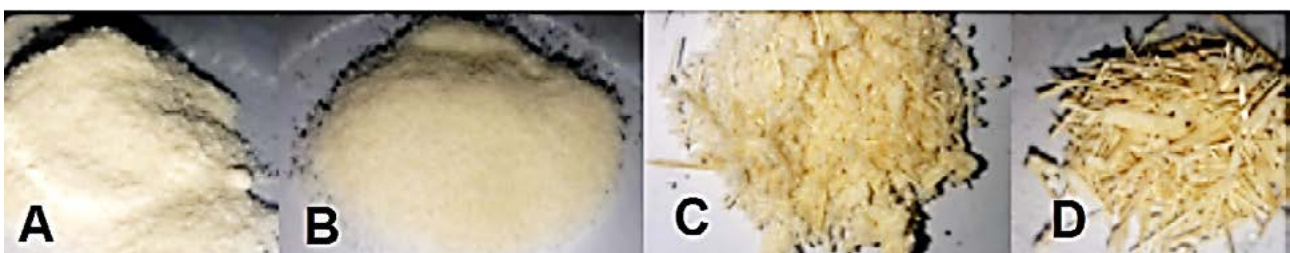


Figura 3. Imagens das distintas granulometrias das fibras do bagaço de cana-de-açúcar. (A) 63 µm; (B) 150 µm; (C) 250 µm; (D) 850 µm.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO DE BATATA

massa obtida depois do processo de trituração era extremamente pequena e o seu tempo de vida útil relativamente curto, observando-se a presença de fungos no recipiente, assim o uso desta foi refutado.

2.2 Celulose

A metodologia de extração da celulose foi adaptada de Sun et al. (2004) e EMBRAPA (2014) e é apresentada no Fluxograma da Figura 4.

Para a extração da celulose, foi necessária uma quantidade de 5,0 g de bagaço seco e moído que

foram inseridos no extrator de Soxhlet juntamente com 300 mL da mistura de solventes: hexano e etanol na proporção de 2:1, durante 6 ciclos. Em seguida, o extrato obtido foi transferido para placas de Petri que permaneceram na capela de exaustão de gases por 24 h, para que o hexano evaporasse em condições adequadas e, em seguida, em estufa a 60 °C por uma hora, para que houvesse remoção de qualquer vestígio de hexano na amostra.

O processo de extração da celulose foi repetido até obter a massa mínima de 20 gramas (processo 1 a

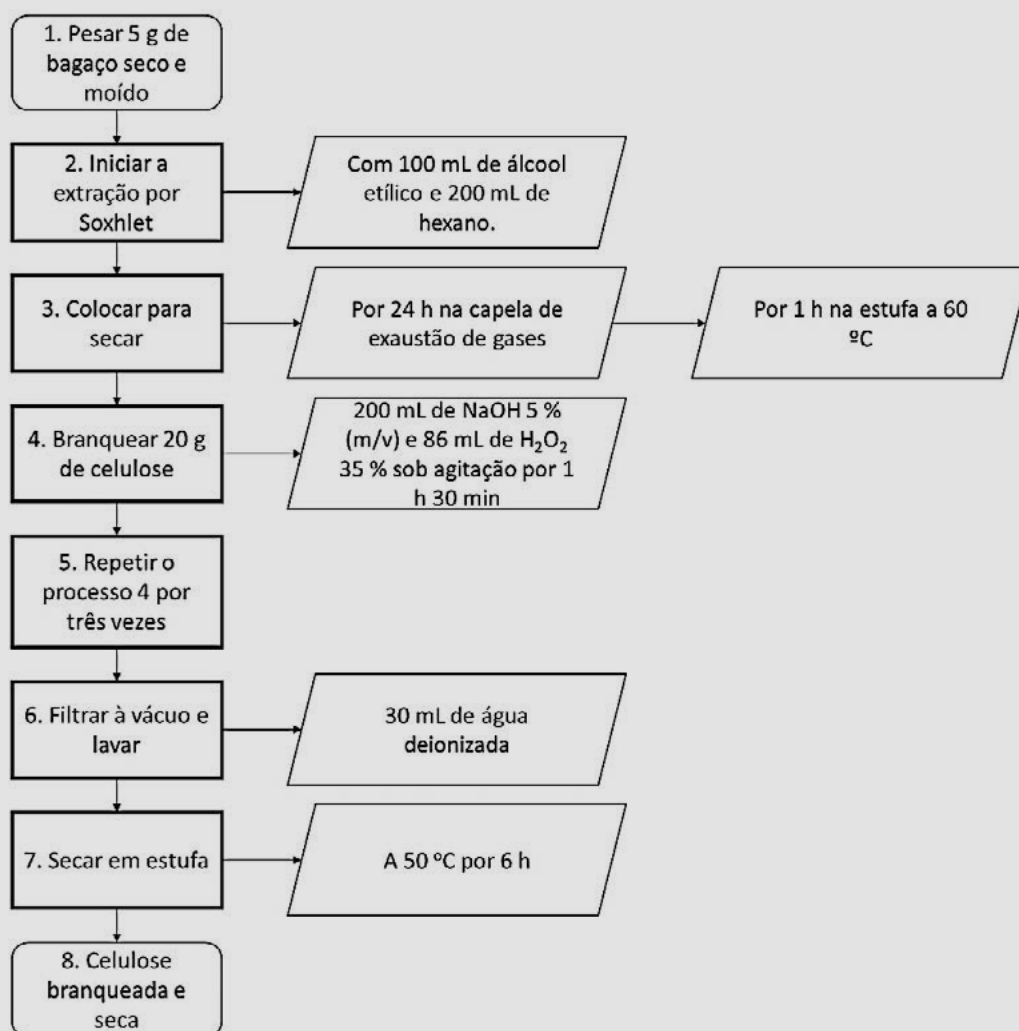


Figura 4. Fluxograma da metodologia de extração e purificação da celulose proveniente do bagaço da cana-de-açúcar.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADICÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE BATATA, COMO ADITIVO

3 do fluxograma da Figura 4). Em seguida, procedeu-se ao branqueamento da celulose com 250 mL de NaOH 5% (m/v) e 86 mL de H₂O₂ 35% (m/v). Durante o branqueamento, a mistura foi mantida sob agitação por 1 h 30 min, após esse período, separou-se o extrato sólido do líquido. O processo de branqueamento foi repetido por três vezes para clarear satisfatoriamente a celulose.

Na sequência, o sólido obtido foi submetido a uma filtração à vácuo utilizando 30 mL de água deionizada para lavagem. Ao final, a amostra seguiu para secagem em estufa a 50 °C por 6 horas, obtendo a celulose extraída, branqueada e seca.

2.3 Extração do amido

Para a extração do amido das cascas das batatas, adaptou-se a metodologia descrita por Garcia (2013). As cascas foram disponibilizadas por um estabelecimento comercial de Jaraguá do Sul, SC.

Em um primeiro momento, as cascas foram lavadas com água a fim de remover impurezas superficiais que poderiam estar presentes. Em seguida, foram trituradas com água gelada (utilizando um liquidificador), sendo o extrato sólido descartado e o líquido remanescente transferido para béqueres com capacidade de 1 L e mantido em repouso por um período de 48 horas (tempo necessário para que o amido decantasse).

O líquido suspenso foi descartado e o sólido decantado foi transferido para placas de Petri. Em seguida, a amostra foi seca em estufa na temperatura de 40 °C por 1 h 30 min.

2.4 Caracterização da celulose

A celulose extraída foi caracterizada antes da fabricação do papel por espectroscopia na região do infravermelho (frequência de 4000 cm⁻¹ a 400 cm⁻¹), utilizando o Espectrofotômetro com Transformada de Fourier e Reflectância Total Atenuada (FTIR -ATR) modelo Spectrum 100 da marca Perkin Elmer. A amostra foi homogeneizada com brometo de potássio de alta pureza e a mistura prensada, a fim de obter um material sólido com formato similar a uma pastilha,

sendo posteriormente inserido no equipamento para análise. Esse ensaio foi conduzido no Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina - campus Florianópolis.

2.5 Fabricação do papel

Para a fabricação do papel, foram adicionados 50 mL de água deionizada previamente aquecida (aproximadamente 70 °C) a 4 g de celulose. Em seguida, foram adicionadas 1,33 g de amido nas amostras, representando 25 % da massa total.

Após a incorporação do amido, a mistura foi submetida a um processo mecânico de homogeneização, com o intuito de formar uma pasta que facilitasse o procedimento de produção do papel. A mistura resultante foi transferida e distribuída em uma tela de tecido, de diâmetro de 48,5 x 31 cm, com o objetivo de possibilitar que o papel possuísse a espessura mais fina possível. Por fim, a mistura foi para a estufa a 50 °C e permaneceu por um período de 7 h.

É importante salientar que para fins comparativos, foram produzidos papéis com e sem adição de amido em todas as granulometrias propostas. Sendo assim, para a fabricação do papel sem aditivo foram realizados os mesmos procedimentos de produção do papel com amido, com exceção da fase de incorporação do amido.

2.6 Caracterização físico-química do papel

As metodologias dos ensaios de gramatura, umidade e resistência à tração foram adaptadas de Campos (2010) e são apresentadas a seguir.

2.6.1 Gramatura

O ensaio de gramatura foi realizado cortando-se uma medida de área pré-determinada do papel selecionado e, posteriormente pesando-a em balança

¹ Quando o amido entra em contato com água fria, os grânulos incham ligeiramente (10% a 20%), porém quando aquecidos em água eles incham permanentemente num fenômeno chamado gelatinização (DENARDIN et al., 2009 apud WHO/FAO, 1998).

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

analítica. O corte da área estabelecido foi de 1 cm² e o resultado final expresso em g/m².

2.6.2 Umidade

Para obter o teor de umidade no papel produzido, pesou-se uma massa de aproximadamente 0,0500 g de cada um dos papéis, em seguida as amostras foram colocadas em estufa à 85 °C por um período de 30 minutos para remoção da água presente no material. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas novamente.

Para o cálculo do teor de umidade, subtrai-se a massa da amostra úmida em relação a amostra seca. A diferença corresponde a massa de umidade presente no papel, que foi convertida em porcentagem para facilitar a interpretação dos dados.

2.6.3 Resistência à tração

Para o ensaio de resistência à tração, foi estabelecida uma área de 4 cm² de cada papel produzido. A cada uma dessas amostras, foi acoplado um dinamômetro de 10 N a seu centro, aplicou-se, então, força até o momento do rasgo.

Para calcular a tensão aplicada sobre o papel (σ), utilizou-se a Equação 1.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ (Equação 1)}$$

A equação relaciona a força (F) exercida para que houvesse o rasgo inicial e a área da seção inicial (S₀). O resultado obtido foi expresso em N/mm².

2.6.4 Análise das fibras de celulose com auxílio do microscópio

A análise de fibras foi executada no laboratório têxtil da própria instituição, sendo utilizado o microscópio Feldman Wild Leitz, modelo SMZ7.5. A análise foi realizada utilizando uma pequena área das amostras de celulose, a qual foi adicionada uma gota de azul de metileno para melhor visualização das fibras. A microscopia eletrônica é um ensaio que permite o estudo morfológico da amostra, e já tem sido utilizada para avaliação morfológica de fibras de

celulose (TELES et al., 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Extração e branqueamento da celulose

A extração por Soxhlet - método utilizado para extrair a celulose - consiste na interação entre os solventes e o extrato. A escolha do hexano como solvente ocorreu por este possuir características apolares tendo maior interação com os componentes apolares da amostra, como por exemplo os lipídios e alguns carboidratos. O outro solvente utilizado, o etanol, apresenta característica hidrofílica possibilitando a extração de carboidratos de baixa massa molecular (OLIVEIRA et al., 2015).

Já o branqueamento permite que o papel fique em tonalidades mais claras, pois esta etapa consiste na remoção da lignina (componente responsável pela coloração mais escura), de modo que se aproxime, em termos de coloração, aos papéis convencionalmente comercializados, como por exemplo o papel sulfite. A remoção da lignina também aumenta o tempo de vida útil do papel (SOUZA, 2019).

O peróxido de hidrogênio é amplamente conhecido no que se diz respeito ao branqueamento da celulose. Em meio alcalino, conforme ilustrado na Equação 2, ocorre a liberação do ânion peridroxila (OOH⁻), um oxidante poderoso e seletivo. Este reage de forma satisfatória com os componentes do bagaço de cana-de-açúcar, removendo a lignina sem danificar a estrutura da celulose, processo denominado deslignificação (SIQUEIRA et al., s.d.)



O rendimento do processo de branqueamento para as granulometrias de 63 μm, 150 μm, 250 μm e 850 μm foi de, respectivamente: 29%, 74%, 67% e 58%. Os rendimentos foram considerados elevados (com exceção da granulometria de 63 μm) se comparados com o trabalho de Schwendler et al. (2013), que

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

obteve rendimento de 44,6% após o branqueamento e extração por Soxhlet. Ressalta-se que um dos principais diferenciais entre os trabalhos foram as matéria-primas utilizadas, sendo a do autor supracitado a casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*, uma leguminosa arbórea). O trabalho de Camargo (2015) obteve rendimento de 54 %, este aproximando-se do presente trabalho pela matéria-prima e metodologia de extração, porém distanciando-se quanto ao pré-tratamento que, no caso de Camargo (2015), foi hidrotérmico.

É importante salientar que o principal fator que levou a diminuição do rendimento da granulometria de 63 μm foi a etapa de preparo de amostra, pois após os processos de trituração e separação por sistema de peneiras, a massa obtida era sempre reduzida, independentemente do tempo que essa ficava no triturador².

3.2 Caracterização da celulose

A caracterização da celulose ocorreu com o intuito de verificar se no processo de extração dos componentes do bagaço de cana-de-açúcar, a celulose estava presente majoritariamente. Na Figura 5, visualizam-se os espectros de infravermelho da celulose nas granulometrias de 63 μm , 150 μm , 250 μm e 850 μm que foram sobrepostos.

No espectro são evidenciadas bandas características de estiramento OH na região de 3300 cm^{-1} , indicando a presença de grupos hidroxila encontrados na celulose. Há, em 2900 cm^{-1} , a presença de estiramentos de ligações C-H pertencentes aos grupos CH e CH₂, deformação angular de ligações C-O de álcoois primários em 1100 cm^{-1} , característica da celulose. Por fim, há bandas em 900 cm^{-1} referentes às ligações-glicosídicas entre as unidades de glicose, sendo essas marcadamente características da celulose. Em estudos realizados por Andrade (2014) com celulose oriunda do bagaço de cana-de-açúcar,

são apresentadas as mesmas bandas identificadas na Figura 5, principalmente as pertencentes às ligações-glicosídicas.

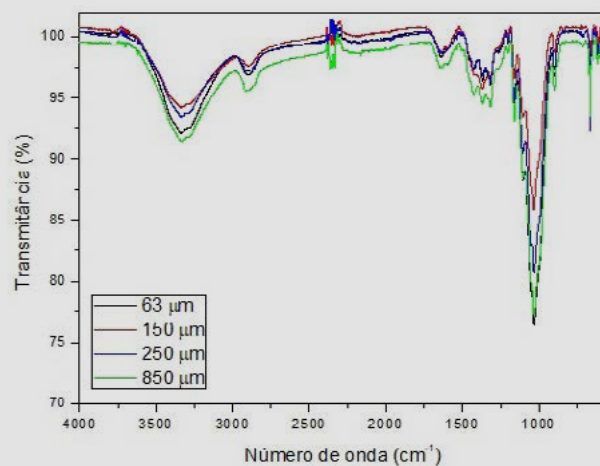


Figura 5. Espectro de infravermelho da celulose nas granulometrias de 63, 150, 250 e 850 μm provenientes do bagaço da cana-de-açúcar.

3.3 Fabricação do papel

Oito diferentes papéis de composições específicas foram produzidas e seus respectivos desempenhos avaliados. Para facilitar a apresentação dos resultados, as amostras foram legendadas do seguinte modo: todas as amostras 1 possuem 25% de amido incorporado em sua composição; já as amostras 2 são isentas da presença de amido; e as letras A, B, C e D referem-se às granulometrias de 63 μm , 150 μm , 250 μm e 850 μm respectivamente. A Tabela 1 sumariza as informações descritas, relacionando a legenda das amostras com sua granulometria e presença ou ausência de amido.

Após a fabricação dos papéis, foram realizados testes de gramatura, umidade e resistência à tração, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Com objetivo de realizar uma comparação, esses mesmos testes foram conduzidos para o papel sulfite convencional, sendo seus resultados adotados como referência para o presente trabalho.

² Foi utilizado um liquidificador. Entende-se que as hélices do liquidificador não eram tão eficientes para atingir granulometrias próximas a 63 μm , porém devido a limitação de outros instrumentos na instituição, este foi utilizado.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO DE BATATA

As amostras 1A, 2A, 1B e 2B evidenciaram significativas diferenças visuais em relação as demais amostras, as quatro amostras citadas apresentaram ranhuras e superfície irregular, como exibido na Figura 6.

Observando a Figura 6, nota-se que todas as amostras apresentam grande número de ranhuras. Isso se deve ao fato de possuírem granulometrias diminutas, não havendo fibras de celulose grandes o suficiente para se unirem efetivamente umas às outras, ou seja, quando a água evapora as fibras encolhem deixando espaços entre elas, surgindo as fissuras. Mesmo com a presença do amido que possui característica gelatinosa (Figuras 1A e 1B) as ranhuras estão presentes.



Figura 6. Fotografias dos papéis 1A, 2A, 1B e 2B respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata inglesa.

Na Figura 7, é possível evidenciar melhor a ausência de fibras nas granulometrias de $63 \mu\text{m}$ (1A e 2A) e $150 \mu\text{m}$ (1B e 2B), sendo observado a presença de estruturas/aglomerados semelhantes aos grânulos antes do processo de fabricação do papel.

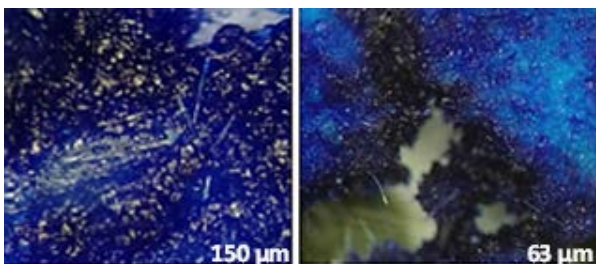


Figura 7. Fibras de celulose nas granulometrias de 150 e $63 \mu\text{m}$ respectivamente, provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, visto através do microscópio de Feldman, com o aumento de 10 vezes, com a adição de azul de metileno para facilitar a visualização e nitidez das fibras.

Antagonicamente, as amostras que possuem as granulometrias de $250 \mu\text{m}$ e $850 \mu\text{m}$ das fibras do bagaço da cana-de-açúcar (1C, 2C, 1D e 2D), apresentaram superfícies relativamente regulares,

como pode ser observado na Figura 8.

Nota-se na Figura 8, que a superfície das amostras 1C e 1D apresentam forma regular e ausência de ranhuras, possivelmente devido à presença do amido entre as fibras de celulose (isso ocorre por meio de interações intermoleculares de hidrogênio entre amido, celulose e a água presente no interior dos grânulos); diferentemente das superfícies das amostras 2C e 2D que se mostraram mais irregulares, com ranhuras e colorações mais amareladas (possivelmente, indicando degradações do material).

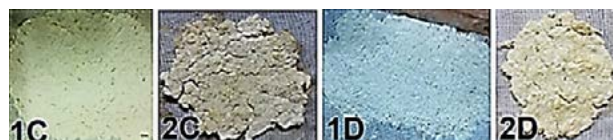


Figura 8. Fotografias dos papéis 1C, 2C, 1D e 2D respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata inglesa.

Ressalta-se que apesar das amostras 2C e 2D apresentarem ranhuras, essas diferem das amostras 1A, 2A, 1B e 2B devido ao tamanho de suas fibras. Deste modo, as amostras 2C e 2D, mesmo com ranhuras, apresentam características mais próximas a condição de obtenção do papel.

A Figura 9 apresenta a característica fibrosa da celulose nas granulometrias de 250 e $850 \mu\text{m}$. Nestes tamanhos, há união entre as fibras permitindo que o papel não se fragmente. Nota-se também que as fibras se organizam de forma amorfa, ou seja, não se orientam em um único sentido.

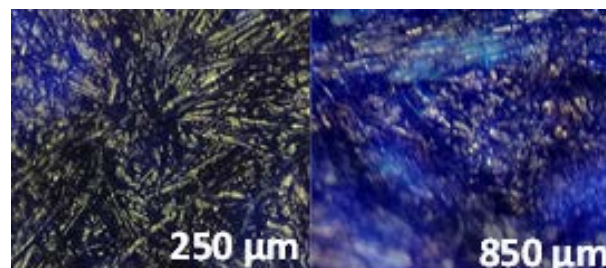


Figura 9. Fibras de celulose nas granulometrias de 250 e $850 \mu\text{m}$ respectivamente, provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, visto através do microscópio de Feldman, com o aumento de 10 vezes, com a adição de azul de metileno para facilitar a visualização e nitidez das fibras.

