



ANÁLISE DE RISCOS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE PALMA

Matheus Patrício Scarponi

Monografia em Engenharia Química

Orientador

Prof. Carlos André Vaz Junior, D. Sc.

Janeiro de 2018

ANÁLISE DE RISCOS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE PALMA

Matheus Patrício Scarponi

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico

Aprovado por:

Orientado por:

Carlos André Vaz Junior, D. SC.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Janeiro de 2018

Scarponi, Matheus Patrício.

Análise de riscos na produção de biocombustível de palma/ Matheus Patrício Scarponi. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

iv, 70 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.
Orientador: Carlos André Vaz Junior.

1. Biocombustível. 2. Palma. 3. Segurança de Processos. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Junior. I. Análise de riscos na produção de biocombustível de palma.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

ANÁLISE DE RISCOS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE PALMA

Matheus Patrício Scarponi

Janeiro, 2018

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Junior, D. Sc.

A busca por combustíveis renováveis se apresenta com uma tendência crescente devido a preocupações de cunho econômico e ambiental relacionadas ao uso do petróleo. Dentre os combustíveis renováveis o biodiesel apresenta-se como uma alternativa de ampla utilização cuja produção tem apresentado aumentos constantes. Apesar da pluralidade de possíveis matérias primas para a produção de biocombustíveis ainda se observa uma concentração do mercado na soja. Estudos avaliam a viabilidade técnica e econômica da produção baseada em outras matérias primas, adequadas as condições de produção locais em diversas regiões do planeta. Esse estudo teve por objetivo realizar uma análise dos riscos associados à produção do biodiesel e àqueles presentes na produção de óleo de palma (que pode ser usado como matéria prima para obtenção do biodiesel), devido ao elevado potencial produtivo que o dendê (fonte desse óleo) apresenta para essa indústria. A análise foi realizada através da metodologia de Análise Preliminar de Riscos (APR) tanto de uma unidade produtora de biodiesel quanto de uma unidade processadora de dendê. Com base nos resultados dessa análise concluiu-se que os riscos associados à obtenção do óleo são menores do que os associados ao processo de produção do biodiesel. Além disso, foram identificadas as etapas do processo de produção do biodiesel que representam os maiores riscos e que, portanto, devem ser foco prioritário de medidas preventivas e de gerenciamento de risco da unidade. Por fim observou-se que a utilização de dendê como matéria prima propicia menores riscos no processo de obtenção do óleo quando comparado a outras oleaginosas.

Índice

Capítulo I – Biodiesel	1
I.1-Definição	1
I.2-Histórico	1
I.3-Estrutura de leilões e benefícios sociais associados ao biodiesel	6
I.4-Principais matérias primas	9
I.5-Potencial produtivo das diversas matérias primas	12
I.6-Escopo e Objetivos	14
I.7-O dendê	16
I.8-Preparo da matéria prima.....	17
I.9-Etapa reacional	19
I.10-Separação e purificação dos produtos	20
Capítulo II - Metodologias de Análise de Risco	22
II.1-Definição de Análise de Risco.....	22
II.2-Metodologias Qualitativas	25
II.2.1-HAZOP	25
II.2.2-APR.....	26
II.2.2.1-Categorias de Severidade.....	28
II.2.2.2-Categorias de Frequência	30
Capítulo III - Análise de risco	31
III.1-Etapas do processo genérico.....	31
III.1.1-Transesterificação	32
III.1.2-Purificação do biodiesel	36
III.1.3-Refino do biodiesel purificado	38
III.1.4-Purificação do glicerol	40
III.1.5-Purificação da oleína.....	44
III.1.6-Purificação do metanol.....	46
III.2-Riscos específicos associados ao uso do óleo de palma.....	47
III.3-Rotas metílicas e rotas etílicas.....	49
Capítulo IV - Resultados da Análise	51
IV.1-Cenários da unidade de transesterificação.....	51
IV.2-Cenários da unidade de purificação do biodiesel	52
IV.3-Cenários da unidade de refino do biodiesel purificado	53
IV.4-Cenários da unidade de purificação do glicerol	54
IV.5-Cenários da unidade de purificação da oleína.....	55
IV.6-Cenários da unidade de purificação do metanol.....	56
IV.7-Cenários da produção de óleo de palma	57
IV.8-Avaliação geral	58
Capítulo V - Conclusões	60
Referências Bibliográficas	63