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGACO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CASCA DE BATATA, COM E SEM AMIDO

O teste de gramatura não foi realizado com as amostras 1A e 2A, ambas de granulometria 63 μm , pois suas superfícies não permitiram o corte de 1 cm^2 para realização do ensaio. As outras amostras apresentaram gramaturas entre 13,8 g/m^2 a 50,8 g/m^2 , assim nota-se que mesmo o maior valor de gramatura é cerca de 30% inferior à gramatura do papel sulfite.

AMOSTRAS	GRANULOMETRIA DA CELULOSE (μm)	ADIÇÃO DE AMIDO
1A	63	Sim
1B	150	Sim
1C	250	Sim
1D	850	Sim
2A	63	Não
2B	150	Não
2C	250	Não
2D	850	Não

Tabela 1. Legendas e composições (em relação a celulose proveniente do bagaço da cana-de-açúcar e amido da casca da batata inglesa) dos oito papéis realizados.

Klock et al. (2013), afirma que quanto maior a gramatura, mais resistência possui o papel e que esta afeta suas características mecânicas e ópticas; além de alterar o preço do produto, já que este é comercializado de acordo com seu peso. Tendo as amostras 1, com amido, apresentado gramatura maior em relação às amostras 2 de mesma granulometria, pode-se afirmar que estas são mais resistentes que suas correspondentes sem amido.

Assim como a gramatura, a umidade influencia na resistência do papel pois um grande teor de umidade, indica interações intermoleculares fracas, pois a água estaria entre as fibras de celulose, tornando o papel mais frágil (KLOCK et al., 2013). Nesta avaliação todas as amostras 1 possuem teor de umidade menor do que suas amostras 2 correspondentes, o que indica maior número de interações diretas nas amostras com amido do que nas amostras sem amido.

As amostras mais frágeis, de acordo com o teor

AMOSTRA	GRAMATURA (G/M^2)	UMIDADE (%)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (N/MM^2)
1A	Teste não realizado	12,6	Teste não realizado
1B	26,5	15,0	$1,4 \times 10^{-3}$
1C	43,5	14,4	$1,6 \times 10^{-3}$
1D	50,8	12,8	$1,8 \times 10^{-3}$
2A	Teste não realizado	14,2	Teste não realizado
2B	13,8	15,4	$1,2 \times 10^{-3}$
2C	43,3	15,0	$1,6 \times 10^{-3}$
2D	49,5	13,4	$1,6 \times 10^{-3}$
Papel sulfite	75,0	4,4	$2,3 \times 10^{-3}$

Tabela 2. Resultados dos testes de gramatura, umidade e resistência à tração para os oito papéis produzidos com o bagaço da cana-de-açúcar e a casca da batata inglesa. A folha de papel sulfite foi avaliada como parâmetro referencial.

de umidade, são a 2B - com 15,4% - e as 1B e 2C que apresentaram o mesmo teor de umidade - 15,0%. Às amostras 1B e 2B, por serem correspondentes, pode-se atribuir o grande teor de umidade a sua granulometria (150 μm) e à amostra 2C a ausência de amido em sua composição. Salienta-se que nenhuma das amostras apresentou umidade inferior à umidade do papel sulfite.

Nenhum ensaio de resistência é uma medida fundamental, mas sim uma combinação de vários fatores, como a umidade, interação e resistência das fibras (KLOCK et al., 2013). Considerando os fatores supracitados, os papéis teoricamente mais resistentes à tração deveriam ser os 1C e 1D, por apresentarem baixo teor de umidade, maiores granulometrias para as fibras e maior gramatura. Após o ensaio, o papel 1D apresentou maior resistência em relação às outras amostras, com valor de $1,8 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{mm}^2$, corroborando com as previsões citadas por Klock et al. (2013); porém a amostra 1C exibiu o valor de $1,6 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{mm}^2$ que, apesar de ser maior em relação às outras amostras, apresenta o mesmo valor de sua amostra correspondente sem amido (2C).

Apesar de as amostras correspondentes 1C e 2C

FABRICAÇÃO DE PAPEL UTILIZANDO CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO

possuírem a mesma resistência à tração, não é possível afirmar que essa propriedade se relaciona idealmente apenas com o tamanho das fibras, já que as amostras 1B e 1D apresentam maior valor de resistência à tração, mas suas granulometrias são significativamente distintas. Ou seja, apesar do tamanho das fibras ser importante para a determinação desta propriedade, é possível sugerir que a presença do aditivo possa influenciar na resistência à tração.

Ressalta-se que apesar de a amostra 1D ter apresentado maior resistência à tração, em relação às outras amostras, esta não tem maior resistência do que o papel sulfite, sendo relativamente menos resistente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fabricar papel a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma alternativa economicamente viável (quando comparado ao eucalipto, por exemplo, que demanda processos prévios antes da madeira ser efetivamente utilizada) por ser um material de manuseio simples, requerendo poucos processos de preparo de amostra (separação das fibras, secagem e moagem), além disso, a etapa de extração e branqueamento da celulose se torna mais simples e sustentável por poluir menos, evitando o uso de compostos clorados que são convencionalmente utilizados nas indústrias papeleiras.

As granulometrias de fibras maiores (250 μm e 850 μm) atribuíram melhor forma aos papéis e apresentaram rendimento superior na fase de branqueamento, demonstrando que a granulometria interfere no rendimento da celulose, influenciando na qualidade do produto final.

As observações no microscópio mostraram que cada fibra de celulose extraída é cristalina, mas dependendo da sua granulometria, torna-se amorfa, sendo que nas menores granulometrias, 63 μm e 150 μm , não se notou visualmente a presença cristalina e sim de aglomerados, semelhantes aos grânulos antes do processo de extração da celulose.

A caracterização do papel seguiu a tendência: quanto maior a fibra, menor a umidade, maior a

gramatura e maior a resistência à tração. Desta forma, nota-se que as características do papel obtido dependem da granulometria utilizada. Ademais, os papéis produzidos com amido proveniente da casca da batata inglesa se mostraram melhores, indicando que esse é um bom aditivo.

A presente pesquisa propôs um método alternativo para a produção de papel com o uso de rejeitos prontamente disponíveis na maior parte das cidades do Brasil. Acredita-se que ideias sustentáveis e mais amigáveis ao meio ambiente estejam cada vez mais em expansão, contribuindo para a qualidade de vida e prosperidade do planeta.

Agradecimentos

Os integrantes deste trabalho agradecem as contribuições iniciais ofertadas pela docente Luciana Valgas de Souza e ao docente Elder Correa Leopoldino, sendo este último também responsável pela realização das análises por infravermelho na Universidade Federal de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.C.F.; SILVA, V.L.; CARVALHO, L. S.; OLIVEIRA, K. G.; COSTA, G. I. Q.; SILVA, E. G.; CÂMARA, A. B. F.; SILVA, T. M. G.; LIMA, R. R. S.; CAMPOS, L. M. A. OBTENÇÃO DA CELULOSE ORIUNDA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) E CARACTERIZAÇÃO POR FTIR/DRX; 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, Natal, 2014. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/13/6027-18805.html>>. Acesso em: 04 jun. 2018.
- CAMARGO, L. A. OBTENÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE A PARTIR DO RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA ROTA ENZIMÁTICA. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
- CAMPOS, E. S. CURSO BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL com ênfase nas propriedades dos papéis de fibra curta. Aracruz, 2010. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2010_papel_FibraCurtEucalipto.pdf. Acesso em 15 set. 2017
- CARVALHO, M. L. Estudo cinético da hidrólise enzimática de celulose de bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- CASTRO, H. F. Processos Químicos Industriais II. Apostila 4 - Papel e Celulose, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena - EEL, 2009. Disponível em: Acesso em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira Cana-de-açúcar. v. 5, n. 3, p. 1-71, Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 01 mar. 2019.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos do amido e sua relação com propriedades físico-químicas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- CAMARGO, L. A.; TEODORO, K.; CORRÊA, A. C.; PEREIRA, S. C.; FARINAS, C. S.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Avaliação de métodos de purificação de celulose a partir do resíduo da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de nanowhiskers de celulose. Anais da VI Jornada Científica - EMPRAPA, São Carlos, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114174/1/resumo-5.pdf>>. Acesso em 06 de jun. 2018.
- HUNG, Y.; LO, H. H.; AWAD, A.; SALMAN, H. Potato Wastewater Treatment. Taylor & Francis Group, 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1898957/mod_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos/Potato%20Wastewater%20Treatment.pdf?forcedownload=1>. Acesso em 01 mar. 2019

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; HERNANDEZ, J. A. Polpa e Papel. Manual didático Polpa e Papel, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 06 Outubro de 2017.

MIRANDA, R. E. S. Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

PIRES, A. M. M.; MATIAZZO, M. E. Efluentes da indústria processadora de batata X Preservação do meio ambiente: ênfase no uso agrícola de resíduos. Embrapa Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127326/1/2005AA-095.pdf>> Acesso em: 10 out. 2017.

OLIVEIRA, V. B.; ZUXHETTO, M.; OLIVEIRA, C. F.; PAULA, C. S.; DUARTE, A. F. S.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de dicksonia sellowiana (presl.). Hook, dicksoniaceae. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 18, n. 1, p. 230-239, 2016.

SANTOS, C. P.; dos Reis, I. N.; MOREIRA, J. E. B.; BRASILEIRO, L. B. Papel: Como se Fabrica?. Química Nova na Escola, n. 14, 2001.

SCHWENDLER, L. A.; BICA, C. I. D. Obtenção de nanocristais de celulose a partir da casca de acácia negra. XXV Salão Iniciação Científica. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/92600/Resum31571.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

SOUZA, L. A. Lignina na composição do papel; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/lignina-na-composicao-papel.htm>> Acesso em: 26 mar. 2019.

SUN, J. X.; SUN, X. F.; ZHAO, H.; SUN, R. C. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. Polymer Degradation and Stability, v. 84, n. 2, p.331-339, 2004.

TELES, V. C.; ANDREANI, L.; VALADARES, L. F. Uso de microscopia de luz eletrônica como técnicas de análise morfológica. Embrapa Energia, Circular Técnica 15, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085307/1/CIT15CNPAE.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

WU, D. Recycle technology for potato peel waste processing: A review. Procedia Environmental Sciences, v. 31, p. 103-107, 2016.

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

LUIZ FELIPE DE MORAIS COSTA DE JESUS

*Universidade Estadual Paulista (UNESP), mestrando em Biotecnologia, Instituto de Química de Araraquara.
lfmoraess21@gmail.com*

LAYANE ALVES FERREIRA

*Universidade Federal do Tocantins (UFT), graduada em Engenharia de bioprocessos e biotecnologia, Campus Gurupi.
layanne-amanda@hotmail.com*

CARLOS ROBERTO PORTO DECHANDT

*Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Doutor em Bioquímica, Campus Cuiabá.
carlos.dechandt91@gmail.com*

RESUMO

Com a demanda crescente por fontes alternativas de biocombustíveis devido a escassez dos combustíveis fósseis, tem-se percebido muitos estudos buscando novas alternativas renováveis e de baixo custo para produção de etanol. O etanol produzido a partir de material lignocelulósico é uma boa alternativa, uma vez que não está relacionado à polêmica "food versus fuel" e também devido a capacidade de utilização completa dos materiais na obtenção de um produto. Esta ideia nos remete ao conceito de biorrefinarias, uma vez que garante a viabilidade econômica e ambiental do processo. No entanto, a produção de etanol de segunda geração exige alta complexidade tecnológica. Assim, há algumas etapas adicionais quando se utiliza materiais lignocelulósicos para obtenção de etanol, são necessários o pré-tratamento e a hidrólise, que são etapas essenciais. Deste modo, o presente artigo propõe uma revisão da degradação lignocelulósica por hidrólise enzimática para produção de etanol.

PALAVRAS-CHAVE

Biorrefinarias. Biocombustíveis. Pré-tratamento.

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento industrial dos países desenvolvidos e subdesenvolvidos no último século, bem como com o crescimento da população mundial, um grande aumento no consumo de energia está sendo observado atualmente (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009). Deste modo, juntamente com o esgotamento das reservas energéticas provenientes de combustíveis fósseis, com o aumento significativo no custo destes e emissões de gases poluentes advindos da queima destes combustíveis, tem-se notado um grande interesse por novas alternativas de combustíveis renováveis e não poluentes (HENDRIKS e ZEEMAN, 2009). Atualmente, houve um grande avanço nos estudos sobre produção de etanol de segunda geração, como forma de diminuir a dependência do petróleo e com isso aumentar a matriz energética. Nesse contexto, o etanol lignocelulósico ou de segunda geração pode ser uma alternativa potencial, principalmente devido ao baixo custo de produção e a não competição com alimentos, uma vez que são utilizados os resíduos agrícolas, florestais e industriais (KHARE; PANDEY; LARROCHE, 2015).

O termo "lignocelulósico" de acordo com Brown (1999) é utilizado para descrever os principais constituintes encontrados na maioria dos vegetais, ou seja, a celulose, hemicelulose e a lignina, cuja composição não depende somente do tipo de vegetal, mas também das condições de crescimento, época de colheita, entre outros.

A produção de etanol a partir de resíduos agroindustriais, é uma das alternativas mais importantes para a produção de combustíveis renováveis. Por isso, diferentes tecnologias de pré-tratamento, hidrólise e fermentação vêm sendo a cada dia mais estudadas, pois deste modo será possível demonstrar a viabilidade deste processo (LU, et al., 2002; SOCCOL et al., 2010).

Deste modo, o presente artigo de revisão traz uma abordagem dos materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina), descrevendo alguns pré-tratamentos utilizados na degradação da biomassa

lignocelulósica com ênfase na hidrólise enzimática envolvendo as principais enzimas envolvidas assim como a sua composição química, para produção de etanol de segunda geração.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve com principal metodologia a revisão de literaturas existentes relacionadas ao objetivo do artigo de revisão. Foram escolhidas quatro bases de dados para a pesquisa (SciELO, Google Scholar, Science Direct e PubMed). Para melhor definição dos termos de busca nas bases selecionadas, foram utilizadas palavras-chaves como etanol, material lignocelulósico, biocombustíveis, cana-de-açúcar, hidrólise enzimática, dentre outras.

RESULTADOS

Composição química da biomassa lignocelulósica

As maiores fontes de carboidratos existente no mundo são oriundas da biomassa lignocelulósica. Esta biomassa inclui vários resíduos agrícolas como palhas, cascas, pedúnculos e caules. A principal dificuldade do uso de biomassa lignocelulósica na conversão em açúcares fermentescíveis, reside nas características químicas e morfológicas existentes entre os três principais componentes dos materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina). Geralmente a concentração dos componentes é de 35-50% de celulose, 20-35% de hemicelulose, 10-25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos. Porém, essas concentrações variam de acordo com o tipo de biomassa, conforme a Tabela 1. Basicamente, os materiais lignocelulósicos são constituídos por cadeias de celulose envolvidas em uma matriz amorfa de poliose e lignina, cuja principal função é a ação contra os ataques de microrganismos e/ou enzimas, assim tornando esses materiais estruturalmente rígidos e pouco reativos (ZANG et al., 2007; SANTOS et al., 2012; WATKINS et al., 2015).

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA	% CELULOSE	% HEMICELULOSE	% LIGNINA
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Fornagem de milho	38-40	28	7-21
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19

Tabela 1 - Composição química de biomassa lignocelulósica de diferentes fontes
FONTE: Santos et al. (2012).

A celulose é o polímero natural em maior concentração na biomassa lignocelulósica e de maior ocorrência no mundo, respondendo por aproximadamente 40% de toda reserva de carbono disponível na biosfera atual (ZHANG et al., 2007). A estrutura desse polissacarídeo é formada por moléculas de glicose ligadas através de ligações β -1,4-glicosídicas unidas por ligações de hidrogênio (Fig. 1). Na parede celular primária de plantas as cadeias de celulose têm graus de polimerização (DP) que variam entre 5.000 a 7.500. Na celulose de madeira o DP é de aproximadamente 10.000, já de celulose de algodão é 15.000. Essas cadeias são formadas por camadas, unidas por forças de van der

Waals com ligações de hidrogênio (GAN et al., 2003). É importante ressaltar que em temperatura ambiente os anéis de glicose rígidos são encontrados no mais baixo nível de energia (WYMAN et al., 2005).

A cadeia linear da D-glicose possui uma liberdade rotacional que permite o ataque da hidroxila do carbono 5 ao carbono 1, resultando na formação de um hemiacetal em relação intramolecular. Após a reação que fecha o anel, as hidroxilas do carbono anomérico (quiral) podem assumir duas possíveis orientações, axial ou equatorial, resultando os anômeros α e β . As formas α e β podem se interconverter em soluções aquosas, onde pode ocorrer a abertura ou fechamento do anel (mutarrotação) até o estabelecimento de um equilíbrio (LEHNINGER et al., 1995).

A estrutura da celulose pode ser classificada de três formas. A primeira forma é definida pelas sequências de resíduos β -D-glicopiranosídicos unidos entre si por ligações covalentes, onde formam um homopolímero anidroglicose com ligações β -D (1 \rightarrow 4) glicosídicas. A segunda forma é a descrição da conformação molecular, onde caracteriza as distâncias das ligações e respectivos ângulos das unidades repetitivas (celobiose), ou seja, a organização espacial. A terceira forma define a associação molecular que formam agregados com uma determinada estrutura cristalina, estes agregados que conferem a insolubilidade da celulose em água e em alguns tipos de solventes, bem como a resistência às tensões (ATALLA et al., 1993; DING et al., 2006).

As hemiceluloses são heteropolissacarídeos complexos compostos por D-glicose, D-galactose, D-manose, D-xilose, L-arabinose, ácido D-glucurônico e ácido 4-O-metil-glucurônico (Fig. 2). As hemiceluloses são classificadas de acordo com o resíduo de açúcar

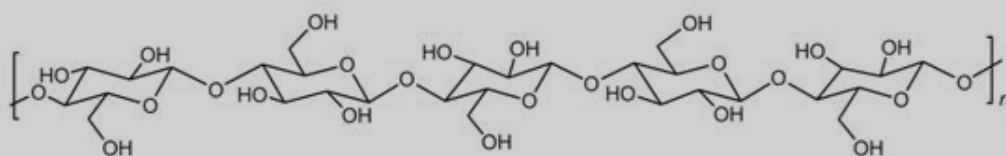


Figura 1: Representação esquemática da molécula de celulose.
FONTE: Santos et al. (2012).

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

que é seu principal constituinte (WYMAN et al., 2005). Sua estrutura apresenta ramificações que interagem com a celulose, assim possibilitando maior estabilidade e flexibilidade ao agregado, é importante ressaltar que sua estrutura é mais semelhante à celulose do que a lignina (RAMOS, 2003). Hemiceluloses podem ser encontradas em diferentes subclasses, que incluem glucuronoxilanas, arabinoxilanas, mananas lineares, glicomananas, galactomananas, galactoglicomananas, β -glucanas e xiloglucanas, essas subclasses variam de acordo com a espécie da planta, estágio de desenvolvimento e do tipo de tecidos.

A cadeia linear da D-glicose possui uma liberdade rotacional que permite o ataque da hidroxila do carbono 5 ao carbono 1, resultando na formação de um hemiacetal em relação intramolecular. Após a reação que fecha o anel, as hidroxilas do carbono anomérico (quiral) podem assumir duas possíveis orientações, axial ou equatorial, resultando os anômeros α e β . As formas α e β podem se interconverter em soluções aquosas, onde pode ocorrer a abertura ou fechamento do anel (mutarrotação) até o estabelecimento de um equilíbrio (LEHNINGER et al., 1995).

A estrutura da celulose pode ser classificada de três formas. A primeira forma é definida pelas sequências de resíduos β -D-glicopiranosídicos unidos entre si por ligações covalentes, onde formam um homopolímero anidroglicose com ligações β -D (1 \rightarrow 4) glicosídicas. A segunda forma é a descrição da conformação molecular, onde caracteriza as distâncias das ligações e respectivos ângulos das unidades repetitivas

(celulose), ou seja, a organização espacial. A terceira forma define a associação molecular que formam agregados com uma determinada estrutura cristalina, estes agregados que conferem a insolubilidade da celulose em água e em alguns tipos de solventes, bem como a resistência às tensões (ATALLA et al., 1993; DING et al., 2006).