Capítulo I – Biodiesel

I.1 – Definição

De acordo com a lei nº 11.097/2005, através da qual o biodiesel é incluído à política energética nacional, este combustível é definido como:

“ -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 parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. ”

Essa mesma lei atribui à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a responsabilidade de regular e autorizar as atividades relacionadas com a produção, estocagem, distribuição e revenda de combustíveis renováveis.

I.2- Histórico

Durante a segunda metade do século XX, o interesse por fontes alternativas de energia aumentou devido à instabilidade do suprimento de petróleo causada por tensões geopolíticas no Oriente Médio, elevação dos custos de prospecção e extração do óleo e aumento do impacto ambiental gerado por fontes não renováveis de energia. A diversificação da matriz energética mundial se tornou interessante para diversas nações, e os biocombustíveis (entre eles o biodiesel) se tornaram objeto de pesquisa [SHAY, 1993].

O primeiro relato do que hoje se denomina biodiesel encontra-se em uma patente Belga de 1937 (patente número 422.877), concedida ao pesquisador Charles Chavanne da Universidade de Bruxelas. Nesta, foi relatada a utilização

de ésteres etílicos obtidos do óleo de palma por transesterificação em meio ácido (embora outros óleos vegetais e ésteres metílicos também tenham sido mencionados). Estes ésteres foram ali descritos como um combustível análogo ao diesel de petróleo. Porém, o termo biodiesel foi publicado pela primeira vez em um trabalho chinês de 1988, sendo posteriormente utilizado em um artigo de 1991, momento a partir do qual se tornou de uso comum [KNOTHE, 2006].

No Brasil o estudo de combustíveis alternativos ocorre desde a década de 1920. O primeiro biodiesel descoberto no país foi fruto de uma pesquisa realizada em meados da década de 1970 na Universidade Federal do Ceará. Já a primeira patente brasileira relacionada ao assunto é de autoria do professor Expedito Parente, relativa à produção de biodiesel e de querosene vegetal de aviação [LIMA, 2005].

Com o envolvimento de outras instituições de pesquisas, assim como da Petrobrás e do Ministério da Aeronáutica, foi criado o PRODIESEL em 1980. Em 1983, o Governo Federal, motivado pela alta nos preços de petróleo, lançou o Programa de Óleos Vegetais - OVEG, responsável por testar, em diversos veículos, a utilização de biodiesel puro e misturas combustíveis de biodiesel com diesel tradicional [LIMA, 2005].

Atualmente o biodiesel é utilizado como combustível, não em sua forma pura, mas sobre a forma de uma mistura com o diesel de origem fóssil. Existem diversas motivações para utilização dessa mistura em detrimento dos biocombustíveis em sua forma pura. O biodiesel puro apresenta inviabilidades tanto técnicas quanto econômicas à sua utilização na forma pura. Tecnicamente, algumas experiências comprovaram que em sua forma pura ou mesmo em grandes teores, o biodiesel provoca ao longo do tempo problemas nos internos dos motores e nos reservatórios dos veículos e tanques de estocagem. Economicamente, os altos custos associados à matéria prima tornam o biocombustível mais caro do que o diesel de petróleo, mesmo quando em oferta abundante [KNOTHE et al, 2006], tornando inviável sua comercialização.

Em contrapartida a crescente relevância do biodiesel no Brasil é dada, não só pela crescente tendência global da busca de ampliação da matriz energética renovável, mas também pela obrigação legal de mistura de frações de biodiesel ao diesel fóssil.

Em 2004 foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) que tem como objetivo, segundo o governo federal, implementar de forma sustentável, técnica e economicamente viável, a produção e uso do biodiesel no país. O PNPB apresenta, também, ênfase na inclusão social e desenvolvimento regional, através de geração de empregos no campo. No início de 2005, a lei nº 11.097 tornou obrigatória a adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) passou a denominar-se Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e tornou-se o órgão responsável pela regulação e fiscalização do produto, além do seu transporte, estocagem, importação, exportação, distribuição, revenda e comercialização [MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017].

Através dessa lei, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, pautado inicialmente na soja, uma cultura já bem desenvolvida na agroindústria do país. Figurando entre os líderes mundiais na produção do grão, a soja ainda se apresenta como a principal fonte utilizada para produção de biodiesel no Brasil.

O biocombustível está presente nos postos de abastecimento em misturas com o diesel mineral. Essas composições são conhecidas como “fator B” ou BX, onde “B” provem da palavra *blend* (termo em inglês que significa mistura) e X representa o percentual volumétrico de biodiesel em diesel.

Portanto, quanto maior o “fator B”, maior é a quantidade de biodiesel presente na mistura. Destaca-se que até o diesel B20, em que a mistura consiste em 20% de biodiesel e 80% de diesel mineral, os motores atuais não

necessitam de modificações mecânicas. Acima desta composição, segundo pesquisas, pode ocorrer perda de desempenho e problemas relativos à manutenção caso não haja modificação [BERARDINELLI E D'AVILA, 2011].

A mistura contendo biodiesel foi inicialmente implementada como B2, ou seja, com fração de biodiesel de 2%. Desde então, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) determinou aumentos graduais dessa fração, sendo esta atualmente de 8% com previsão de aumento para 10% até março de 2019 [Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017] Com esse aumento da fração obrigatória de biodiesel no combustível, ocorreu crescimento do volume de produção deste biocombustível, indo de 69 mil m³ em 2006 para quase 4 milhões de m³ em 2016 (figura 1)

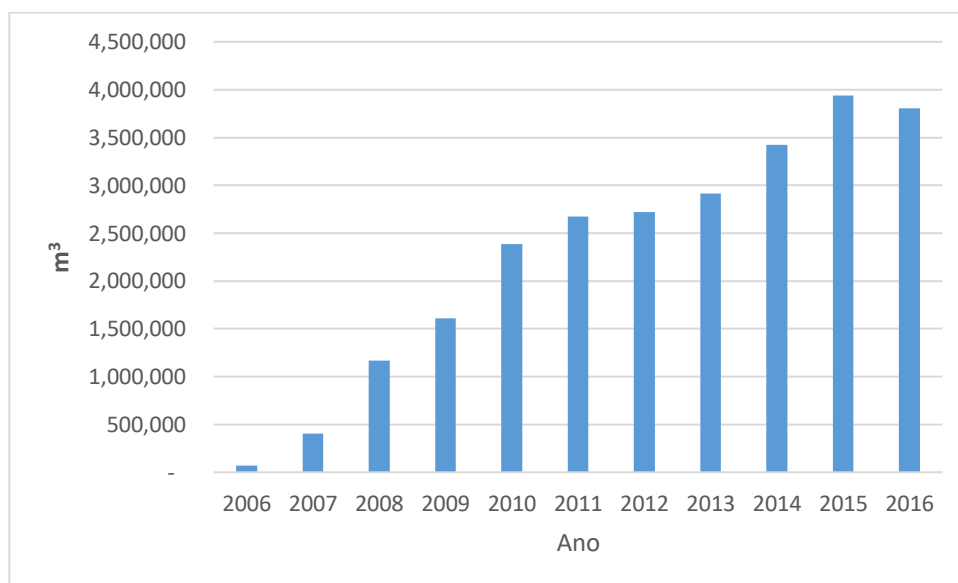


Figura 1: evolução da produção em de biodiesel puro no Brasil no período de 2006 a 2016. Fonte: Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017

Atualmente existem 51 usinas autorizadas para a produção de biodiesel no Brasil, com capacidade total autorizada para operação pela ANP de 20.930,81 m³/dia (figura 2). As regiões sul e centro-oeste são as maiores produtoras, apresentando capacidades superiores a 8 mil m³/dia, e o maior número de usinas com 14 e 23 unidades em operação, respectivamente.