As hemiceluloses são heteropolissacarídeos complexos compostos por D-glucose, D-galactose, D-manose, D-xilose, L-arabinose, ácido D-glucurônico e ácido 4-O-metil-glucurônico (Fig. 2). As hemiceluloses são classificadas de acordo com o resíduo de açúcar que é seu principal constituinte (WYMAN et al., 2005). Sua estrutura apresenta ramificações que interagem com a celulose, assim possibilitando maior estabilidade e flexibilidade ao agregado, é importante ressaltar que sua estrutura é mais semelhante à celulose do que a lignina (RAMOS, 2003). Hemiceluloses podem ser encontradas em diferentes subclasses, que incluem glucuronoxilanas, arabinoxilanas, mananas lineares, glicomananas, galactomananas, galactoglicomananas, β -glucanas e xiloglucanas, essas subclasses variam de acordo com a espécie da planta, estágio de desenvolvimento e do tipo de tecidos.

Existem diferentes funções que as hemiceluloses são capazes de realizar como por exemplo as arabinoxilanas, glucuronoxilanas, xiloglucanas e mananas lineares são responsáveis pela estabilização da parede celular através das interações de hidrogênio com a celulose e ligações covalentes com a lignina. Outras como as galactoglicomananas, glicomananas,

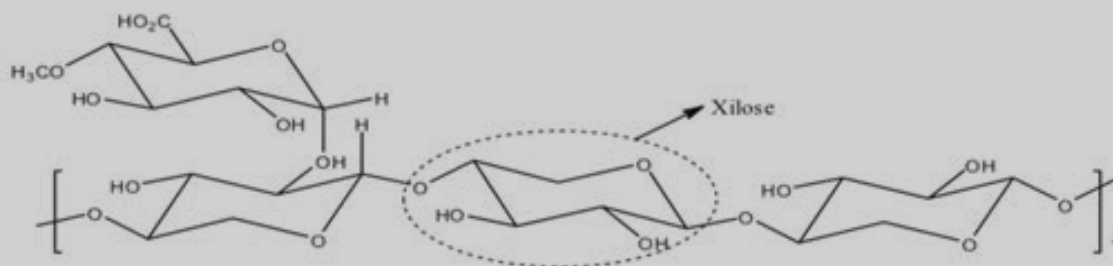


Figura 2: Representação esquemática da molécula de hemicelulose.
FONTE: Santos et al. (2012).

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

Figura 3:
Representação
esquemática
dos precursores
monomérico da lignina.
FONTE: Watkins et al.,
(2015).



galactomananas e β -glucanas são fontes de energia extracelular e agem no sistema de armazenagem dos produtos brutos, além disso, estão envolvidas no mecanismo de retenção de água em sementes (WYMAN et al., 2005). É importante ressaltar que, na maioria das vezes as hemiceluloses estão quimicamente associadas ou reticuladas a outros polissacarídeos, proteínas ou ligninas.

Depois da celulose, a macromolécula mais abundante dentre os materiais lignocelulósicos é a lignina, representando de 20 a 30% da massa total da biomassa lignocelulósica. Esta é um heteropolímero amorfo que possui três unidades diferentes de fenilpropanos (álcool p-cumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico) que são precursores monoméricos (Fig. 3) (DENCE; LIN, 1992). Estes fenilpropanos geram unidades p- hidroxibenzílicas, guaiacílicas e siringílicas.

Para que ocorra o depósito da lignina juntamente com os carboidratos, deve ocorrer a lignificação, onde serão formadas ligações covalentes com unidades monossacarídicas das hemiceluloses (WATKINS et al., 2015). É importante ressaltar que a composição e a organização dos constituintes da lignina variam de acordo com a espécie e da matriz celulose-hemicelulose.

Outros extrativos são encontrados nos materiais lignocelulósicos, além dos três constituintes principais. Esses componentes podem variar em cada espécie de biomassa lignocelulósica e representam aproximadamente de 5 a 20% da massa. As substâncias químicas que estão incluídas nesses

extrativos são: terpenos/terpenoides, gorduras/ceras, vários componentes fenólicos, proteínas e cinzas (RABELO, 2007). Essas substâncias químicas fornecem características da planta, como cheiro, cor, sabor e propriedades abrasivas (FENDEL; WEGENER, 1989; D'ALMEIDA, 1988).

Pré-tratamentos de materiais lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos são insolúveis e recalcitrantes, e precisam de pré-tratamento mecânico, físico ou químico, seguido de hidrólise para obtenção de monômeros e consequente produção de etanol. Para que a biomassa lignocelulósica possa ser utilizada como matéria-prima em processos químicos ou biológicos, estas necessitam passar por um pré-tratamento para desorganizar o complexo lignocelulósico. A lignina é o principal obstáculo, pois a sua quebra libera alguns subprodutos que inibem o processo fermentativo (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009).

O pré-tratamento é responsável pela quebra da lignina e solubilização dos componentes hemicelulósicos a fim de fornecer açúcares fermentescíveis. Esse processo tem como principais objetivos reduzir a cristalinidade da celulose, reduzir a polimerização da hemicelulose e lignina e aumentar a área de superfície para a atuação de enzimas (KHARE; PANDEY; LARROCHE, 2015).

O pré-tratamento deve melhorar a formação de açúcares, evitar a perda ou degradação de carboidratos, evitar a formação de subprodutos inibidores para a fermentação e hidrólise e além disso

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

o pré-tratamento deve ser rentável (SUN; CHENG, 2002).

Pré-tratamentos para a biomassa lignocelulósica incluem métodos químicos, mecânicos ou físicos, biológicos e várias combinações dos mesmos, e a escolha de cada pré-tratamento irá depender da matéria-prima (LEE; OH; LEE, 2015).

Pré-tratamento físico

Consiste basicamente na trituração e moagem da matéria-prima e tem como objetivo reduzir o tamanho das partículas e a cristalinidade. Reduzir o tamanho da partícula possibilita o aumento da superfície disponível e uma redução do grau de polimerização. Vale ressaltar que este tipo de pré-tratamento não gera inibidores e apresenta bons rendimentos de etanol e metano. Muito embora, este processo não é tão viável economicamente, uma vez que gera alto consumo de energia e conseqüentemente aumenta o custo do processo (GHAFAR; FAN; MCVICAR, 2015).

Pré-tratamento físico-químico (Explosão a vapor, Térmico, AFEX e Explosão de CO₂)

Pré-tratamento térmico

Este processo faz uso de elevadas temperaturas (superiores a 180°C) para que seja possível a ruptura do complexo lignocelulósico, quando se empregam temperaturas superiores a 250°C este processo é denominado pirólise. Uma desvantagem do pré-tratamento térmico é que este libera compostos inibitórios (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009).

Explosão a vapor

Este processo consiste no uso de alta pressão de vapor saturado, onde a temperatura varia entre 160 a 260 °C. A biomassa lignocelulósica é submetida a uma despressurização rápida, que acarreta em uma explosão do material. Existem algumas variações do pré-tratamento de explosão a vapor, onde pode-se utilizar líquido de água quente, amônia (AFEX) ou CO₂ ao invés do vapor (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009).

Pré-tratamento químico

O pré-tratamento químico consiste em tratamentos com ozônio, ácidos, bases e solventes orgânicos.

Ozonólise

A ozonólise consiste em um pré-tratamento que faz uso do ozônio para que ocorra a degradação dos materiais lignocelulósicos. Tal processo remove a lignina de forma eficaz e não há a produção de resíduos tóxicos. Além disso, outra vantagem desse processo utilizando ozônio é que as reações são realizadas a temperatura e pressão ambiente. (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009)

Já o processo denominado organosolv é feito com a mistura de solventes orgânicos e água em elevadas temperaturas na presença de um catalisador, podendo ser ácido clorídrico, ácido sulfúrico, cloreto de cálcio, dentre outros (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009). Diversos tipos de solventes podem ser utilizados nesse processo, como: acetona, etanol, metanol, ácido acético e ácido fórico (RAMOS et al., 2013; WU et al., 2014). Entretanto, devido ao baixo custo, as características químicas e a fácil recuperação o etanol é atualmente o solvente mais utilizado no processo de organosolv (ZHANG et al., 2013). A vantagem desta técnica é a recuperação elevada, não apresentar toxicidade e o alto grau de pureza da lignina, em torno de 70% (ZHANG et al., 2010; WEN et al., 2013).

Pré-tratamento biológico

Esta forma de pré-tratamento ocorre por meio de microrganismos, como por exemplo, o fungo da podridão branca e marrom, que produzem naturalmente enzimas como lacases e peroxidases (capazes de degradar a lignina e hemicelulose dos materiais lignocelulósicos). O pré-tratamento com uso de microrganismos apresenta a vantagem de ter baixo custo de energia, além de condições ambientais amenas. Por outro lado, apresenta baixa taxa de hidrólise e perda da fração celulósica (GHAFAR; FAN; MCVICAR, 2015).

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

DISCUSSÃO

Hidrólise enzimática

As duas principais técnicas mais estudadas na literatura para obtenção de açúcares fermentescíveis de materiais lignocelulósicos são a hidrólise com ácidos ou a hidrólise enzimática (DELABONA et al., 2012).

A hidrólise com ácidos é bastante conhecida e explorada, porém apresenta desvantagens em relação a sua toxicidade e corrosividade, assim no ponto de vista ambiental é uma técnica poluente por conta dos solventes utilizados. Além disso, se faz necessário o uso de reatores altamente resistentes à corrosão.

Deste modo, apesar de um custo mais elevado, a hidrólise enzimática se destaca, uma vez que apresenta rendimentos mais efetivos, não gera inibidores e é ambientalmente mais vantajosa (KHARE; PANDEY; LARROCHE, 2015).

O processo de hidrólise enzimática pode ser otimizado através da suplementação de β -glicosidases ou remoção dos açúcares durante a hidrólise ou ainda pode-se melhorar a hidrólise através da adição de agentes surfactantes tensoativos (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009).

Através de estudos sobre a hidrólise enzimática da celulose, consideram-se que este polímero é encontrado em duas formas: amorfa ou cristalina. A enzima celulase, que realiza a hidrólise enzimática da celulose, é altamente específica em relação ao seu substrato, essa especificidade da celulase evita a degradação da glicose, o que pode ocorrer na hidrólise ácida, portanto uma vantagem para utilização da hidrólise enzimática (CONTIERO, 1992). O rendimento da hidrólise enzimática da celulose com a enzima celulase é muito baixo, isto é explicado pela estrutura altamente cristalina da celulose, que dificulta o acesso aos sítios ativos do substrato (DADI et al., 2006). Além disso, a absorção física da celulase sobre a lignina dificulta mais ainda o processo de hidrólise.

Devido a estas dificuldades, necessita-se de uma etapa de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica, cujo principal objetivo é a quebra da estrutura cristalina de celulose e hemicelulose e a remoção da lignina, possibilitando assim a ação enzimática nas moléculas de celulose e hemicelulose. A lignina age como barreira física para as enzimas que atuam na hidrólise da biomassa e influencia na quantidade de enzima requerida para o processo, dificultando a recuperação da enzima após o processamento de hidrólise (LU et al., 2002). Na hidrólise enzimática geralmente o rendimento de açúcares é menor que 20%, já em processos de produção de etanol, onde utiliza-se a etapa de pré-tratamento, o rendimento pode alcançar até 90% (SOUSA et al., 2009).

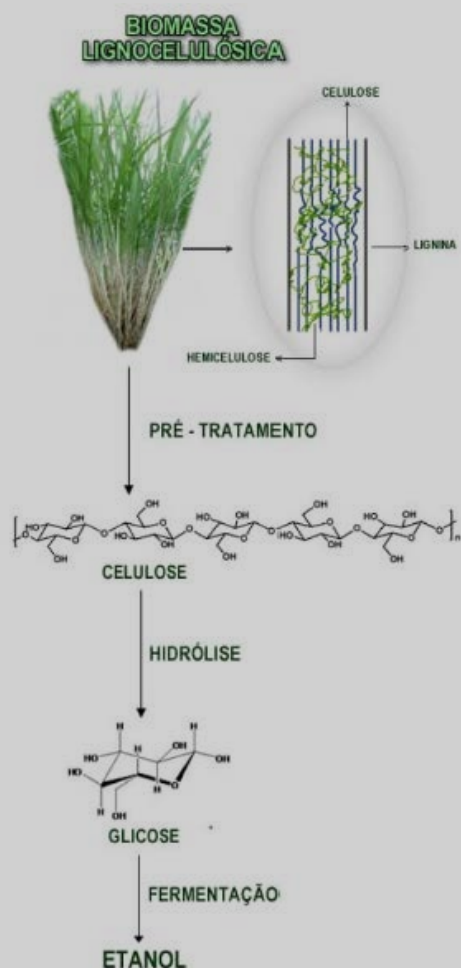


Figura 4: Representação esquemática da produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica.
Fonte: Santos et al. (2012).

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE REFERÊNCIAS

O etanol que é produzido a partir de carboidratos complexos segue algumas etapas: 1) pré-tratamento da biomassa para abertura das fibras; 2) hidrólise enzimática para obtenção de açúcares fermentescíveis; 3) fermentação destes açúcares em etanol e 4) separação e purificação (Fig. 4) (BINOD et al., 2012, ROCHA et al., 2013).

CONCLUSÃO

Portanto, para a produção de etanol por biomassa lignocelulósica é essencial a etapa de pré-tratamento da matéria prima, pois nesta etapa ocorre a quebra da estrutura cristalina de celulose e hemicelulose e a remoção da lignina, possibilitando assim a ação enzimática nas moléculas de celulose e hemicelulose na etapa posterior de hidrólise enzimática. É importante ressaltar que a hidrólise enzimática possui alta especificidade com o substrato, portanto isto é uma vantagem comparado a outros métodos de hidrólise de biomassa lignocelulósica, pois a especificidade da celulase evita a degradação da glicose.

ATALLA, R. H.; HACKNEY, J. M.; UHLIN, I.; THOMPSON, N. S. Hemicelluloses as structure regulators in the aggregation of native cellulose. *International Journal Biological Macromolecules*, v. 15, p. 109-112, 1993.

BINOD, P.; KUTTIKRAJA, M.; ARCHANA, M.; USHA, J.K.; SINDHU, R.; SUKUMARAN R.K.; PANDEY, A. High temperature pretreatment and hydrolysis of cotton stalk for producing sugars for bioethanol production. *Fuel*, v. 92, n. 1, p. 340-345, 2012.

BROWN, R. M. Cellulose structure and biosynthesis. *Pure and Applied Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 767-775, 1999.

CONTIERO, J. Estudo da produção da enzima invertase extracelular por *Kluyveromyces bulgaricus*. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, 1992.

D' ALMEIDA, M. H. Celulose e papel. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do estado de São Paulo; Escola SENAI, 1988.

DADI, A. P.; VARANASI, S.; SCHALL, C. A. Enhancement of cellulose saccharification kinetics using an ionic liquid pretreatment step. *Biotechnol Bioeng*, v. 95, n. 5, p. 904-910, 2006.

DELABONA, P. S.; PIROTA, R. D. P. B.; CODIMA, C. A.; TREMACOLDI, C. R.; RODRIGUES, A.; FARINAS, C. S. Using Amazon forest fungi and agricultural residues as a strategy to produce cellulolytic enzymes. *Biomass and bioenergy*, v. 37, p. 243-250, 2012.

DENCE, C. W.; LIN, S. Y. *Methods in lignin chemistry*. Springer verlag, 1992.

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

DING, S. Y.; HIMMEL, M. E. The maize primary cell wall microfibril: a new model derived from direct visualization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, p. 597-606, 2006.

FENGEL, D.; WEGENER, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

GAN, Q.; ALLEN, S. J.; TAYLOR, G. Kinetic dynamics in heterogeneous enzymatic hydrolysis of cellulose: no overview, an experimental study and mathematical modeling. *Process Biochemistry*, v. 38, p. 1003-1018, 2003.

GHAFFAR, S. H.; FAN, M.; MCVICAR, B. Bioengineering for utilisation and bioconversion of straw biomass into bio-products. *Industrial Crops and Products*, v. 77, p. 262-274, 2015.

HENDRIKS, A. T. W. M.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 1, p. 10-18, 2009.

KHARE, S. K.; PANDEY, A.; LARROCHE, C. Current perspectives in enzymatic saccharification of lignocellulosic biomass. *Biochemical Engineering Journal*, v. 102, p. 38-44, 2015.

LEE, O. K. K.; OH, Y. K.; LEE, EUN, Y. Bioethanol production from carbohydrate-enriched residual biomass obtained after lipid extraction of *Chlorella* sp. KR-1. *Bioresource Technology*, v. 196, p. 22-27, 2015.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. São Paulo: Sarvier, 1995.

LU, Y.; YANG, B.; GREGG, D.; SADDLER, J. N.; MANSFIELD, S. D. Cellulase adsorption and an evaluation of enzyme recycle during hydrolysis of steam - exploded softwood residues. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 98, p. 641 - 654, 2002.

RABELO, S. C. Avaliação do desempenho do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Química Nova*, v. 26, p. 863-871, 2003.

RAMOS, P. A. B.; GUERRA, A. R.; GUERREIRO, O.; FREIRE, C. S. R.; SILVA, A. M. S.; DUARTE, M. F.; SILVESTRE, A. J. D. Lipophilic extracts of *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* (Dc): A source of valuable bioactive terpenic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 61, n. 35, p. 8420-8429, 2013.

DEGRADAÇÃO LIGNOCELULÓSICA POR HIDRÓLISE ENZIMÁTICA VISANDO A PRODUÇÃO DE ETANOL

ROCHA, N.R.A.F.; BARROS, M.A.; FISCHER, J.; FILHO, U.C.; CARDOSO, V. L. Ethanol production from agroindustrial biomass using a crude enzyme complex produced by *Aspergillus niger*. *Renewable Energy*, v. 57, p. 432-435, 2013.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SOCCOL, R. C.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MEDEIROS, A. B. P.; KARP, S. G.; BUCKERIDGE, M.; RAMOS, L. P.; PITARELO, A. P.; FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; BON, E. P. S.; MORAES, L. M. P.; ARAÚJO, J. A.; TORRES, F. A. G. Bioethanol from lignocelluloses: Status and perspectives in Brazil. *Bioresource technology*, v. 101, p.4820-4825, 2010.

SOUSA, L. C.; CHUNDAWAT, S. P. S.; BALAN, V.; DALE, B. E. 'Cradle-to-grave' assessment of existing lignocelluloses pretreatment technologies. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 20, p. 339, 2009.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology*, v. 83, n. 1, p. 1-11, 2002.

WATKINS, D.; NURUDDIN, M. D.; HOSUR, M.; TCHERBI-NARTEH, A.; JEELANI, S. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 4, n. 1, p. 26-32, 2015.

WU, M., PANG, J., ZHANG, X. & SUN, R. Enhancement of Lignin Biopolymer Isolation from Hybrid Poplar by Organosolv Pretreatments. *International Journal of Polymer Science*, 2014.

WYMAN, C. E.; DALE, B. E.; ELANDER, R. T.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. R.; LEE, Y. Y. Coordinated development of leading biomass pretreatment Technologies. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 1959-1966, 2005.

ZANG, Y. H. P.; DING, S. Y.; MIELENZ, J. R.; ELANDER, R.; LASER, M.; HIMMEL, M.; MCMILLAN, J. D.; LYND, L. R. Fractionating recalcitrante lignocellulose at modest reaction conditions. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 97, p. 214-223, 2007.

ZHANG, A., LU, F., LIU, C. & SUN, R. C. Isolation and characterization of lignins from *Eucalyptus tereticornis* (12abl). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58 p. 11287-11293, 2010.

ZHANG, H., ZHAO, X., DING, X., LEI, H. & WANG, Z. Preparing spherical lignin from rice husk. *Bioprocess and Biosyst Engineering*, v. 36, v. 8, p. 1149-1155, 2013.

07

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

EDISON A. C. ARANHA NETO

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor do Departamento
Acadêmico de Eletrotécnica, Campus Florianópolis.
earanha@ifsc.edu.br*

HENRIQUE DANNEBROCK

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante do Curso de Engenharia
Elétrica, Campus Florianópolis.
henriquedannebrock@gmail.com*

LUCAS DA SILVA ROSA

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante do Curso de Engenharia
Elétrica, Campus Florianópolis.
lucassilvar@hotmail.com*

IASMIN COELHO

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Estudante do Curso de
Engenharia Elétrica, Campus Florianópolis.
coelhoiasmin@gmail.com*

RESUMO

A integração de simuladores para o melhoramento do Sistema Elétrico de Potência é de extrema importância no contexto mundial, uma vez que o uso da energia elétrica é cada vez maior. Aumentando o consumo, o sistema ficará sobrecarregado, complexo, maior e suscetível a panes e falhas. Estudos comprovam que em usinas hidrelétricas (UHE) ou pequenas centrais hidrelétricas (PCH), o operador treinado em simulador age mais rápido e corretamente, pois o tempo de treinamento na simulação o preparou para situações de pressão e que não permitem qualquer tipo de erro. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um simulador, em parceria com a empresa ENEX, que gerencia e comanda remotamente PCHs e UHEs em todo Brasil. A simulação para a empresa parceira é de total importância, uma vez que tem em seu corpo de colaboradores um grande número de operadores. O simulador desenvolvido conta com interface web, podendo ser executado em navegadores comuns de qualquer computador.