Plantas de Biodiesel Autorizadas para Operação

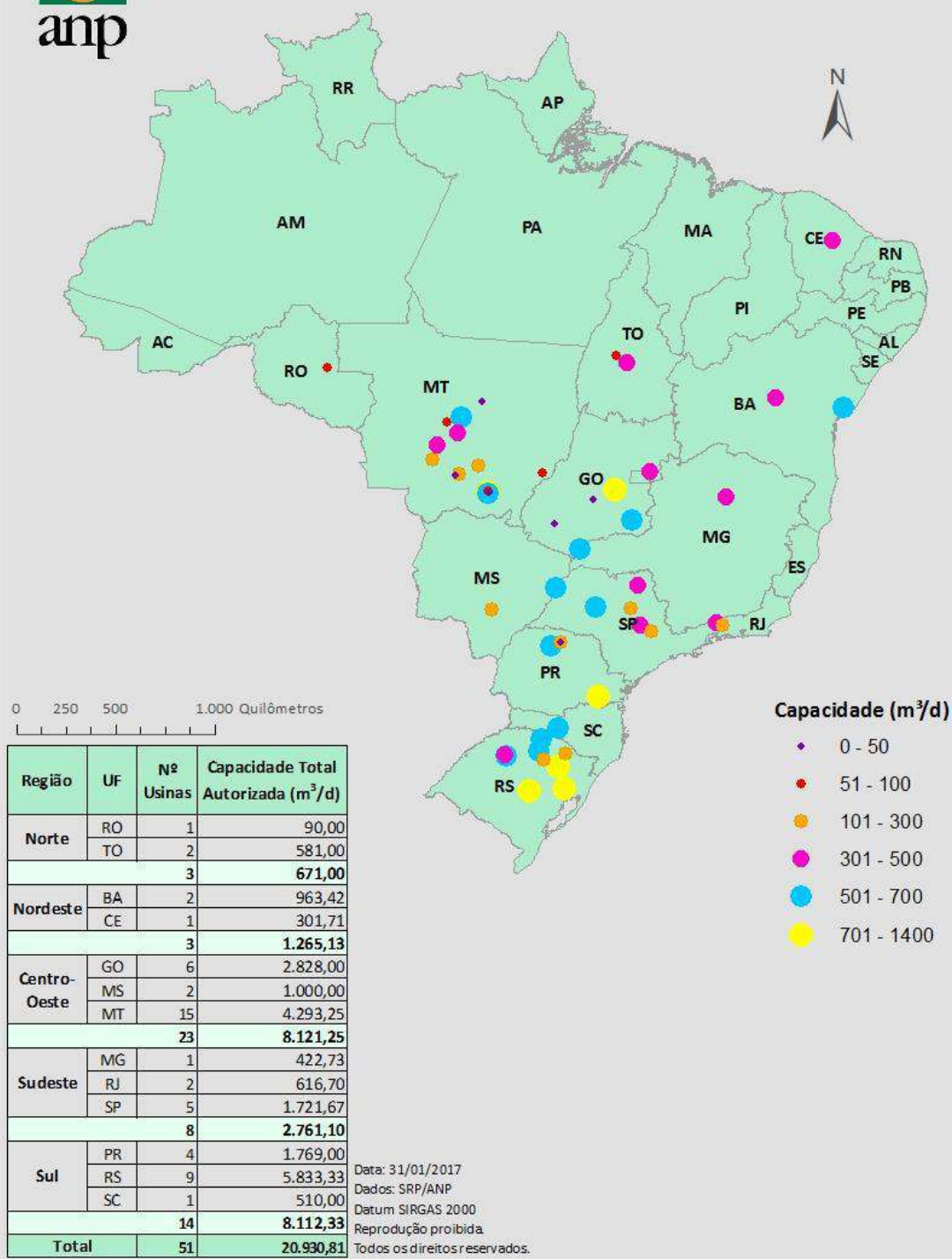


Figura 2: Distribuição das usinas autorizadas para produção de biodiesel no território brasileiro. Fonte Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017

I.3-Estrutura de leilões e benefícios sociais associados ao biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) apresenta, entre suas diretrizes, ênfase, não apenas no desenvolvimento econômico sustentável, mas na inclusão social e desenvolvimento regional. A criação do Selo Social apresenta-se como a principal medida relacionada a essa faceta do programa.