PALAVRAS-CHAVE

Operação, Simulador, Usina Hidrelétrica.

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) estão cada vez mais complexos, e na medida que aumentam sua complexidade, aumenta também a necessidade por operadores capacitados. Uma vez que os SEPs estão sendo utilizados perto dos seus limites máximos e um erro pode custar um valor alto com perdas muito grandes, tanto ambientais quanto de equipamentos.

A operação de sistemas elétricos é uma tarefa muito importante na atualidade. Devido a tamanha importância do sistema elétrico, o treinamento dos operadores deste sistema é algo imprescindível. Para melhorar e evitar que não aconteçam erros e falhas, o treinamento de operadores utilizando simuladores é uma alternativa que atualmente obtém grandes resultados.

Nos dias de hoje a sociedade exige uma grande qualidade no fornecimento de energia elétrica e ações equivocadas dos operadores podem colocar essa atividade em risco. Segundo Castro (2007), a soma destes fatores apresentados produz um cenário em que os operadores do centro de operação possuem grande importância e é deles a função de monitorar o sistema elétrico de potência.

No entanto, de acordo com Aranha Neto et al. (2016), "na conjuntura atual, as empresas se deparam com a falta de mão de obra técnica e com a consequente dificuldade de liberação de pessoal para participar de treinamentos". Sendo assim, tal cenário exige a busca de soluções que possam atender a tais demandas de forma a garantir a qualidade do processo

As melhorias e o desenvolvimento das operações de usinas fazem com que o operador tenha uma tendência a perder essas evoluções da usina. Tomschi e Newald (2006) expõe que, para evitar essa ocasião, os operadores necessitam de treinamentos qualificados para que não percam o controle das ações necessárias para manter tudo funcionando corretamente e para que possam controlar qualquer falha que ocorrer.

○ bom desempenho de um operador de

usina pode representar, além de outros resultados, segurança e lucratividade para as empresas. Por este motivo, Bzuneck e Menegaz (2008) reforçam que é de fundamental importância o desenvolvimento de novos sistemas de treinamento que possam estimular e complementar o aprendizado contínuo destes profissionais.

De acordo com Moreale (2007), é durante o treinamento que o operador de um sistema tem a possibilidade de construir o conhecimento. É também durante este processo que ele tem a possibilidade de experimentar algo que não lhe é permitido, em hipótese alguma, durante a execução de suas tarefas diárias, o erro.

Normalmente o treinamento de novos operadores é feito através de aulas teóricas e a prática obtida operando o sistema real. Assim, os operadores vão trabalhar numa sala de controle somente após muitos anos de experiência de campo. Já com o treinamento via simulador, os operadores aprendem a prática diretamente na sala de controle (MOREALE, 2007).

A simulação é uma maneira, e muitas vezes a única forma eficaz e segura, para provar a competência de um operador em lidar com situações normais e anormais, contingências e operações. A repetição e a consistência que a simulação oferece, pode torná-la uma ferramenta ideal para estabelecer um padrão de competência do operador (ANSI, 1998 apud DUDLEY et al., 2008).

Devido ao fato dos operadores de usinas passarem por situações de risco e situações onde os mesmos precisam tomar atitudes rápidas para não comprometer alguma função ou botar em risco pessoas ao seu redor ou a usina em si, várias empresas criaram, então, simuladores para treinamento dos operadores. Esses simuladores ajudam o operador a tomar as atitudes certas e indicam exatamente o que o operador deve fazer em situações de risco. Além disso, os simuladores trazem uma maior segurança, pois trazem uma resposta rápida para o que fazer e são menos suscetíveis a erros (DUDLEY et al., 2008;

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

MOREALE, 2007; TOMSCHI; JÄCKISCH; NEWALD, 2006).

Aranha Neto et al. (2016) e Moreale (2007) elencam em seus trabalhos alguns benefícios na utilização desses simuladores:

- Economia de tempo em treinamento, pois o treinamento utilizando apenas a experiência do dia a dia é lento e de difícil controle;
- Redução de custos em treinamento, pois os treinamentos são realizados nos locais de trabalho;
- Facilidade em obtenção de respostas que seriam difíceis de obter no sistema real. O simulador responde perguntas do tipo: "e se isso acontecesse como se comportaria o sistema?";
- Maior domínio do funcionamento do sistema que está sendo simulado;
- Muitas vezes um sistema é tão complexo que se comporta como uma verdadeira "caixa preta". O simulador fornece uma melhor compreensão desse tipo de sistema;
- Padronização de ações de controle do sistema em situações normais e de emergência;
- Aumento da autoconfiança do operador no ambiente da sala de controle do sistema de supervisão;
- Reciclagem eficiente do conhecimento dos operadores mais experientes, permitindo apoiar procedimentos operativos; e
- Apoio à decisão de novos procedimentos operativos elaborados a partir de alterações no sistema elétrico, que podem ser periodicamente inseridas na plataforma.

A realização de um pré-treinamento num ambiente de Simulador de Treinamento de Operador (STO) antes da formação prática no ambiente da planta poderia melhorar significativamente a eficiência da aprendizagem dos operadores. Em particular, a compreensão pelos operadores da complexidade do processo e a capacidade para tomar decisões operacionais corretas e aderir às rotinas normais poderiam ser fortemente melhoradas (LEE, 2005 apud GERLACH et al., 2014).

No entanto, pesquisas revelam que muitas vezes ser treinado sozinho em simuladores pode ser inadequado. Estudos demonstraram que muitas vezes as pessoas que foram treinadas em simuladores sem acompanhamento, não vão atrás de possíveis erros. Por outro lado, os que tem acompanhamento de um tutor checam hipóteses para os possíveis erros e problemas, além de eliminá-los com o conhecimento adquirido (VASANDANI; GOVINDARAJ, 1991).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um simulador de Usinas Hidrelétricas (UHE) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com interface web para treinamento de operadores.

O simulador desenvolvido tem seu próprio "tutor" incorporado no sistema. Em cada manobra há uma sequência correta para realizar as etapas que solucionarão a contingência. Assim, cada passo executado pelo operador será analisado no banco de dados do simulador. Caso algum passo seja executado de maneira incorreta ou no momento errado, o sistema avisará o operador, mostrando a maneira correta de realizar essa manobra, podendo vincular a explicação com o procedimento operativo da empresa. Desse modo, ele pode refazer a manobra da forma correta e solicitar, se necessário, auxílio ao seu supervisor, que tem acesso a toda sequência realizada pelo operador em treinamento por meio dos arquivos de logs que ficam armazenados.

Tomschi, Jäckisch e Newald (2006) colocam que a familiarização com detalhes de equipamentos, controle de plantas e sua representação gráfica podem ser feitos apenas quando ele começa a operar a planta. Por isso, um STO tão genérico é aplicável, em especial, para os operadores a serem instruídos nos fundamentos do processo de uma usina de energia e no caso do sistema IHM (Interface Homem Máquina) é o mesmo utilizado na planta real no manuseio do sistema.

Alguns exemplos de empresas internacionais elencados por Moreale (2007) que usam algum tipo de simulador:

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

- China Light & Power Co.;
- New York Power Pool;
- Philadelphia Electric Company;
- Seattle City Light;
- Hokuriku Electric Power Co.;
- Virginia Power Company;
- Metropolitan Edison Company;
- Consolidated Edison Company of New York;
- North Hungarian Electricity Distribution Company.

No Brasil também existem empresas que utilizam simuladores, como (MOREALE, 2007):

- Operador Nacional do Sistema - ONS;
- Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF);
- Light Serviços de Eletricidade;
- Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista.

DESENVOLVIMENTO

A construção do simulador de operação de uma central hidrelétrica foi realizada por alunos do Instituto Federal de Santa Catarina, com auxílio de um professor orientador e um profissional da área de Ciência da Computação. Os alunos bolsistas obtiveram suas iniciações científicas por meio de bolsas do CNPq pela Chamada MEC/SETEC/CNPq nº 94/2013 e pelo Projeto Universal/IFSC 2014-2015.

A elaboração do projeto foi feita de acordo com as necessidades do sistema e das telas reais, para que o operador em treinamento possa posteriormente resolver o problema o mais rápido possível e sem erros na operação em tempo. Com o sistema pronto, espera-se que o operador se torne capacitado, seguro e eficiente ao realizar seus serviços operacionais, evitando ao máximo falhas humanas.

Para organização das atividades que foram executadas durante todo o projeto, foi utilizado o serviço online Trello (plataforma web para organização de tarefas). Com os mecanismos dessa plataforma foi possível gerenciar os prazos de entrega das tarefas

distribuídas, listar comentários das reuniões, postar dúvidas, criar checklists, adicionar bugs encontrados no desenvolvimento do projeto, evitar que duas pessoas ou mais realizassem a mesma tarefa e assinalar quais tarefas já estavam finalizadas.

O simulador foi elaborado com base em falhas frequentes de uma usina hidrelétrica como, por exemplo, uma parada de emergência de uma unidade geradora devido a atuação de alguma proteção do sistema. Assim, foram programados erros aleatórios através do desenvolvimento de quatro contingências rotineiras da usina hidrelétrica, para treinar o operador a agir diante dessas situações e ter ciência que não pode falhar na operação real do sistema.

Para cada uma das manobras, os estudantes receberam da empresa parceira informações relativas as etapas que devem ser executadas durante a operação da usina. A partir do relatório fornecido foi produzido um fluxograma, onde foi especificado cada passo necessário para a realização da contingência e como seriam programados. Com o fluxograma, foram recriadas as manobras e as telas do supervisor da Usina Hidrelétrica Alzir dos Santos Antunes (rio Passo Fundo, no Rio Grande do Sul), com o auxílio das ferramentas disponíveis no Photoshop CS5.

Com as telas criadas, foi iniciada a etapa de desenvolvimento do ambiente de simulação, onde o código de programação que estava sendo elaborado precisava estar disponível para todos os membros do grupo. Para isso, foi utilizada a plataforma Bitbucket, um sistema de repositórios que armazena as versões do desenvolvimento do código. Assim, através de um programa vinculado a ele (Git), mantém-se o código sempre atualizado para todos, mostrando um histórico das alterações feitas por cada membro da equipe no código principal.

Através de uma workstation utilizando Linux Ubuntu 14.04 LTS foi preparado um servidor para que o simulador pudesse ser utilizado em várias máquinas para testes e construção do código. O código fonte do simulador foi feito com linguagens HTML, JavaScript,

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

PHP e SQL. O sistema desenvolvido pode ser executado em um navegador de internet, como o Mozilla Firefox ou Internet Explorer, por exemplo. A disponibilidade do simulador em interface web torna a seu manuseio mais fácil, uma vez que pode ser acessado em qualquer computador incluso na rede do servidor.

A estrutura do simulador foi toda desenvolvida em HTML, uma linguagem de marcação utilizada para produção de páginas na web (W3SCHOOL, 2015a). Através das suas ferramentas foi possível orientar o posicionamento das imagens, dos textos e criar botões, sendo alocados todos os elementos gráficos no simulador. Em conjunto com o HTML foi utilizado o CSS. Ele é folha de estilos que permite definir a aparência dos objetos do HTML. Assim foi possível definir cores, fontes, tamanhos, gradientes, planos de fundo, e cada detalhe visual do sistema supervisor da usina piloto pôde ser reproduzido.

Após a finalização da parte visual das telas, foram inseridas as ações do simulador. Para essa função foi utilizado o JavaScript, que apresenta uma linguagem interpretada e é associado ao HTML para a inserção de vários efeitos, tornando a interação do usuário mais dinâmica (W3SCHOOL, 2015b). Com a utilização do JavaScript foi possível criar as contingências a serem simuladas, recriando as mesmas funções que o

operador pode usufruir no sistema supervisor utilizado pela empresa ENEX. Para facilitar a programação, o framework jQuery foi utilizado, pois ele contém uma biblioteca de funções prontas para o JavaScript.

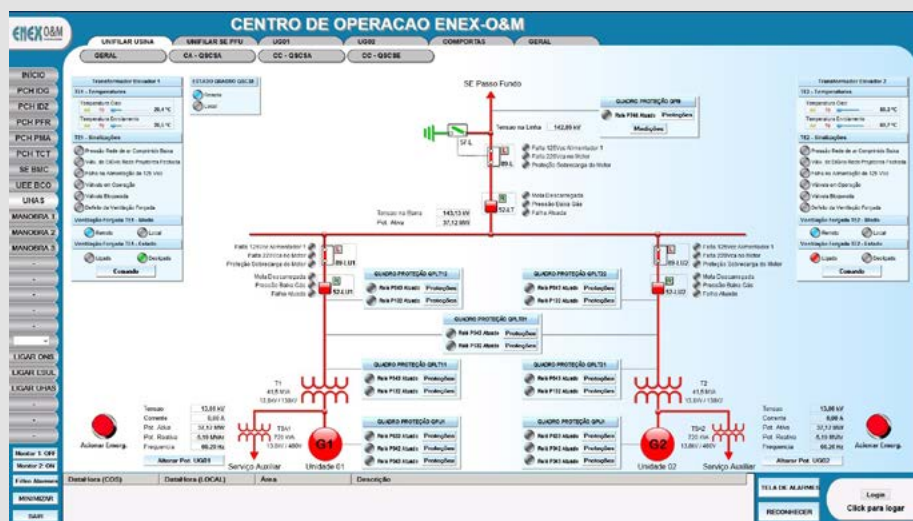
O banco de dados (BD) do servidor foi criado através do MySQL, um sistema de gerenciamento de BD que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada) como interface (MYSQL, 2015), com a função de gerenciar a manipulação e a organização dos dados apresentados no simulador. E para que todo o conteúdo HTML pudesse ser adicionado e atualizado no servidor, e uma resposta desse processo fosse enviada ao usuário, foi necessário recorrer ao PHP, uma linguagem server side utilizada para alterar o código HTML (PHP, 2015). Assim, com o PHP, foi possível conectar o código escrito ao banco de dados.

Com a utilização de todas essas ferramentas e com auxílio da empresa ENEX foi possível concluir a elaboração de um simulador do sistema de operação de uma usina hidrelétrica, para o treinamento e a capacitação de operadores em tempo real.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ambiente de simulação desenvolvido, consiste em quatro contingências, sendo elas relacionadas as falhas e manutenções que podem ocorrer no sistema

Figura 1: Tela Unifilar Usina (UHAS).
FONTE: Dados da pesquisa.



AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

da usina hidrelétrica. As manobras se referem a:

Manobra 1: Reestabelecer LT (Linha de Transmissão) de 138kV após desligamento automático ocorrido por proteções não impeditivas.

Manobra 2: Reestabelecer UG02 (Unidade Geradora 02), após desligamento automático.

Manobra 3: Reestabelecer abertura das comportas devido sobrecarga na ponte do inversor de alimentação da tomada água.

Manobra 4: Desenergizar e isolar Seccionadora 89L para Manutenção Geral.

Para exemplificar o funcionamento do simulador, será utilizada a Manobra 4. Abaixo observa-se a tela da usina hidrelétrica funcionando corretamente (Fig. 1). A manutenção se dá em 4 etapas, mas em relação ao software são necessárias apenas duas telas.

A primeira etapa é a liberação, onde os seguintes passos devem ser seguidos:

- 1- Informar ao COSE e COSR-S o início da manutenção;
- 2- Parar UG01 e/ou UG02;
- 3- UHAS - Abrir o disjuntor 52L desenergizando a barra de 138kV;
- 4- PFU - Abrir o disjuntor 532 desenergizando a LT;
- 5- PFU - Abrir as seccionadoras 531, 533 e manter

aberta a 535;

6- UHAS - Abrir a seccionadora 89L;

7- UHAS - Fechar seccionadora de terra 57L;

Após essas etapas, podem ser feitas as manutenções necessárias, e para a normalização do sistema são realizadas as seguintes etapas no simulador:

1- Informar ao COSR-S a conclusão da AI (Autorização de Intervenção) e início do religamento;

2- PFU - Confirmar a retirada do aterramento artificial;

3- UHAS - Abrir a seccionadora de terra 57L;

4- PFU - Fechar as seccionadoras 531, 533, e manter aberta a 535;

5- PFU - Fechar o disjuntor 52L energizando a barra 138kV;

6- Sincronizar ao sistema UG01 e/ou UG02;

7- Informar ao COSR-S o término do religamento e a emissão da AI.

Após a realização dessas etapas, a manobra 4 está concluída. Da mesma maneira foram feitas as outras manobras, onde cada uma delas possui uma causa específica.

Para entender melhor as etapas citadas acima, os equipamentos nomeados podem ser vistos na tela PFU (Fig. 2) e na tela de partida e parada da UG01 (Fig. 3).

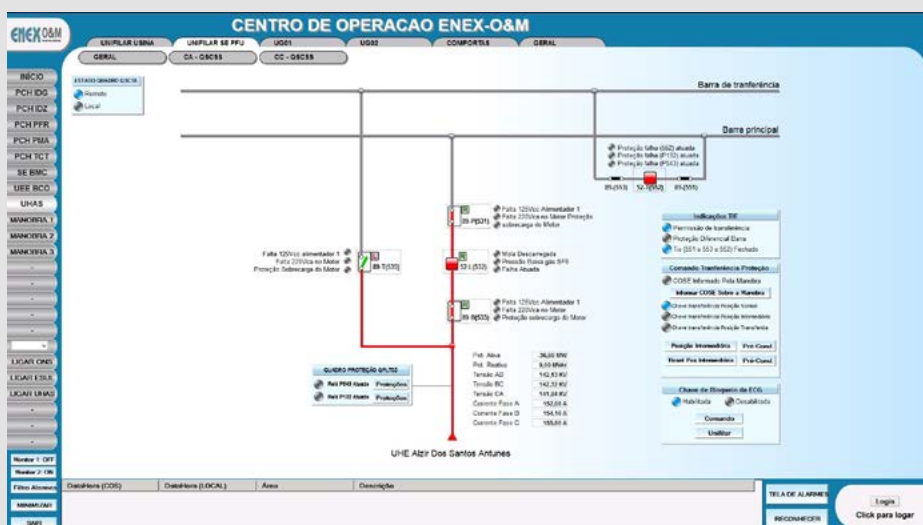


Figura 2: Tela Unifilar SE PFU. FONTE: Dados da pesquisa.

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS



Figura 3: Tela UG01 - Partida Parada. FONTE: Dados da pesquisa.

Cada manobra tem sua devida importância e o operador precisa estar preparado para realizar a operação quando algum problema ocorrer. O operador necessita identificar o problema e com a ajuda do simulador poderá solucionar a falha. Caso o operador cometa um erro, a sequência correta de passos é apresentada para a resolução da situação, orientando o operador.

CONCLUSÕES

A implantação do simulador na empresa ENEX traz ganhos imediatos para a empresa e para os seus colaboradores, que podem aprimorar suas técnicas para resolução dos problemas recorrentes no sistema elétrico de potência.

Com a utilização do simulador existirá um melhor controle sobre o aprendizado dos operadores, pois o simulador é capaz de armazenar os procedimentos adotados durante a simulação para uma análise posterior da equipe, além de existir a possibilidade de retirar dúvidas imediatamente após o erro na execução de manobras, onde o operador em treinamento pode ser auxiliado no último dessa execução, para aperfeiçoar o seu modo de agir diante de uma

atribuição no sistema.

O projeto também proporcionou diversos benefícios para o Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, como o envolvimento de alunos dos cursos de engenharia elétrica e do curso técnico em eletrotécnica com áreas futuras de trabalho e profissionais da área, proporcionando crescimento profissional aos estudantes. Também trouxe melhorias para a infraestrutura do laboratório de pesquisa GESE (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia) e a divulgação do nome da instituição. Além disso, o sistema desenvolvido poderá ser utilizado de forma didática, para exemplificar o funcionamento e a operação de uma UHE nas aulas relacionadas com o tema.

Agradecimentos

À ENEX pela parceria com o Instituto Federal de Santa Catarina e também aos alunos bolsistas do Projeto "Sistema de Apoio a Operadores de Usinas" (Edital MEC/SETEC/CNPq N° 94/2013) pelo apoio e contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Também agradecemos ao IFSC pelo apoio e fomento a partir do Projeto Universal 2014/2015 (Edital n° 14/PROPII/2014).

AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

REFERÊNCIAS

ARANHA NETO, E. A. C.; TAKIGAWA, F. Y. K.; FERNANDES, R. C.; SCHULZE, P. H.; MANICARDI, R. Simulador de subestações de energia para treinamento de operadores. III Congresso de las Americas de Distribución Eléctrica. Córdoba, 2016.

BZUNECK, M.; MENEGAZ, A. A. Desenvolvimento e aplicação de sistema de treinamento para operadores de usinas baseado em simulador elaborado através de um programa em software flash®. X EDAO – Encontro para Debates de Assuntos de Operação. São Paulo, 2008.

CASTRO, H. S. Especificação funcional de simulador para treinamento de operadores de centro de controle de geração e transmissão. Dissertação (Mestrado). UFMG. Belo Horizonte, 2007.

DUDLEY, T.; BOUWER, W.; VILLIERS, P.; WANG, Z. The Thermal-Hydraulic model for the pebble bed modular reactor (PBMR) plant operator training simulator system. Nuclear Engineering and Design. Vol. 238, pp. 3102–3113. 2008.

GERLACH, I.; BRÜNING, S.; GUSTAVSSON, R.; MANDENIUS, C.; HASS, V. Operator training in recombinant protein production using a structured simulator model. Journal of Biotechnology. Vol. 177, pp. 53–59. 2014.

MOREALE, M. S. Técnicas para treinamento de operadores do sistema elétrico utilizando simulador com base na interface de tempo real. Dissertação (Mestrado). UFSC. Florianópolis, 2007.

MYSQL. MySQL. Disponível em: <<http://www.mysql.com/>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

PHP. PHP: Hypertext Preprocessor. Disponível em: <<http://www.php.net/>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TOMSCHI, U.; JÄCKISCH, H.; NEWALD, R. Operator guidance simulator: a new power plant training tool concept. Power Plants and Power Systems Control. Kananaskis-Canadá, 2006.

VASANDANI, V.; GOVINDARAJ, T. Intelligent diagnostic problem solving tutor: an experimental evaluation. IEEE international conference on systems, man, and cybernetics. Atlanta-USA, 1991.

W3SCHOOL. HTML. Disponível em: <http://www.w3schools.com/html/html_intro.asp>. Acesso em: 23 abr. 2015a.

W3SCHOOL. JavaScript. Disponível em: <<http://www.w3schools.com/js/jsintro.asp>>. Acesso em: 17 abr. 2015b.

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO

RODRIGO CORAL

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de
Eng. Elétrica, Campus Joinville.*

coral@ifsc.edu.br

RESUMO

Atualmente o uso de redes neurais artificiais (RNA) vem ganhando força em cadeias de medição, onde a modelagem matemática do fenômeno físico se torna inviável para a composição do modelo da medição. Para os casos em que o modelo matemático é complexo o suficiente para inviabilizar a modelagem, as RNA apresentam-se como uma alternativa bastante vantajosa, pois, são capazes de apresentar resultados adequados a partir de um conjunto de treinamento. Porém, existe muita dificuldade de se utilizar o método clássico para a propagação da incerteza de medição (IM) através de um modelo neural. Para esses casos, como será mostrado neste trabalho, uma alternativa é a utilização do Método de Monte Carlo (MMC) para propagar as distribuições e obter na saída do modelo neural um valor de IM.

PALAVRAS CHAVES

Redes neurais artificiais. Incerteza de medição. Método de Monte Carlo.

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES

INTRODUÇÃO

Frequentemente, modelos baseados em RNA apresentam-se como solução onde os modelos matemáticos dos fenômenos físicos são inviáveis (HAYKINS, 1999). Isso possibilita uma modelagem eficaz de problemas complexos com resultados bastante adequados (SINGARAM, 2011; GHOBADIAN et al., 2009; ERTUNC; HOSOZ, 2005). No entanto, quando RNA são utilizadas para correlacionar diferentes grandezas físicas e estabelecer um modelo de medição, a propagação da incerteza através das redes é geralmente deixada de lado. Deste modo, o resultado dessas medições pode ser metrologicamente contestado. Isso porque, quando se relata o valor de uma medição é obrigatório que seja apresentado alguma indicação quantitativa da qualidade desse resultado. Sem essa indicação da qualidade, não é possível que os resultados possam ser comparados entre si ou com valores de referência fornecidos por especificações (BIPM et al., 2008a).

A medida da qualidade do resultado da medição uma grandeza é expressa pela sua IM, que é definida no vocabulário internacional metrologia como: parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (BIPM et al., 2008b). Nesse sentido, a IM nada mais é do que uma faixa de valores, a qual indica, com certo grau de probabilidade, onde se encontra o valor verdadeiro da grandeza medida. Dessa maneira, a IM reflete a falta de conhecimento sobre o exato valor da grandeza e deve sempre ser expressa, pois é impossível determinar o valor de qualquer grandeza sem que exista dúvida sobre o resultado da medição.

Para melhor ilustrar o conceito de IM, pode-se tomar como exemplo a medição de tensão realizada por um voltímetro. Para que esse instrumento apresente a indicação da tensão, é necessário que o mesmo seja introduzido no circuito elétrico a ser monitorado. Quando isso ocorre, a impedância de entrada do voltímetro introduz um erro na indicação em relação

ao valor verdadeiro da tensão. A correção desse erro pode ser realizada conhecendo-se o valor da impedância de entrada do voltímetro. Entretanto, o valor dessa impedância só pode ser conhecido através de medidas, e que por sua vez possuem, elas mesmas, erros. Deste modo, é impossível a realização de uma medição livre de erros. Porém, essa falta de conhecimento sobre o valor exato dos erros presentes na medição deve ser expressa através da sua IM (BIPM et al., 2008a).

Em sistemas de medição, onde o resultado de diferentes instrumentos são combinados através de um modelo matemático para a obtenção de um resultado final, a IM também deve ser propagada através desse modelo. Desse modo, será possível que o resultado final também seja expresso com sua respectiva IM. Como exemplo, pode ser tomado o caso da medição da potência ativa em um circuito eletrônico através do produto das medições da tensão e da corrente contínua. Dessa forma, as incertezas provenientes nas medições da tensão e da corrente são propagadas pelo modelo matemático, e assim é possível estimar a faixa de valores na qual se encontra o valor verdadeiro da potência. Para esses casos existem métodos muito bem definidos e internacionalmente aceitos. No entanto, esses métodos não fazem qualquer referência a cadeias de medição que se utilizam de RNA. Porém, em muitos casos práticos, RNA são utilizadas para substituir o modelo matemático da medição. Quando isso ocorre, a IM geralmente é colocada de lado, muito pela dificuldade de utilização dos métodos matemáticos utilizados na propagação das incertezas.

Ocorre que em 2008 foi lançado o suplemento número 1 (BIPM et al., 2008c) do Guia para a Expressão da Incerteza em Medição (BIPM et al., 2008a), que estabelece os preceitos para o uso de um método numérico, denominado de MMC, que facilita a obtenção de um intervalo para a IM quando se faz uso de modelos de medição complexos. Esse método, como será demonstrado nesse trabalho, pode ser utilizado também para propagar as IM das entradas

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES

para a saída de um modelo neural quando esse faz parte de uma cadeia como o modelo da medição.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se em pesquisas bibliográfica dos métodos internacionalmente aceitos para a apresentação da incerteza de medição através do modelo da medição. Após intensa busca foi encontrado uma única referência que considerava a utilização do método clássico para a propagar as incertezas da entrada para a saída de um modelo neural artificial, que será apresentado mais adiante. Porém, esse método se mostra inviável, mesmo para um número pequeno de neurônios e camadas escondidas.

A pesquisa limitou-se até o presente na propagação das IM através de modelos neurais constituídos por redes do tipo feedforward. A seguir são apresentados os métodos de avaliação da IM internacionalmente aceitos e a utilização do método clássico para a propagação das incertezas através de um modelo neural bastante simples. Na sequência, em resultados e discussões, será apresentado o MMC para a propagação das distribuições através de um modelo neural mais complexo.

Métodos de avaliação da incerteza de medição

Como visto anteriormente, o resultado de uma medida afasta-se do valor verdadeiro da grandeza através do erro de medição. Estes por sua vez são gerados pelo próprio processo de medir e dependem das condições específicas de cada medição. Os erros podem ser classificados em sistemáticos e aleatórios, sendo o primeiro, um valor constante e repetido em todos os resultados, e o segundo, puramente aleatório com valor médio igual a zero e assumindo diferentes modelos de distribuição de probabilidade. Existe ainda uma terceira classificação denominada de erro grosseiro, geralmente ocasionado por execução errada, problemas nos sistemas de medição, problemas no tratamento ou transcrição dos dados, entre outros. Erros grosseiros são tidos como dados espúrios e o

resultado da medição deve ser desconsiderado, não cabendo assim a avaliação da IM. Como mencionado também, por sua própria natureza, o erro não pode ser conhecido com exatidão, e o reconhecimento desse fato levou a comunidade metrológica internacional a formular o conceito de IM. Mesmo que a análise de erro tenha sido, há muito, uma prática da ciência da medição, é agora reconhecido que, mesmo que todos os componentes de erro conhecidos tenham sido corrigidos, ainda permanece uma incerteza de quão correto é o resultado declarado (BIPM et al., 2008a).

Para instrumentos de medição, inúmeras são as fontes que podem influenciar no resultado de uma medida. Por esse motivo, os fabricantes de instrumentos indicam em seus manuais o erro máximo admissível, o qual informa, com certo grau de probabilidade, os valores extremos que o erro de uma medição pode assumir em uma dada medida. Apresentado erroneamente com o termo accuracy, o erro máximo admissível engloba diferentes tipos de erros instrumentais como: linearidade, ganho, offset, histerese, entre outros. Em instrumentos de medição eletrônicos, o limite do erro em torno de uma medida é geralmente dado como um percentual da indicação do instrumento, acrescido de um valor fixo (FLUKE, 1994).

De um modo bastante simplista, pode-se dizer que quando um instrumento de medição é utilizado individualmente, seu erro máximo admissível confunde-se com a própria IM (FLUKE, 1994). No entanto, quando diferentes instrumentos são utilizados para a obtenção de uma grandeza, é necessário um meio de combinar as IM obtidas por cada um deles.

O Guia de Expressão da Incerteza de Medição, aceito internacionalmente, estabelece regras gerais para avaliar e expressar a IM. Dois são os métodos propostos: o primeiro dado pelo documento JCGM 100 (BIPM et al., 2008a), que toma como base a propagação de incertezas (desvios padrões) através do modelo matemático utilizado na medição; e o segundo dado pelo documento JCGM 101 (BIPM et al., 2008c), que trata da propagação das distribuições

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS UTILIZANDO

de probabilidade através do modelo matemático utilizando Método de Monte Carlo (MMC)

os graus de liberdade efetivos são calculados a partir da fórmula de Welch-Satterthwaite, Eq. 3.

Método de propagação das incertezas de medição ou método clássico

O método clássico é dado pela combinação das incertezas das grandezas de entrada, através do modelo matemático, para a obtenção da incerteza da grandeza de saída. As incertezas das grandezas de entrada, também chamadas de incertezas padrão, são obtidas através dos desvios padrões das distribuições de probabilidade das IM de cada uma das medidas de entrada. Para obtenção da incerteza padrão combinada da grandeza de saída, é utilizado a lei de propagação de incertezas, Eq. 1.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i)} \rightarrow \rightarrow (1)$$

Onde, $u_c(y)$ é a incerteza padrão combinada da grandeza de saída y ; $u(x_i)$ é a incerteza padrão da grandeza de entrada x_i ; $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ é o coeficiente de sensibilidade da grandeza de entrada x_i .

Pelo teorema central do limite, é esperado que a distribuição de probabilidade para a incerteza da grandeza de saída tenda para uma distribuição normal. Assim, a incerteza padrão combinada, nada mais é do que o desvio padrão dessa distribuição e representa uma probabilidade 68,2%. No entanto, na prática é necessário apresentar um intervalo com maior probabilidade de abrangência. A medida adicional de incerteza que satisfaz esse requisito é denominada incerteza expandida. A incerteza expandida é dada pela Eq. 2 (BIPM et al., 2008a)

$$U = k \cdot u_c(y) \rightarrow \rightarrow (2)$$

Onde, U é a incerteza expandida e k é o fator de abrangência da distribuição de probabilidade t-student, que é uma aproximação para a distribuição normal. Tipicamente, a abrangência para U é de 95% e

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)$$

4

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u^4(x_i)}{v_i}}$$

Onde, v_{eff} são os graus de liberdade efetivos para a grandeza de saída e v_i são os graus de liberdade da grandeza de entrada x_i .

Método de propagação de distribuições de probabilidade ou Método de Monte Carlo

Avaliação da IM com MMC, nada mais é do que a propagação das distribuições de probabilidade através do modelo matemático a partir de simulações numéricas de prováveis valores de entrada. Assim, o método trata as grandezas de entrada como variáveis aleatórias e suas respectivas IM como as funções densidade de probabilidade (PDF). Deste modo, são gerados valores aleatórios respeitando-se as PDF das grandezas de entrada, que são propagados pelo modelo matemático para que formem a PDF da grandeza de saída. A partir da PDF da grandeza de saída são definidos então os limites para a IM. O MMC parte da premissa de que IM representa a dúvida sobre o resultado da medição, logo, cada valor obtido através da geração aleatória é tão legítimo quanto qualquer valor indicado pelo instrumento de medição (MOSCATI; MEZZALIRA; SANTOS, 2004).

É importante lembrar que o número de medições simuladas possui forte influência no erro amostral esperado para a grandeza de saída. Nesse sentido,

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES NEURONIAIS ARTIFICIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO

é importante fazer um balanço entre a quantidade de simulações desejada, a disponibilidade de hardware e o tempo de simulação (BIPM et al., 2008 c).

Propagação da Incerteza de Medição em RNA

Quando RNA são utilizadas juntos a sistemas de medição em substituição ao modelo matemático do fenômeno físico, também é necessário propagar a IM por esse modelo. Do mesmo modo que um modelo matemático, os dois métodos podem ser aplicados na avaliação da IM através das RNA. Porém, como será demonstrado nos resultados e discussões, o MMC apresenta maior facilidade de aplicação frente ao método clássico.

2.2.1. Método Clássico

Após o treinamento de uma RNA, a mesma também pode ser considerada como um modelo matemático, na qual conhecendo-se os pesos e funções de transferência de cada neurônio, é possível extrair a saída em função das entradas. Assim, pode-se aplicar o método de propagação das incertezas de medição como mostrado em 2.1.1. Em seu trabalho de mestrado, Gusman (2011) apresenta um exemplo do uso desse método para uma RNA genérica com 2 neurônios na camada de entrada, 2 neurônios na camada escondida e 1 único neurônio na camada de saída, como mostrado na figura 1.

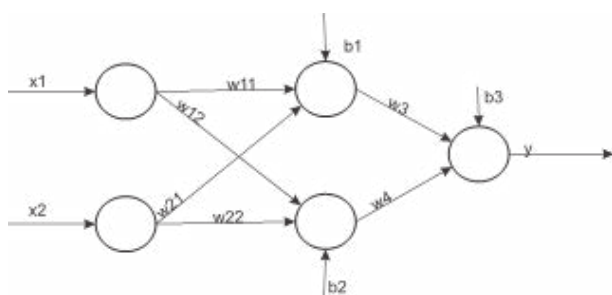


Figura 1. RNA genérica (GUSMAN, 2011).

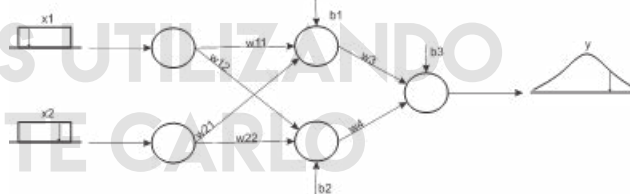


Figura 2: Aplicação do MMC em uma RNA genérica.

FONTE: Próprio Autor

A função de saída para essa RNA é dado pela Eq. 4.

$$y = f(x_1, x_2) = \varphi\{b_3 + w_3 \cdot \varphi[b_1 + w_{11} \cdot x_1 + w_{21} \cdot x_2] + w_4 \cdot \varphi[b_2 + w_{12} \cdot x_1 + w_{22} \cdot x_2]\} \quad (4)$$

Onde, y é a saída da RNA; x_i são as entradas da RNA, φ representa a função de transferência de cada neurônio, w_{ij} são os pesos associados a cada entrada dos neurônios; e b_i são o bias de cada neurônio.

Se no modelo matemático dado pela Eq. 4, x_i representasse os valores das medições das grandezas de entrada e y representasse o valor da grandeza de saída, então para que se obter a IM de y , basta aplicar a lei de propagação das incertezas na função $f(x_1, x_2)$, como demonstrado a seguir.

$$u(y) = \sqrt{\frac{\partial(x_1, x_2)}{\partial x_1}^2 \cdot u_{x_1}^2 + \frac{\partial(x_1, x_2)}{\partial x_2}^2 \cdot u_{x_2}^2} \rightarrow (5)$$

Onde:

$$\frac{\partial(x_1, x_2)}{\partial x_1} = \varphi'(x_1) \cdot [w_3 \cdot \varphi'(x_1) \cdot w_{11} + w_4 \cdot \varphi'(x_1) \cdot w_{12}] \rightarrow (6)$$

$$\frac{\partial(x_1, x_2)}{\partial x_2} = \varphi'(x_2) \cdot [w_3 \cdot \varphi'(x_2) \cdot w_{21} + w_4 \cdot \varphi'(x_2) \cdot w_{22}] \rightarrow (7)$$

É possível verificar que para a aplicação da lei de propagação das incertezas em RNA, é necessário que os neurônios possuam funções de transferência deriváveis. Assim, conhecendo as incertezas padrão (u_{x_i}) das entradas e os pesos dos neurônios, pode-se então conhecer a incerteza padrão da grandeza de saída.

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO

Um problema na aplicação do método clássico está em estabelecer as derivadas parciais para configurações mais amplas em relação ao número de neurônios e camadas escondidas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

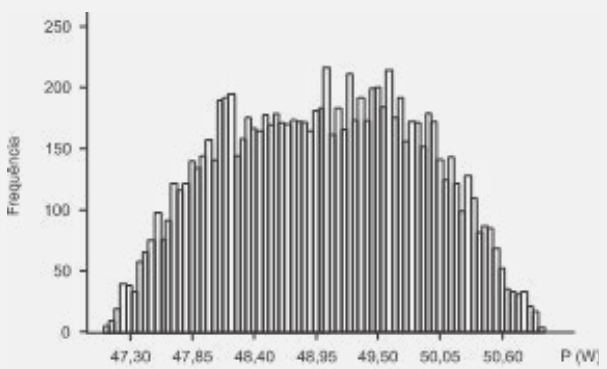
A aplicação do MMC para a propagação das PDF em uma RNA é menos custosa para a obtenção da IM do que a aplicação do método clássico, como será demonstrado a seguir. Neste caso, deve ser simulado diferentes valores nas entradas das RNA para se obter a PDF da grandeza de saída, como exemplificado pela figura 2. Pode-se notar que não é necessário realizar nenhum cálculo complicado, basta utilizar a RNA já treinada para a propagação das

distribuições. Para demonstrar a validade da aplicação desse método de avaliação da IM em RNA, serão comparados a seguir os resultados obtidos através da propagação das distribuições em um modelo matemático e seu equivalente neural. Será tomado o exemplo para a determinação da potência através das medições da tensão e da corrente. Nesse exemplo o modelo matemático é dado pela Eq. 8.

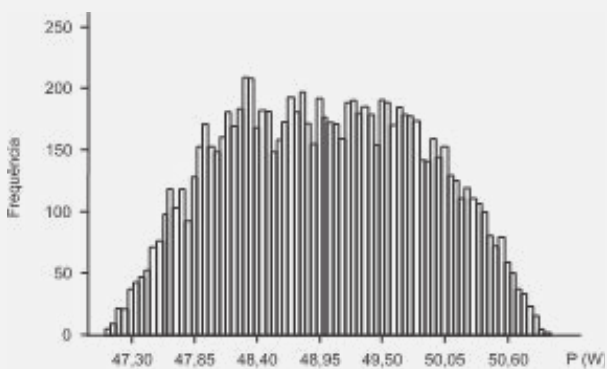
$$P = V \cdot I \rightarrow \rightarrow (8)$$

Onde, P é a potência ativa; V é a tensão contínua; I é a corrente contínua.

Para o modelo neural equivalente, a seguinte configuração de rede feedforward foi implementada: 2 neurônios na camada de entrada; 4 neurônios na primeira camada escondida; 4 neurônios na segunda camada escondida; 1 neurônio na camada de saída. Para o treinamento foi utilizado o algoritmo back-propagation e a tabela 1 representa o conjunto de treinamento.



(a) Modelo Matemático



(b) Modelo Neural

Figura 3: Resultado da aplicação do MMC através do modelo matemático e do modelo neural.
FONTE Próprio Autor

TENSÃO	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V
CORRENTE					
5 A	25 W	30 W	35 W	40 W	45 W
6 A	30 W	36 W	42 W	48 W	54 W
7 A	35 W	42 W	49 W	56 W	63 W
8 A	40 W	48 W	56 W	64 W	72 W
9 A	45 W	54 W	63 W	72 W	81 W
	Potência				

Tabela 1. Dados do conjunto de treinamento sem erros de medição.

Após o treinamento, um conjunto de validação com diferentes valores de tensão e corrente foi apresentado a RNA. Isso possibilitou verificar o desvio do modelo neural em relação ao modelo matemático. Os erros apresentados assumiram valores muito próximos à zero em todos os pontos, isso se deve principalmente ao fato de não haver erros nos dados do conjunto de treinamento, pois para esse exemplo o modelo matemático do fenômeno físico é conhecido.