O Selo Social, ou Selo Combustível Social, é uma identificação concedida pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) aos produtores de biodiesel que promovam a inclusão social e o desenvolvimento regional, por meio da geração de emprego e de renda aos agricultores familiares inscritos no Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF). Com este selo, para as usinas poderem participar dos leilões e terem prioridade para vender o biodiesel ao governo, precisam dar suporte técnico e adquirir da agricultura familiar. Pelo menos 50% das matérias-primas necessárias à sua produção de biodiesel, devem ser provenientes de agricultura familiar caso estas sejam provenientes do Nordeste e semiárido. Nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste este percentual mínimo é de 30% e na região Norte e Centro-Oeste é de 10% [CAMPOS E CARMÉLIO, 2006].

Cunha (2012), em sua tese sobre indicadores socioeconômicos e ambientais para o biodiesel, considera que pela estrutura produtiva da soja ser mais desenvolvida tecnologicamente, os agricultores familiares da região sul são os mais atraentes para os produtores (menor investimento exigido) e conseqüentemente os mais beneficiados. Os pequenos produtores do Nordeste, com práticas de cultivo de subsistência e baixíssimo uso de tecnologia tornam-se, segundo Cunha(2012), menos atraentes. Quando se fala em termos de criação de empregos, a situação se torna complexa. O mesmo pesquisador lembra que, por mais que haja expansão da área de cultivo, a contribuição da soja não seria expressiva em termos de empregos, visto justamente ser um setor altamente mecanizado e automatizado.

Entretanto, não é apenas da soja que se pode produzir biodiesel. Com relação ao dendê, por exemplo, observa-se maior criação de empregos, empregando uma família a cada dez hectares, o que, embora positivo em termos de geração de emprego, representa alto custo para a empresa, que precisa preparar tecnicamente o agricultor para o cultivo[ROCHA, 2011].

De acordo com o diretor de geração de renda e agregação de valor do Ministério do Desenvolvimento Agrário, agricultores cujas plantações de palma já atingiram sua maturidade, têm alcançado rendas mensais de R\$ 2 mil. Um grande contraste com os R\$ 415 mensais que o ministério levantou entre os trabalhadores rurais do nordeste do Pará. Ou seja, apesar dos altos custos associados à implantação do negócio, pode se tornar um interessante gerador de renda, garantido pelo bom mercado das oleaginosas e/ ou pelo possível futuro mercado do biodiesel[RODRIGUES, 2011].

O biodiesel é comercializado através de uma estrutura de leilões. Os leilões reúnem os produtores e os compradores de biodiesel, sendo a Petrobras a principal compradora. A ANP estipula a quantidade a ser comprada pelos produtores de diesel mineral, o preço máximo do biodiesel a ser vendido e o prazo de entrega, que hoje está fixado em três meses. O preço do leilão está referenciado na porta do produtor e não para o consumidor final. Os ganhadores dos leilões são aqueles que ofertarem os menores preços associados a um determinado volume. A dinâmica dos leilões evita a formação de assimetria de informação e com isso, o comprador sempre estará adquirindo o biodiesel pelo menor preço em cada lote leiloadado. Para o produtor apresenta-se como vantagem o fato de que o frete com transporte do biodiesel fica a cargo do comprador.

Desde 2008, os leilões são coordenados em dois lotes: o primeiro, no qual 80% da demanda por biodiesel é suprida pelas usinas que realizam contrato de fornecimento com agricultores familiares, sendo, portanto, detentoras do Selo Combustível Social; e o segundo lote corresponde aos

demais 20% da demanda, no qual participam tanto usinas portadoras do Selo quanto as que não possuem o certificado.