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES

Com os dois modelos preparados, pode-se então utilizar um voltímetro e um amperímetro para se obter o valor da potência. Será assumido que o sistema de medição possui instrumentos com as seguintes configurações: voltímetro 3 1/2 dígitos com resolução de 10 mV e erro máximo admissível de $\pm(0,5\%$ da indicação + 4 vezes a resolução) V; amperímetro 3 1/2 dígitos com resolução de 10 mA e erro máximo admissível de $\pm(2\%$ da indicação + 6 vezes a resolução) A; em ambos os casos o erro máximo admissível possui PDF uniforme. Deste modo, quando o voltímetro indicar 7,00 V, o resultado desta medição da tensão é $(7,00 \pm 0,08)$ V, isso indica que o valor verdadeiro da tensão deve estar entre 6,92 V e 7,08 V. Da mesma forma, quando o amperímetro indicar 7,00 A, o resultado da medição é $(7,00 \pm 0,20)$ A.

Para os valores de $(7,00 \pm 0,08)$ V e $(7,00 \pm 0,20)$ A foram simulados 104 valores de tensão e 104 valores de corrente, respeitando a PDF uniforme para ambos os casos. Assim, esses valores foram inseridos no modelo matemático e no modelo neural. Os resultados podem ser observados na figura 3.

É possível observar, que a propagação das distribuições da tensão e da corrente em ambos os modelos, geraram resultados muito similares para o valor da potência, tanto para média como para dispersão. O modelo matemático apresentou um resultado para a medição de $(49,0 \pm 1,7)$ W e o modelo neural um resultado para a medição de

$(49,0 \pm 1,7)$ W. As PDF resultantes para os dois modelos também são bastante similares entre si, o que corrobora para a declaração de viabilidade do uso do MMC na propagação das distribuições de probabilidades em redes neurais.

CONCLUSÕES

A utilização do Método de Monte Carlo para a propagação das distribuições por um modelo neural mostrou-se adequada para estimar a incerteza de medição na saída do modelo neural. Isso foi comprovado pela comparação entre a utilização

do MMC através de um modelo matemático e seu equivalente neural artificial. Os resultados das medições em ambos os casos foram os mesmos e a PDF formada nas saídas dos modelos foram praticamente iguais, sendo que essa pequena diferença deve-se às inúmeras simulações aleatórias aplicadas pelo MMC.

Cabe destacar, que assim como qualquer modelo de medição constituído a partir de dados reais e que não baseados em leis físicas, sempre existirá os erros do próprio modelo em si. Até mesmo o guia para a expressão da incerteza de medição aborda esse fato. Assim, a incerteza de medição na saída do modelo da medição só é válida se o próprio modelo for suficientemente representativo do fenômeno físico que se pretende medir. Isso também vale para o caso de cadeias de medição que fazem uso de modelos neurais.

REFERÊNCIAS

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 100: Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Sep. 2008a. 134 p.

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 200: International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms. 2008b. 104 p.

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 101: Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Propagation of distributions using a Monte Carlo method. Sep. 2008c. 90 p.

PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO

ERTUNC, H. M.; HOSOZ, M. Artificial neural network analysis of a refrigeration system with an evaporative condenser. *Applied Thermal Engineering*. (2005), p. 9
FLUKE CORPORATION. *Calibration: Philosophy in Practice*. 2. ed. Everett, WA: Fluke Corporation, Everett, Wa, U.S.A , 1994. 528 p.

GHOBADIAN, B.; RAHIMI, H.; NIKBAKHT, A. M.; NAJAFI, G.; YUSAF, T. F. Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable energy*, v. 34, n. 4, 2009, p. 976-982.

GUSMAN, C. S. A. Incerteza de medição em redes neurais artificiais aplicadas à manutenção preditiva de transformadores. *Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2011.*

HAYKINS, S. *Neural Networks: a comprehensive foundation*, NJ: Pearson Education, 1999.

MOSCATI, G.; MEZZALIRA, L. G.; SANTOS, F. D. Incerteza de medição pelo método de monte carlo no contexto do "Suplemento 1" do GUM. *ENQUALAB*, jun, 2004.

SINGARAM, L. ANN prediction models for mechanical properties of AZ61 MG alloy fabricated by equal channel angular pressing. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, v. 8, n. 3, sep. 2011, p 337-345.

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

CASSIANO RODRIGUES MOURA

*Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Mecânica, Campus Jaraguá do Sul - Rau.
cassiano.moura@ifsc.edu.br*

ROBERTO DUESSMANN

*Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Graduando de Eng. de Produção, Campus Joinville.
roberto.duessmann@gmail.com*

RAFAEL BIANCHI MACHADO

*Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Graduando de Eng. de Produção, Campus Joinville.
rafabm99@gmail.com*

LETÍCIA BANDELOW

*Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Graduando de Eng. de Produção, Campus Joinville.
leticia.bandelow@hotmail.com*

IGOR MERLIN

*Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Graduando de Eng. de Produção, Campus Joinville.
igormerling@hotmail.com*

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento do projeto conceitual de um tênis térmico com características inovadoras, baseado na metodologia de Desenvolvimento de Produto. O trabalho foi realizado em parceria com o LADEP - Laboratório de Desenvolvimento de Produtos na UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina. A metodologia aplicada na pesquisa caracteriza-se por meio de pesquisa tecnológica, que busca a geração de novos produtos. O modelo de desenvolvimento utilizado é uma adaptação do método apresentado por Rozenfeld et al. (2006). A metodologia aplicada inicia-se com o projeto informacional, em que são extraídas informações sobre as reais necessidades do mercado referente ao produto, seguido do levantamento de informações realizado através de pesquisa de mercado, em que os dados são clarificados com auxílio da matriz QFD e ajustados os requisitos referentes à qualidade do produto. Posteriormente é realizado o projeto conceitual, em que a visão de mercado é transformada em um conceito tecnologicamente atrativo. Nesta fase é utilizada a técnica de modelagem funcional para evidenciar as funções elementares do produto. Por fim, é realizado o projeto preliminar, em que é utilizado um software de modelagem 3D para criar o desenho do conceito do produto e apresentar o projeto final.

PALAVRAS-CHAVE:

Desenvolvimento de produto, Tênis térmico, Inovação.

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

INTRODUÇÃO

De acordo com Rozenfeld et al., (2006) o processo de Desenvolvimento de Produto pode ser visto como um conjunto de atividades através das quais se podem chegar às especificações do projeto de um produto ou de seu processo de produção, levando em consideração as especificações do mercado, restrições tecnológicas e as estratégias competitivas de uma empresa. Para Slack (2009) o objetivo ao se desenvolver um novo produto é atender as necessidades e garantir a satisfação dos clientes, especificamente suas expectativas atuais e futuras. De acordo com Pahl et al., (2005) a atividade crucial no desenvolvimento de produto consiste em um processo de análise e um subsequente processo de síntese, que passa por etapas de trabalho e de decisão, iniciando-se geralmente de forma qualitativa tornando-se cada vez mais concretos e quantitativos.

Diversos autores apresentam modelos para delinear o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). No modelo de Ulrich e Eppinger (2004) o PDP é dividido em uma sequência de fases e atividades

que são desenvolvidas para conceber, projetar e comercializar um produto. Para Pahl et al., (2005) o modelo para o Processo de Desenvolvimento de Produto pode ser desdobrado nas seguintes fases planejar/esclarecer a tarefa; conceber; projetar e detalhar. Back et al., (2008), apresentam um modelo de referência para o Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos - PRODIP. Este modelo contribui para que as empresas possam executar um processo de desenvolvimento de produto mais formal e sistemático, integrado aos demais processos empresariais, o processo é decomposto em macro fases, atividades e tarefas com uma sequência lógica de atividades e tarefas.

Rozenfeld et al., (2006) apresentou uma estrutura do Processo de Desenvolvimento de Produto, conforme mostra a Figura 1, onde se observa três macro fases distintas:

- Pré-Desenvolvimento;
- Desenvolvimento;
- Pós-Desenvolvimento.

Na macro fase de desenvolvimento acontece o

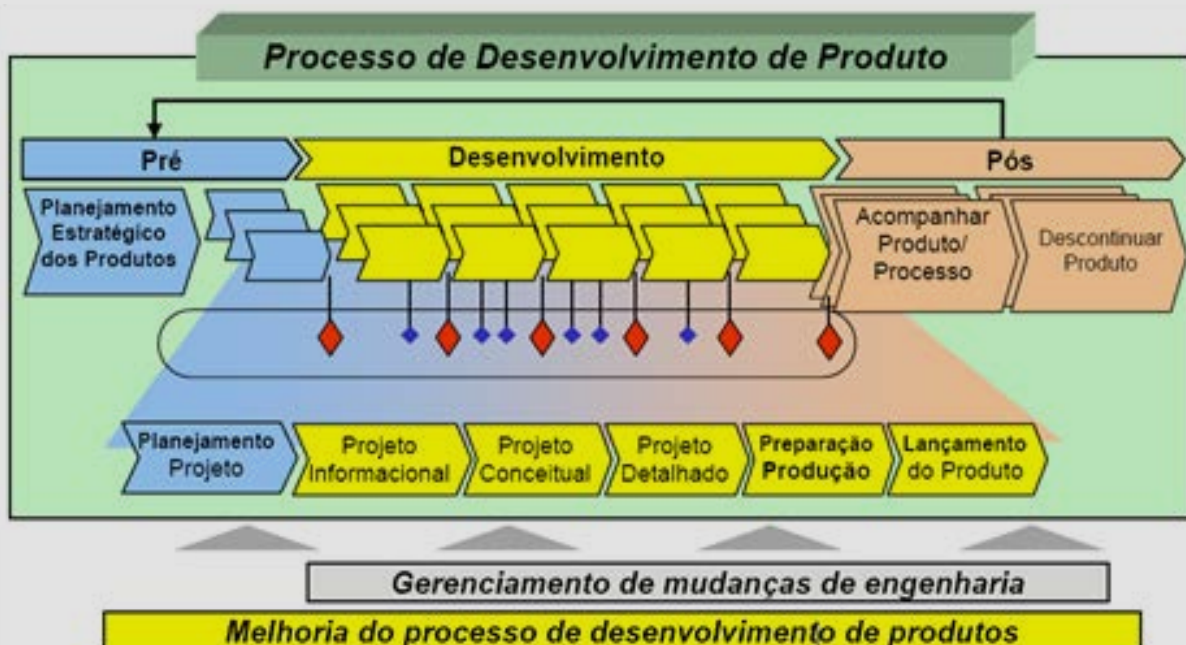


Figura 1: Estrutura do Processo de Desenvolvimento de Produto.
FONTE: Rozenfeld et al. (2006).

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA

desdobramento do projeto do produto. Ela pode ser dividida em fases conforme mostra a Figura 2. Pode-se observar que ela inicia-se com o projeto informacional e termina com a fase de lançamento do produto. O desdobramento destas fases consiste na aplicação de técnicas e ferramentas que conduzem o processo de desenvolvimento de produto de maneira estruturadas e eficaz.



Figura 2: Desdobramento da macro-fase Desenvolvimento.
FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al., (2006).

METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho é caracterizada por meio de pesquisa tecnológica, que busca a geração de novos produtos. Em termos de objetivos ela pode ser classificada como pesquisa exploratória, pois visa compreender o problema atual para depois propor uma solução. Os procedimentos utilizados incluem pesquisa de campo, através do acompanhamento das atividades in loco, pesquisa na literatura e em bancos de patentes, para busca de possíveis soluções já existentes, bem como levantamentos através de entrevistas com especialistas. Para o desenvolvimento do conceito do produto foram utilizadas algumas das fases propostas no modelo apresentado Rozenfeld et al., (2006).

O procedimento metodológico do trabalho esta dividido em quatro etapas mostradas na Figura 3. O Planejamento do Projeto caracteriza a etapa inicial da pesquisa, onde é realizada a avaliação do problema seguido de um delineamento do processo de desenvolvimento. Na sequencia inicia-se a etapa de desenvolvimento do produto, em que são aplicados o método e as ferramentas para a criação do conceito, nesta etapa são desenvolvidas as três fases, o Projeto Informacional; Conceitual e Preliminar onde por fim se apresenta um modelo conceitual para o produto.

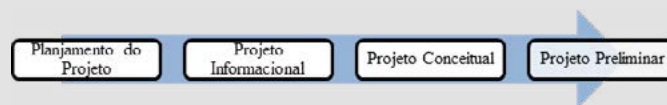


Figura 3: Etapas de desenvolvimento de produto adotado neste trabalho.
FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Planejamento do projeto

Para se determinar o foco do produto a ser desenvolvido, bem como a probabilidade de sucesso do projeto, foram avaliados quatro produtos com características distintas:

- Tênis Térmico Recarregável;
- Tênis Térmico Autorrecarregável;
- Tênis Térmico Esportivo;
- Tênis Térmico Ecológico.

A técnica utilizada para auxiliar nesta escolha foi o gráfico de bolhas proposto por Rozenfeld et al., (2006), conforme mostra a Figura 4, onde se observa que o tênis Térmico Recarregável é a pérola do projeto devido a ter maior probabilidade de sucesso bem como maior VPL (Valor Presente Líquido). Isto acontece devido a existência da necessidade do produto e não existência de concorrência atualmente no mercado. Além disso, representa o maior lucro esperado, devido suas características universais dentre os modelos apresentados.

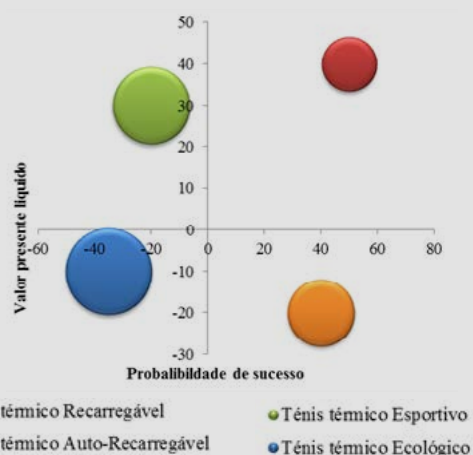


Figura 4: Análise de probabilidade de sucesso.
FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006).

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA

Através destas informações pode-se gerar a declaração de escopo do produto onde são apresentadas suas primeiras características, bem como suas especificações iniciais e limitações esperadas para o projeto, conforme é apresentado na Tabela 1

II. Projeto Informacional

Nesta etapa foram levantadas as necessidades dos clientes relacionadas a utilização do produto. Para auxiliar o levantamento de informações elaborou-se um benchmark que captou dados referentes aos produtos similares existentes. Na sequência foi realizada uma pesquisa de mercado através de um questionário, onde se podem determinar as reais necessidades dos clientes. Para isso foi desenvolvido um questionário com características específicas que foi aplicado aos potenciais clientes. Com isso pode-se obter informações importantes com relação à visão do mercado sobre o produto.

A etapa de clarificação das necessidades foi realizada com o auxílio da matriz QFD (Quality Function Deployment) que realizou o desdobramento da função qualidade, conforme é apresentado na figura 5. Ela auxiliou na definição das especificações metas, como também listou quais requisitos do produto são mais importante para o projeto.

Com o desdobramento da função qualidade se obteve informações importantes referentes aos fatores diretamente ligados à qualidade percebida pelo cliente, como vida útil, duração da bateria e o peso do produto, estes que foram os três requisitos de projeto, respectivamente, com maior relevância segundo a matriz QFD, isso propicia visualizar suas prioridades e futuramente pode ser utilizado como base para a execução real do projeto. Ela também indicou os requisitos do produto em relação ao seu projeto, em sequência por ordem de importância. Com isso se pode priorizar resultados na sequência do desenvolvimento direcionando o produto às características dos clientes

PROJETO - TÊNIS TÉRMICO RECARREGÁVEL	
NOME FANTASIA	T-SHOES
JUSTIFICATIVA	Este projeto justifica-se a partir da ideia de que em alguns lugares e/ou situações as pessoas possuem dificuldade no que diz respeito ao aquecimento dos pés. Desta maneira, T-Shoes apresenta uma solução inovadora para este problema.
OBJETIVOS	Desenvolver um tênis casual para aquecimento dos pés. Facilitar o carregamento da bateria. Desenvolver um design arrojado. Criar um tênis leve. Projetar um tênis confortável.
PARTES ENVOLVIDAS	Cientes: O público alvo é qualquer pessoa que tenha necessidade de manter os pés aquecidos. Além do conforto, esse calçado ajudará também os diabéticos que normalmente tem a circulação ruim, devido ao elevado nível de açúcar no sangue, deixando os pés frios. Concorrentes: Atenta-se ao fato de ser um produto novo no mercado não apresentado assim uma concorrência direta.
LIMITAÇÕES/ RESTRICÇÕES	Risco inicial de não aceitação do mercado. Preço ser superior a outros tênis comuns no mercado, pelo fato da tecnologia aplicada. Tempo de duração da bateria. Apesar de conter sistema de ventilação, há risco de transpiração excessiva.
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS	Tênis casual para uso diário. Resistências acopladas no solado do tênis para realizar o aquecimento. Sistema de aquecimento impermeável. Armazenamento de energia por meio de bateria recarregável.

Tabela 1 - Declaração de escopo do projeto

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA

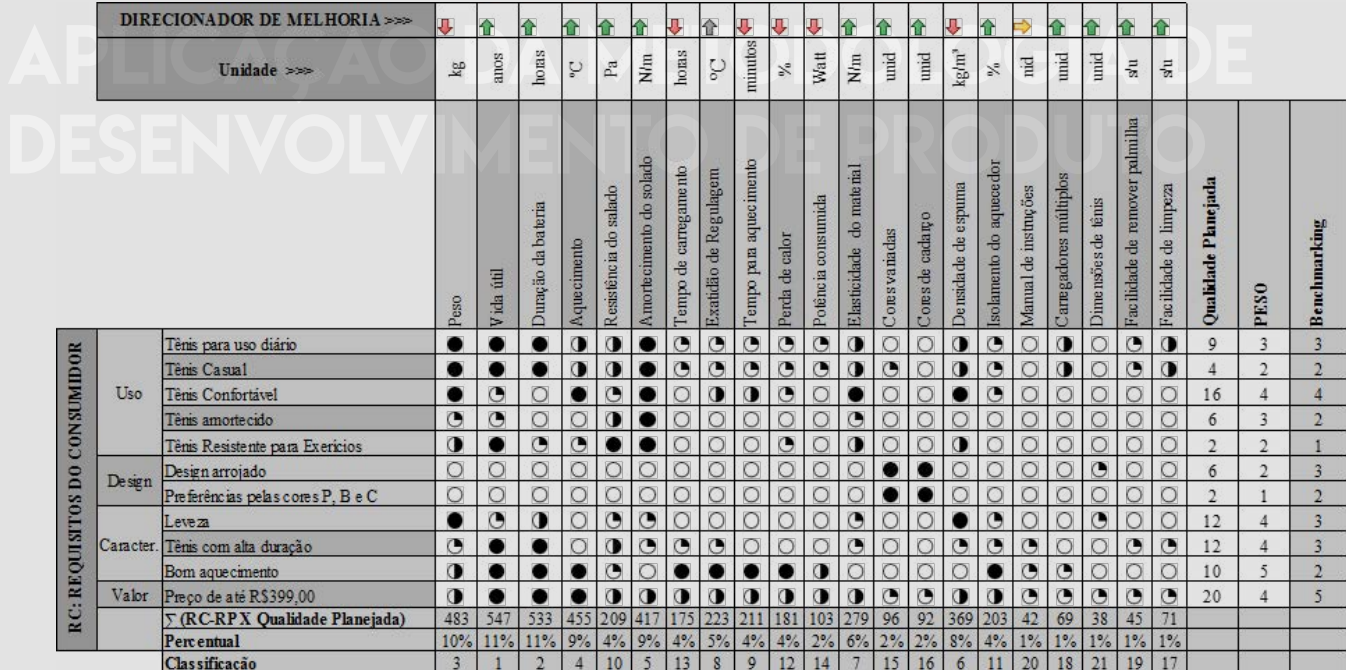


Figura 5: Casa da Qualidade - QFD (Quality Function Deployment)
FONTE: Primária

Através dos requisitos do produto levantados no QFD, foi possível elaborar as especificações meta para o projeto, onde cada requisito tem suas características técnicas definidas, conforme tabela 2, que apresenta os 10 principais requisitos de projeto para o produto. Isso propicia visualizar suas prioridades e futuramente pode ser utilizado como base para a execução do protótipo do projeto.

Pode-se observar que dentre as especificações meta do produto, cinco apresentaram maior destaque, sendo que o principal foi à vida útil, determinada em três anos de duração, que pode ser estimada através de testes de ciclo efetuados sobre o produto. Na sequência aparecem duração da bateria, cerca de 48 horas, peso de calçado, amortecimento do solado e temperatura de aquecimento, que será disponibilizado em três níveis, 20, 25 e 30 C°.

Nº	REQUISITO DE PRODUTO	UNIDADE	VALOR-META	MEDIÇÃO
1	Vida útil	anos	3	Ensaio de Ciclos
2	Duração da bateria	horas	48	Teste de desempenho
3	Peso	kg	0,3	Balança
4	Aquecimento	°C	até 30°	Termômetro
5	Amortecimento do solado	N/m	16000	Ensaio Físico-Químico
6	Densidade de espuma	kg/m³	860	Balança
7	Elasticidade do material	N/m	340	Propriedade do Material
8	Exatidão de Regulagem	°C	1	Termômetro
9	Tempo para aquecimento	minutos	2	Cronômetro/termômetro
10	Resistência do solado	Pa	5000	Ensaio de ciclos

Tabela 2 - Especificações meta referentes ao produto

FONTE: Primária (imagens disponíveis na internet)

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

III. Projeto conceitual

O Projeto conceitual utiliza as informações construídas na fase anterior, baseando-se na visão de mercado, para desenvolver o conceito de forma técnica e mercadologicamente atrativo aos usuários.

Inicialmente foi aplicada a modelagem funcional conforme mostra a Figura 6, para evidenciar as funções elementares do produto. Para isso determina-se a função global do produto, onde são detalhadas as entradas e saídas do processo, bem como uma descrição de todas as funções elementares que compõem o produto, de forma sequencial. Na Figura 6 pode-se observar que a função global é “confortar os pés”, bem como as 10 subfunções descritas como elementares para o produto desenvolver sua função.

Na sequência é aplicado um estudo para gerar os princípios de solução e atender as funções elementares da modelagem funcional. Nesta etapa foi utilizada a matriz morfológica, conforme apresentada na Tabela 3, onde são utilizados requisitos do projeto, levantados no QFD, catálogos técnicos e banco de informações, para contemplar as características necessárias para

o produto e gerar os princípios de solução. Nesta tabela são apresentados os principais princípios de solução, que podem de alguma forma contribuir para a função em questão. Estes devem ser analisados criteriosamente a fim de ajustar qual a melhor escolha para o produto em questão.

Com a combinação das alternativas de solução da matriz morfológica pode-se gerar as alternativas de concepção do projeto, conforme mostra a Tabela 4. Estas foram identificadas através de análises qualitativas, buscando as melhores opções para atender as necessidades do projeto.

Essas alternativas são geradas em conjunto pela equipe de projeto, através da análise de quais conjuntos de princípio de solução podem apresentar uma melhor combinação pra atender aos requisitos do produto. Na tabela 4 pode-se observar que foram levantadas 4 possíveis alternativas de concepção para o produto. Cada uma destas opções possuem características distintas devido aos princípios de solução que foram utilizados em cada uma delas.

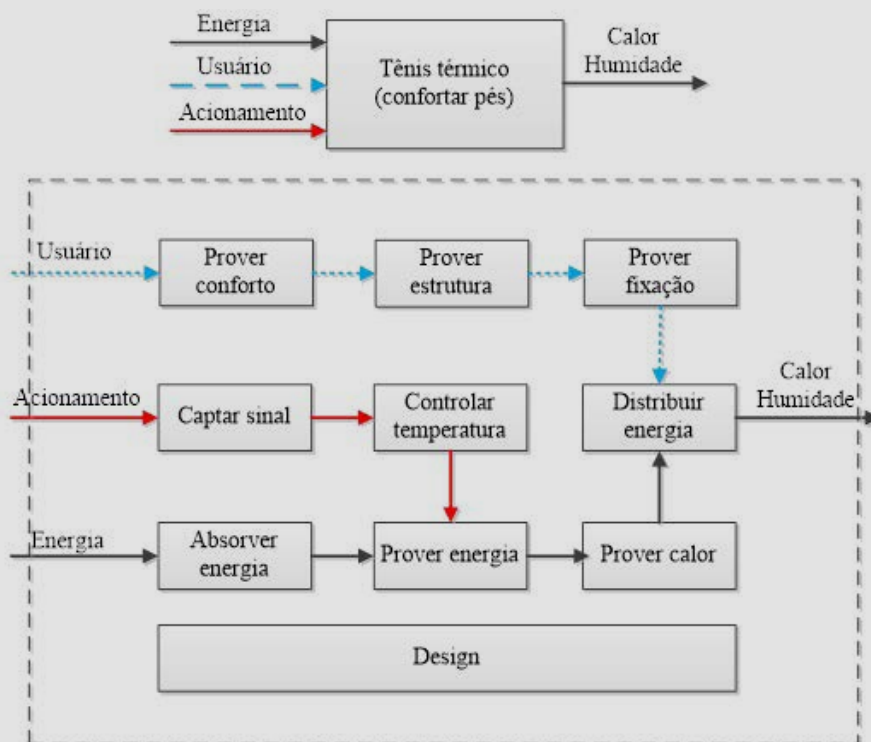


Figura 6: Modelagem funcional - Tênis térmico

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Função	Alternativa de solução					
	Amortecedor	Palmilha de Silicone		Palmilha de Borracha		
Prover conforto						
Prover estrutura	Nylon 	Algodão 	Couro 	Tela 	Plástico 	Borracha 
Prover fixação	Cadearço 	Velcro 	Zipper 	Prasilha 	Elastico 	Sem cadearço 
Absorver energia	USB 	Mini USB 	Micro USB 	A/C 	Firewire 	
Prover energia	Bateria 	Pilha 				
Prover calor	Resistência 	Vibração 	Infravermelho 			
Distribuir energia	Condução 	Convecção 	Irradiação 			
Controlar temperatura	Termostato 	Termômetro 	Sensor 			
Captar sinal	Potenciômetro 	Botão 	Chave 	Painel Digital 		

Tabela 3 - Matriz morfológica
FONTE: Primária (imagens disponíveis na internet)

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO






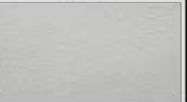





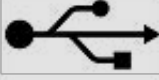


















Função	Alternativas de concepção			
	1	2	3	4
Prover conforto				
	Couro	Nylon	Couro	Couro
Prover estrutura				
Prover fixação				
Absorver energia				
Prover energia				
Prover calor				
Distribuir energia				
Controlar temperatura				
Captar sinal				

Tabela 4 - Alternativas de concepção do produto
 FONTE: Primária (imagens disponíveis na internet)

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Para selecionar a alternativa de concepção que melhor atende as necessidades do projeto em relação aos consumidores, foi utilizada a matriz de decisão proposta por Pugh (1991), que compara os requisitos do consumidor com as alternativas de propostas, conforme mostra a Tabela 5. Pode-se observar que a alternativa número 1 foi tomada como referência e as demais foram confrontadas com os critérios preestabelecidos. Após a análise ficou definido que a concepção nº3 se mostrou superior as suas concorrentes, finalizando o processo de definição do conceito do produto.

Uma análise de viabilidade técnica prévia da alternativa de solução escolhida mostra que o módulo de aquecimento será dado por meio de uma resistência alimentada por bateria. A resistência dificulta a passagem de corrente elétrica e produz calor, similar a outros produtos com as mesmas características, como chuveiro. O componente será terceirizado e a resistência será comprada de empresas especializadas para posterior montagem ao produto.

A fonte de energia para o aquecimento será uma bateria de lítio, que ficará na parte interna e central do tênis. A bateria de lítio, similar a de um celular,

também será adquirida por terceiros e montada ao produto, sendo que o carregamento da bateria será feito através de uma entrada Universal Serial Bus (USB).

Para a concepção escolhida foi elaborada uma lista preliminar de materiais (Bill of Materials), conforme é apresentado na Tabela 6, onde podem-se observar os itens separados por módulos: Estrutural, Aquecimento e Carregamento, em que cada grupo envolve seus respectivos subprodutos e componentes do produto. Para cada item se especificou um código para melhor controle do processo, bem como sua quantidade, a especificação de comprado (C) ou manufaturado (M) e o processo de fabricação envolvido.

IV. Projeto Preliminar

Nesta fase é realizado o desenho do projeto para a alternativa escolhida. Foi utilizado um software de modelagem 3D para criar o desenho do conceito do produto. A figura 7 apresenta uma vista explodida da montagem do produto, que a partir desta etapa passa a se chamar T-Shoes. Nesta figura pode-se observar o módulo de suporte e módulo de aquecimento, que se tratam dos diferenciais deste produto. Esses módulos serão os responsáveis por atender a maioria dos requisitos indicados pelos clientes.

A Figura 8 apresenta o conceito final do produto T-Shoes e apresenta em detalhes o módulo de aquecimento, onde pode-se observar a distribuição do ar quente pelo produto, a disposição da bateria e a entrada USB para carregamento de energia. O dispositivo de controle de temperatura será disposto na parte superior do sistema. Através dele o usuário poderá realizar o controle de temperatura, bem como ligar ou desligar o sistema (ON/OFF).

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÃO				
	PESO	1(REF.)	2	3	4
TÊNIS PARA USO DIÁRIO	3	0	-	+	-
TÊNIS CASUAL	2	0	-	0	+
TÊNIS CONFORTÁVEL	4	0	-	0	0
TÊNIS AMORTECIDO	3	0	-	0	0
TÊNIS RESISTENTE PARA EXERCÍCIOS	2	0	0	0	-
DESIGN ARROJADO	2	0	+	+	-
PREFERÊNCIAS PELAS CORES P, B E C	1	0	0	0	0
LEVEZA	4	0	0	+	-
TÊNIS COM ALTA DURAÇÃO	4	0	-	0	-
BOM AQUECIMENTO	5	0	-	0	+
PREÇO DE ATÉ R\$399,00	4	0	-	+	-
TOTAL		0	-23	+13	-12

Tabela 5 - Matriz de decisão

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA

Nº	Descrição	Código	Qtde.	+C/M	Material	Processo fabricação
1	Módulo Estrutural					
1.1	Solado Amortecido	ME-101	2	C	Borracha	Terceirizado
1.2	Palmilha	ME-102	2	M	EVA	Cortado
1.3	Cadarço	ME-103	2	M	Tecido	Cortado
1.4	Estrutura externa	ME-104	2	M	Couro	Cortado/Costurado
1.5	Língua	ME-105	2	M	Couro	Cortado/Costurado
1.6	Revestimento Interno	ME-106	2	M	Espuma	Cortado/Colado
1.7	Suporte para módulo de aquecimento	ME-107	2	M	Plástico	Cortado
2	Módulo Aquecimento					
2.1	Resistência	MA-201	2	C	Cobre	Terceirizado
2.2	Fio - Termostato para Resistência	MA-202	2	M	Cobre	Cortado
2.3	Termostato	MA-203	2	C	Montagem	Terceirizado
2.4	Chave	MA-204	2	C	Montagem	Terceirizado
2.5	Fio - chave	MA-205	8	M	Cobre	Cortado
2.6	Fio - Resistência para bateria	MC-206	2	M	Cobre	Cortado
3	Módulo Carregamento					
3.1	Bateria	MC-301	2	C	Lítio	Terceirizado
3.2	Entrada USB	MC-302	2	C	Montagem	Terceirizado
3.3	Cabo USB	MC-303	2	C	Montagem	Terceirizado
3.4	Hub USB	MC-304	1	C	Montagem	Terceirizado
3.5	Tomada com conector USB	MC-305	1	C	Montagem	Terceirizado
3.6	Fio - USB para bateria	MC-306	4	M	Cobre	Cortado

*C = comprado; M = manufaturado

Tabela 6 - Lista de materiais preliminar - Bill of Materials (BOM)



Figura 7: Vista explodida da montagem do produto



Figura 8: Conceito final e detalhe do módulo de aquecimento

PROJETO CONCEITUAL DE UM TÊNIS TÉRMICO BASEADO NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

4. CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou a metodologia de desenvolvimento de produto para buscar um conceito de um Tênis Térmico com características inovadoras. Pode-se considerar que através do estudo o objetivo geral foi alcançado, uma vez que o conceito do produto foi apresentado e considerado adequado às características dos usuários. A coleta de dados para o levantamento de informações foi imprescindível para a conclusão da pesquisa, bem como as ferramentas aplicadas através da metodologia proposta se mostraram eficientes para desenvolver o conceito final do produto, que se mostrou viável e de acordo com as características preestabelecidas pelos requisitos dos clientes.

Além disso, baseado na lista preliminar de materiais (Bill of Material - BOM), espera-se que o custo do equipamento seja atrativo aos clientes, uma vez que os materiais foram sugeridos buscando o alinhamento entre o custo e desempenho. É importante destacar que este produto ainda é um conceito, ou seja, se trata de um projeto em andamento, sendo as demais fases de detalhamento e testes ainda necessárias para finalizar o desenvolvimento do produto.

REFERÊNCIAS

BACK, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J. C. da. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Editora Malone, 2008. 648p.

PAHL, G. Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K. Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. 6ª Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005. 432p.

PUGH, S. Total Design Integrated Methods For Successful Product Engineering. Adison Wesley Publishing Company, 1991.

ROZENFELD, H.; FORCILLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, JOSÉ C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R.K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria dos Processos. São Paulo: Saraiva, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. Traduzido por Maria Teresa Corrêa de Oliveira. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ULRICH, K. T.; Eppinger, S. D. Product Design and Development. Mc Graw Hill, Nova Iorque, 2004. 384p.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO

10

DURVAL JOÃO DE BARBA JUNIOR

*Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul), Professor de Projetos, Campus Sapucaia do Sul.
debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br*

CARLOS ALBERTO SCHUCH BORK

*Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul), Professor de Processos, Campus Sapucaia do Sul.
bork@sapucaia.ifsul.edu.br*

RESUMO

Cada vez mais os bens de consumo produzidos estão ganhando novos mercados em função de seu grau de qualidade e seu grau de desenvolvimento sustentável, sendo avaliados sobre os aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais e, conforme cresce o nível de exigência dos consumidores sobre estas informações, maior o valor agregado deste bem de consumo. Assim, este trabalho comparou duas empresas do setor moveleiro fabricantes de produtos de forma sustentável, com a finalidade de caracterizar o processo de incorporação dos requisitos de sustentabilidade em seus produtos e avaliar o grau de efetividade desta forma de produção. Para isso, utilizou-se uma metodologia de análise da sustentabilidade que avaliou quatro aspectos: econômico, tecnológico, ambiental e social. Para interrelacionar os aspectos utilizados nesta avaliação, fez-se o uso de um método multicritério de tomada de decisão (MCDA) e, com isto, pode-se identificar melhorias a serem realizadas em cada empresa analisada e buscar alternativas para a implantação de requisitos mais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE

Análise da sustentabilidade. Avaliação do Ciclo de Vida. Avaliação Social do Ciclo de Vida. Móveis.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO

INTRODUÇÃO

O principal objetivo de qualquer organização é conseguir o maior retorno possível sobre o capital investido, utilizando-se de ferramentas disponíveis para estar à frente dos concorrentes e ampliando sua presença no mercado. No entanto, além dos fatores econômicos e tecnológicos, as questões ambientais e sociais também fazem parte da responsabilidade das empresas. Sendo assim, as empresas estão se reorganizando para se adequarem a esta nova consciência e forma de produzir. As pressões sociais e às restrições pertinentes à legislação fazem com que as empresas sejam forçadas a buscar formas de reduzir seu impacto ambiental e a melhorar sua imagem frente a sua responsabilidade social (ARAÚJO et al., 2006).

Não existe incompatibilidade entre um empreendimento rentável e uma gestão para a sustentabilidade. Os resultados das organizações precisam refletir o equilíbrio entre os fatores ambientais, sociais e econômicos e, com isto, as empresas encontrarão uma longevidade a partir de sua viabilidade econômica e a coexistência condizente com o meio ambiente e a sociedade, sendo esta a definição de sustentabilidade empregada neste trabalho (FAVARETTO e BRUCK, 2010).

As principais vantagens de incorporar uma abordagem focada na sustentabilidade na estratégia de negócios, de uma empresa qualquer, são: (1) o aumento da receita, (2) aumento da participação de mercado, (3) o aumento da retenção de funcionários, (4) um maior apoio da comunidade e (5) uma maior segurança para investimentos (MAZUR e MILES, 2010; FAVARETTO e BRUCK, 2010). Deste modo, observa-se que as empresas que decidiram seguir o caminho de serem e oferecerem produtos sustentáveis, tiveram um retorno econômico, ambiental e social de seus esforços, pois conseguiram a maior fatia do mercado, pois seus produtos e processos tornaram-se menos agressivos ao meio ambiente, ajudando assim a desenvolver, positivamente, a sociedade.

Devido ao crescente nível das exigências

dos consumidores, que ocorre pela quantidade de informações disponíveis a respeito de produtos ambientalmente corretos, verifica-se que certas organizações estabelecem uma imagem positiva utilizando projetos que focam o desenvolvimento sustentável. Assim, existe uma crescente busca do setor moveleiro por informações a respeito do desenvolvimento sustentável de seus produtos e processos, pois móveis produzidos de forma sustentável estão cada vez mais valorizados no mercado brasileiro.

O objetivo deste trabalho foi de comparar duas empresas que se auto intitulam sustentáveis, com a finalidade de caracterizar o processo de incorporação dos requisitos de sustentabilidade em seus produtos e processos, bem como avaliar o grau de efetividade desta forma de produção.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo de caso comparou-se duas empresas sobre a ótica dos aspectos de sustentabilidade (ambiental, econômico, social e tecnológico). Uma empresa é constituída por 21 funcionários, considerada como pequena empresa (SE), tendo seu foco na produção de móveis modulados e sob medida (planejados) sob encomenda para as classes B (famílias com rendimento mensal acima de cinco salários mínimos) e a outra empresa, com 170 funcionários, considerada como média empresa (ME), também fabrica móveis modulados e sob medida, mas para as classes C.

Para o presente estudo foi escolhido uma unidade funcional denominada “balcão de cozinha com duas portas e quatro gavetas”, nas dimensões de 1300x500x820 mm, produzido em MDF BP (resina melamínica de baixa pressão) e com um tempo de vida mínimo de 10 anos. Este balcão não tem a função pia, mas possui um tampo superior. Ressalta-se aqui que as duas empresas produzem o mesmo produto.

A avaliação da sustentabilidade foi dividida em quatro categorias (econômica, tecnológica, ambiental e social) que foram agrupadas e analisadas

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO

utilizando o método de Apoio Multicritério à Decisão (MCDA) (explicado mais adiante) e, para uma melhor visualização dos resultados, a plotagem em forma gráfica.

Os pesos de cada uma das quatro categorias foram considerados os mesmos (igual a 1), pois segundo Klöpffer (2008) deve se respeitar um princípio importante da sustentabilidade que é o equilíbrio das considerações de ordem ambiental, econômica, social e, aqui, tecnológica.

A seguir estão demonstrados os Métodos utilizados para avaliação de cada aspecto de sustentabilidade e as variáveis analisadas.

Análise Ambiental

A análise ambiental foi realizada utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV, para os dois balcões, inclui os estágios de extração de matéria-prima, produção de energia, transporte da matéria-prima até as empresas, produção, montagem e embalagem.

As duas empresas possuem os setores de produção e embalagens plenamente automatizados, diferenciando apenas na empresa SE que possui um setor de pré-montagem manual, enquanto que na empresa ME existe um sistema de entrega onde toda a montagem é realizada na casa do cliente (também manual).

A Figura 1 mostra o fluxo de processo das duas empresas. A principal diferença está na pré-montagem que existe somente na empresa SE.

Os dados de entrada e saída dos materiais, energia e resíduos necessários para a implementação da ACV foram medidos in loco nas duas empresas, sendo apresentados na Tabela 1.

Todos os dados de entrada e saída da Tabela 1 foram modelados com o uso do software EverDEE (ferramenta de ACV simplificada baseada na web para pequenas e médias empresas) (NALDESI et al., 2004) tendo como resultados os indicadores da Tabela 2. Os pesos desta tabela seguem a perspectiva average do método ReCiPe (GOEDKOOOP, 2013).

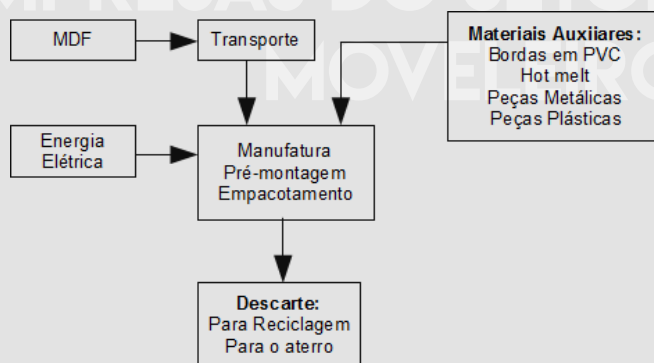


Figura 1 - Fluxo de Processo para ACV.

DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DE MATERIAIS E ENERGIA	UN.	EMPRESA	
		SE	ME
Pre-Manufatura			
Painel de MDF com 15 mm de espessura	kg	41,95	41,95
Painel de MDF com 5 ou 4 mm de espessura (masonite)	kg	7,61	6,09
Tamburato em MDF 1300x500x820 mm (panelo)	kg	11,32	11,32
Bordas em PVC de 54 mm e 18 mm	kg	0,59	0,59
Adesivo hot melt	kg	0,60	0,10
Componentes em metal (parafusos, pregos, corredeças)	kg	0,49	0,34
Transporte			
Transporte caminhão 30t EURO 3	km	240	320
Manufatura			
Energia Elétrica	kW.h	4,41	2,0
Emissões - Resíduos tóxicos	kg	0,105	0,105
Emissões - Resíduos não perigosos - Despejo	kg	2,65	2,4
Emissões - Resíduos não perigosos - Recuperação	kg	2,5	3,11
Embalagem			
Papelão	kg	0,34	1,07
Filme PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) ou Plástico bolha	kg	2,97	1,25
Componentes plásticos (acessórios para montagem)	kg	0,17	0,17

Tabela 1 - Dados de entrada e saída de materiais e energia.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS MOV

CATEGORIA	PESO	SUB-CATEGORIA	PESO	INDICADOR	PESO
Ambiental	1	Danos à disponibilidade de recursos	0,2	Consumo de recursos minerais	0,04
				Consumo de biomassa	0,04
				Consumo de água doce	0,04
				Consumo de energia não renovável	0,04
				Consumo de energia renovável	0,04
		Danos aos ecossistemas	0,4	Mudanças climáticas	0,134
				Acidificação	0,133
				Eutrofização	0,133
		Danos à saúde humana	0,4	Oxidação fotoquímica	0,2
				Destruição da camada de ozônio	0,2

Tabela 2 - Estrutura hierárquica para a avaliação ambiental.

Análise Econômica

Para a avaliação econômica levou-se em conta apenas o preço ao consumidor do balcão entregue e montado, pois as empresas não permitiram divulgar seus custos. Como esta Categoria possui apenas um indicador, seu peso é igual a 1 (Tabela 3).

CATEGORIA	PESO	SUB-CATEGORIA	PESO	INDICADOR	PESO
Econômica	1	Custo	1	Preço de venda	1

Tabela 3 - Estrutura hierárquica para a avaliação econômica.

Análise Social

A análise social foi realizada com a ajuda da metodologia Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV). Para isso, considerou-se que empresa é a unidade fundamental do sistema de ciclo de vida do produto e não o processo, assim o inventário tem foco na conduta da empresa e na forma como esta organiza e gera seu negócio (DREYER, HAUSCHILD e SCHIERBECK, 2005; JØRGENSEN et al., 2008).

Sendo assim, as empresas foram avaliada em como se relacionam com os stakeholders, que podem ter cinco categorias principais: (1) trabalhadores/empregados; (2) comunidade local; (3) sociedade (nacional e global); (4) consumidores; e, (5) outros atores da cadeia de valor (ONGs, autoridades públicas e estatais e as gerações futuras etc.) (UNEP-SETAC, 2009). Cada stakeholder foi avaliado por meio de indicadores.

Estes indicadores, como não são padronizados, podem variar amplamente dependendo de quem está realizando a avaliação. Assim tomou-se como base os indicadores da UNEP-SETAC (2009) para a criação de dois questionários: um para o setor de Relações Humanas e outro para os trabalhadores da produção. Estes questionários não são apresentados neste trabalho, apenas a estrutura hierárquica com seus devidos pesos estão condensados na Tabela 4 e os resultados em parte da Tabela 6. na Tabela 4 e os resultados em parte da Tabela 6.

Para o emprego do Método de Apoio Multicritério à Decisão, os indicadores da Categoria Econômica foram agrupados nas cinco Sub-categorias que representam os stakeholders envolvidos. Nesta avaliação, considerou-se todos os indicadores com o mesmo peso (0,05) por entender-se que é muito difícil de priorizar a importância relativa dos 20 indicadores analisados.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SETOR LEIRO

CATEGORIA	PESO	SUB-CATEGORIA	PESO	INDICADOR	PESO		
Social	1	Trabalhadores	0,55	Trabalho infantil	0,05		
				Horas extras	0,05		
				Saúde e segurança	0,05		
				Proteção à maternidade (creche)	0,05		
				Liberdade de associação	0,05		
				Igualdade de oportunidade	0,05		
				Salário justo	0,05		
				Benefícios sociais	0,05		
				Refeitório	0,05		
				Treinamento interno	0,05		
		Governo	0,2			Pesquisa de clima organizacional	0,05
						Licenças comerciais e ambientais	0,05
						Descrição do trabalho e instruções de operação	0,05
						Indicadores externos (impostos)	0,05
		Consumidores	0,1			Incentivos fiscais	0,05
						Serviço de assistência ao consumidor	0,05
		Fornecedores	0,05			Mecanismos de retroalimentação	0,05
						Relacionamento com fornecedores	0,05
Comunidade Local	0,1			Emprego local	0,05		
				Engajamento da comunidade	0,05		

Tabela 4 - Estrutura hierárquica para a avaliação social.

Análise Tecnológica

O desempenho técnico dos produtos fabricados pelas empresas SE e ME deve ser o mesmo ou muito próximo para que a se possa ter uma base de comparação entre eles. O Método adotado para coleta de informações foi os dados que as empresas consideravam como diferenciais técnicos de seus produtos. O tempo de vida útil e a classe social, para a qual é destinado o produto (Tabela 5), foram os dois indicadores escolhidos por se apresentarem como diferenciais (juntamente como o preço de venda), frente aos demais concorrentes desse mesmo setor, ou seja, sempre que se perguntava a outras empresas do mesmo setor - qual o diferencial de seu produto frente aos concorrentes? - foi respondido: tempo de vida, classe social (foco de venda) e preço de venda. Aqui também se considerou os dois indicadores com o mesmo peso.

CATEGORIA	PESO	SUB-CATEGORIA	PESO	INDICADOR	PESO
Tecnológico	1	Características	1	Tempo de vida	0,5
				Camada social	0,5

Tabela 5 - Estrutura hierárquica para a avaliação tecnológica.

Método de Apoio Multicritério à Decisão (MCDA)

A utilização de uma metodologia multicritério fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas de forma a capacitá-lo a avançar na solução de problemas de decisão, onde estes diversos pontos de vista e critérios devem ser considerados (HALOG e MANIK, 2011).

Esta utilização se justifica por considerar, simultaneamente, critérios quantitativos, semi quantitativos e qualitativos em sua análise, ao mesmo tempo em que incorpora a experiência e a preferência

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO

dos tomadores de decisão, uma vez que muitas características são subjetivas, o que torna difícil sua mensuração exata.

O Apoio Multicritério à Decisão é capaz de integrar juízos normativos (por exemplo, opinião dos stakeholders), juntamente com conhecimentos técnicos (por exemplo, os dados quantitativos), em um quadro único de decisão (JANERO, 2011).

Os métodos da família PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) se propõem a construir uma relação de sobre classificação (outranking) para representar as preferências dos decisores e resolver a problemática de ordenação. Foi desenvolvido para tratar de problemas multicritério onde o conjunto de alternativas possíveis é finito (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).

O princípio básico dos métodos de sobre classificação é que se uma alternativa apresenta um desempenho maior que outra na maioria dos critérios e não apresenta um desempenho fortemente menor em outro, será a preferida. Além disso, esse método considera que pequenas diferenças nas avaliações das alternativas nem sempre significam um impacto significativo para o decisor (GONÇALVES e BELDERRAIN, 2011).

O método PROMETHEE II se vale do cálculo do fluxo líquido que representa o balanço entre o poder e fraqueza da alternativa analisada. Quanto maior for o fluxo líquido, melhor será a alternativa. Desta forma, o método fornece uma pré-ordem completa influenciada pelos pesos alocados aos critérios, assim como possibilita captar de forma mais verdadeira as diferenças de percepção do decisor nas avaliações das alternativas, além de não permitir uma compensação ilimitada de grandes vantagens entre as alternativas (BRANS e MARESCHAL, 2005).

Além do MCDA utilizou-se da forma gráfica porque a mesma tem a função de expressar visualmente dados ou valores numéricos, de maneiras diferentes, com o intuito de tornar mais fácil a compreensão dos mesmos. Quando se utiliza de indicadores com seus

respectivos valores, estes devem ser normalizados para expor os resultados, visto que existem diferentes pesos para os vários indicadores das quatro categorias analisadas e, por isso, todos os gráficos (das Subcategorias) possuem um peso máximo de 5 (melhor opção) (FINKBEINER et al., 2010 e TRAVERSO et al., 2012).

Para a avaliação e discussão de resultados foi utilizado o software PROMETHEE II cujo resultado é apresentado no item a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medições executadas e das análises realizadas segundo os indicadores são apresentados na Tabela 6.

A aplicação do método PROMETHEE II, tendo como alternativas os valores encontrados na Tabela 6 e com os pesos e critérios das Tabelas 2, 3, 4 e 5, apresentou que a empresa que expressa um melhor desempenho relacionado à sustentabilidade para este estudo de caso foi a ME (35,24%), frente a SE (17,50%), como mostra a Tabela 7.

ALTERNATIVAS	SE	ME
PROMETHEE II Ranking (adimensional)	(-) 0,1774	0,1774
Pontuação (%)	17,50	35,24

Tabela 7 - Resultados segundo PROMETHEE II Ranking.

A Figura 5 ilustra o desempenho segundo as Sub-categorias de impacto Custo e Características dentro de suas respectivas Categorias (Econômica e Tecnológica). Observa-se que a empresa ME apresenta um menor Custo por utilizar uma menor quantidade de materiais: MDF mais fino para fundos (Masonite), uma menor quantidade de cola hot melt e um menor consumo de energia elétrica relativo, porque sua produção é bem maior e as máquinas estão sempre em funcionamento. Estes mesmos fatores provocam um menor desempenho da Sub-categoria Características pois seu produto apresenta uma avaliação relativamente “menos resistente” que o produto da empresa SE.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO



Figura 5 - Desempenho das Sub-categorias de impacto: Custo (a) e Características (b).

CATEGORIAS	SUB-CATEGORIAS	INDICADORES	UNIDADES	EMPRESA		
				SE	ME	
Econômica	Custo	Preço de venda	Reais	1.700	1.100	
Tecnológica		Tempo de vida	Anos	Acima de 15	até 15	
		Social Stratum	renda mensal familiar	A-B	B-C	
	Ambiental	Danos à disponibilidade de recursos	Consumo de recursos minerais	kg antimonio eq	0,000416	0,000413
Consumo de biomassa			kg	129	127	
Consumo de água doce			m ³	1,43	1,26	
Consumo de energia não renovável			MJ	1.550	1.360	
Consumo de energia renovável			MJ	803	752	
Danos aos ecossistemas		Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	77,8	70,5	
		Acidificação	kg SO ₂ eq	0,302	0,290	
		Eutrofização	kg PO ₄ eq	0,0475	0,0439	
Danos à saúde humana		Oxidação fotoquímica	kg etileno eq	0,0376	0,0263	
		Destruição da camada de ozônio	kg	0,00000648	0,00000643	
Social	Trabalhadores	Trabalho infantil	adimensional	não	não	
		Horas extras	adimensional	não	sim	
		Saúde e segurança	adimensional	não	não	
		Proteção à maternidade (creche)	adimensional	não	sim	
		Liberdade de associação	adimensional	sim	sim	
		Igualdade de oportunidade	adimensional	sim	não	
		Salário justo	adimensional	sim	sim	
		Benefícios sociais	adimensional	não	sim	
		Refeitório	adimensional	sim	sim	
		Treinamento interno	adimensional	sim	sim	
	Governos	Pesquisa de clima organizacional	adimensional	não	não	
		Licenças comerciais e ambientais	adimensional	sim	sim	
		Descrição do trabalho e instruções de operação	adimensional	não	sim	
		Indicadores externos (impostos)	adimensional	sim	sim	
		Incentivos fiscais	adimensional	não	sim	
		Consumidores	Serviço de assistência ao consumidor (SAC)	adimensional	não	não
			Mecanismos de retroalimentação	adimensional	sim	sim
		Fornecedores	Relacionamento com fornecedores	adimensional	sim	sim
		Comunidade Local	Emprego local	adimensional	sim	não
			Engajamento da comunidade	adimensional	sim	sim

Tabela 6 - Resultados do desempenho das empresas (SE e ME) frente aos indicadores.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE DUAS EMPRESAS DO SETOR MOVELEIRO

Os mesmos dados e informações apresentados na Figura 5, basicamente a menor quantidade de materiais utilizados, também provocam um menor impacto ambiental na produção do balcão de cozinha na empresa ME, nas três Sub-categorias analisadas (Figura 6a). Sendo os dois fatores mais significativos na diferença entre os desempenhos na Categoria Ambiental das empresas são a menor quantidade de cola hot melt pela empresa ME e por esta fazer uso de plástico bolha na embalagem do seu produto enquanto a empresa SE utiliza uma maior quantidade de hot met (3 vezes maior) e embala seus produtos com filme plástico liso (também em quantidade 3 vezes maior).

Quanto ao desempenho da Categoria Social a principal diferença está na Sub-categoria Comunidade Local porque a empresa SE se encontra em uma cidade menor, assim seus funcionários moram relativamente

mais perto que os funcionários da empresa ME. Percebe-se que ambas empresas podem melhorar em muito seus desempenhos nas Sub-categorias Trabalhadores, Governo e Consumidores (Figura 6b).

Finalmente na Figura 7 os resultados parciais (por Sub-categorias) são condensados perante os aspectos da sustentabilidade considerados (Categorias de impacto).

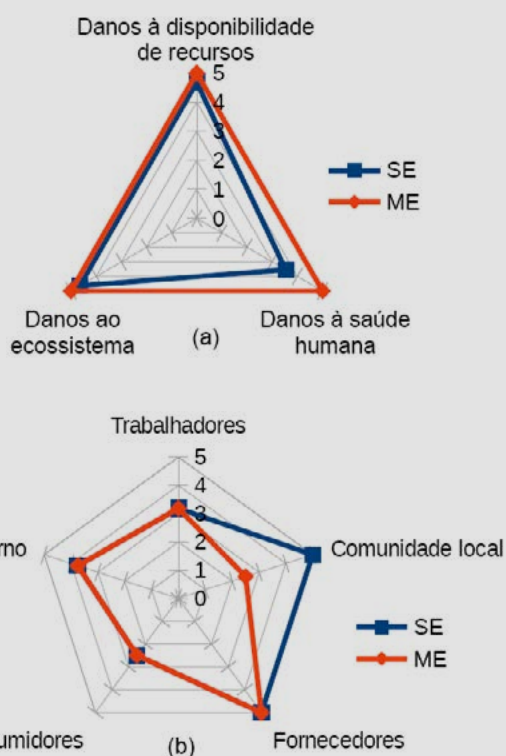


Figura 6 - Desempenho das Sub-categorias de impacto relacionadas às Categorias Ambiental (a) e Social (b).

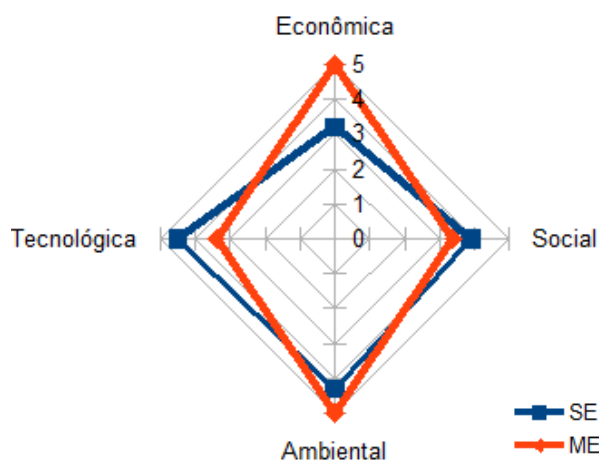


Figura 7 - Desempenho das Categorias: Econômica, Ambiental, Social e Tecnológica.

Como explicado a empresa ME apresenta um melhor desempenho nas Categorias Econômica e Ambiental e a empresa SE nas Categorias Tecnológica e Social.

CONCLUSÕES

A análise da sustentabilidade das duas empresas do setor moveleiro mostra que as mesmas podem incorporar requisitos de sustentabilidade para melhorar seus produtos. A empresa ME pode focar no desenvolvimento da Categoria Social promovendo melhoras nos Indicadores: horas extras (contratar mais trabalhadores); saúde e segurança (buscar mais informações/treinamentos para reduzir os acidentes de trabalho); igualdade de oportunidade (não privilegiar a contratação de homens); pesquisa de clima organizacional (procurar obter informações sobre a satisfação de seus funcionários); e, serviço

de atendimento ao consumidor (possibilitar um novo canal de comunicação com seus clientes). Isto resulta num dado intangível que valoriza o colaborador da empresa.

Por sua vez a empresa SE pode promover mais mudanças para melhorar seu desempenho quanto à sustentabilidade, como nos Indicadores da Categoria Social: saúde e segurança (buscar mais informações/treinamentos para reduzir os acidentes de trabalho); proteção à maternidade (possibilitar um local para que as crianças de seus funcionários possam ficar/estudar); benefício social (buscar principalmente convênios médicos); pesquisa de clima organizacional (procurar obter informações sobre a satisfação de seus funcionários); descrição do trabalho e instruções de operação (faz parte da legislação trabalhista); e, serviço de atendimento ao consumidor (possibilitar um novo canal de comunicação com seus clientes). Assim como na Categoria Ambiental, procurando diminuir a quantidade de cola hot melt e promovendo mudanças na embalagem de seus produtos, como por exemplo a substituição do filme plástico liso por plástico bolha, além de não fazer a pré-montagem, deixando para fazer no cliente a montagem, pois essas duas mudanças promoveriam uma quantidade menor de embalagens. Estas duas mudanças possivelmente poderiam também trazer uma melhoria na Categoria Econômica, levando em conta que essa menor quantidade de material reduziria um pouco os custos de produção, que refletiria no Indicador preço de venda.

Esta avaliação demonstra que utilizar aspectos de sustentabilidade para qualificar o processo e produtos fabricados pode indicar mudanças que promovem a redução de consumo e mostrar acertos e erros operacionais num todo, levando ao equilíbrio dos aspectos avaliados para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

Conceito e Indicadores. III Congresso Virtual Brasileiro de Administração (CONVIBRA). 20p. 2006.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Promethee Methods. in Figueira, J., Greco, S &, Ehrgott, M. (eds.). Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys. International Series in Operations Research. Management Science 78. Springer, New York, 163-196. 2005.

DREYER, L.C.; HAUSCHILD, M.Z.; SCHIERBECK, J. A framework for social life cycle impact assessment. International Journal of LCA, 11(2), 88-97, 2006.

FAVARETTO S.; BRUCK, S. Novo Valor - Sustentabilidade nas empresas. São Paulo: BM&FBOVESPA, 48p. 2010.

FINKBEINER, M. et al. Towards Life Cycle Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2, 2010.

GOEDKOOPE, M., et. al. ReCiPe 2008. 2013. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net>>

GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.C.G. & CARIGNANO, C. Tomada de Decisões em Cenários Complexos - Introdução aos métodos discretos de apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GONÇALVES, T.J.M.; BELDERRAIN, M.C.N. Decisão em Grupo com PROMETHEE GDSS e GAIA: Priorização de Subsistemas no Projeto do Satélite ITA-SAT. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), Ubatuba, v.1. ago. 2011.

HALOG, A.; MANIK, Y. Advancing Integrated Systems Modelling Framework for Life Cycle Sustainability Assessment. *Sustainability* 3, 469-499, 2011.

JANEIRO, L. Towards a Methodology for the Sustainability Assessment of Technologies: Integration of Environmental, Social and Economic Indicators. 67p. Master in Sustainable Development - Faculty of Geosciences, Universiteit Utrecht, Germany, 2011.

JØRGENSEN, A. et al. Methodologies for Social Life Cycle Assessment. *International Journal of LCA*, 13(2), 96-103, 2008.

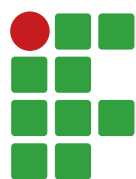
KLÖPFFER, W. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. *International Journal of LCA*, 13(2), 89-95, 2008.

MAZUR, L.; MILES, L. Conversas com os mestres da sustentabilidade. São Paulo: Ed. Gente, 2010.

NALDESI, L.; BUTTOL P.; MASONI, P.; MISCEO, M.; SÀRA, B. eVerdEE: A web-based screening life cycle assessment tool for European small and medium-sized enterprises. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. v. 5583, 171-178, October 2004.

TRAVERSO, M. et al. Life Cycle Sustainability Dashboard. Journal of Industrial Ecology, 16, 680-688, 2012.

United Nations Environmental Programme/Society of Environmental Toxicology and Chemistry (UNEP-SETAC). Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on products. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Paris: UNEP, 106p. 2011.



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Reitoria: Rua 14 de Julho, nº150, Coqueiros.
CEP: 88075-010 - Florianópolis, Santa Catarina - Brasil.