Existe uma discussão entre os agentes do setor sobre a necessidade dos leilões da ANP. Alguns defendem o fim dos leilões alegando que o melhor seria uma solução de mercado livre em que os produtores e compradores fechariam contratos bilaterais privados, determinando os preços, volume, prazos de entrega e outras condições sem a interferência da ANP. Dessa forma a ANP teria o papel de apenas fiscalizar a qualidade do biodiesel e se o diesel comercializado contempla o percentual de biodiesel determinado por lei. Porém, nesse contexto, a Petrobras sendo praticamente a única compradora e produtora de biodiesel, esta poderia sempre garantir mercado para as suas plantas e de seus parceiros, independentemente de seus custos.

Já a corrente que defende a continuidade dos leilões da ANP afirma que o mecanismo de leilões: garante a igualdade na disputa entre os pequenos e grandes produtores de biodiesel; minimiza a assimetria de informações entre os agentes, uma vez que os lances são abertos; fornece um ambiente competitivo a fim de permitir os menores preços para os consumidores; facilita a fiscalização do cumprimento do percentual de mistura; garante a participação da agricultura familiar no fornecimento de matéria-prima com a exigência do Selo Social [DIAS et al, 2012]. Entretanto, a existência de apenas um meio para o comércio do combustível prejudica a competitividade do mercado, o que poderia levar a preços mais elevados.

A produção de combustíveis renováveis a partir de matéria vegetal leva ainda a discussões com relação à segurança alimentar. Com o biodiesel sendo produzido a partir de fontes que também atendem a indústria alimentícia isso se acentua. A expansão da produção de biocombustíveis é acompanhada pela necessidade de um aumento na utilização de terras para este fim, o que faz surgir questionamentos a respeito de desmatamento de florestas preservadas e quanto ao desvio de produção de alimentos para atender o mercado de biocombustíveis.

A diversidade de condições climáticas e geográficas, assim como a grande extensão territorial, tornam esse problema menos acentuado no Brasil quando comparado a outras regiões do mundo. O território brasileiro permite maior diversidade de culturas e menor superposição das áreas ideais para cada tipo de cultivo.

I.4-Principais matérias primas

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais e gordura animal. Existem diferentes espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser usadas. Entre elas estão a mamona, dendê, canola, girassol, amendoim, soja e algodão. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e gordura suína, também podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel [MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017].

Uma breve descrição de algumas dessas fontes de acordo com análise feita por BERGMANN *et al.* (2013), é apresentada a seguir:

- Coco de dendê é uma cultura perene, produzida no norte do estado da Bahia e no estado do Pará. Dentre os óleos vegetais, o óleo de dendê é o principal candidato para a produção de biodiesel no Brasil no futuro devido a sua alta produtividade de óleo. No entanto, o país ainda precisa ser autossuficiente em sua produção. Atualmente é necessário importar. Melhorias na gestão das culturas precisam ser feitas.
- Pinhão-mansão é uma cultura perene, tolerante a pouca água. É produzido nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Maranhão, Rio de Janeiro e Tocantins. Os agricultores brasileiros já demonstraram interesse nesse tipo de cultura para a produção de biodiesel por causa do teor de óleo no núcleo das sementes (de aproximadamente 38%). No entanto, a falta de conhecimento técnico

sobre o cultivo leva à baixa produtividade, pois não se tem conhecimento de como controlar as pragas.

- Coco é uma cultura perene, encontrada entre os estados de Bahia e Rio Grande do Norte. A principal razão para o coco ter se tornado um candidato para a produção de biodiesel é o seu alto teor de óleo (58-65%). No entanto, são necessários altos investimentos para aumentar a produção de coco no Brasil viabilizando seu uso como matéria-prima para o biodiesel industrial.
- Babaçu é uma cultura perene, originária do sudeste da Amazônia e atualmente produzido nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Pará. Possui alto teor de óleo em seu interior (aproximadamente 60%). O conhecimento de gestão dessa cultura é pequeno, com um custo alto de extração de óleo, pois é feito de forma manual.
- Girassol é uma cultura anual, porém não consiste em uma das principais culturas brasileiras. Compete com a soja e o milho que são plantados no mesmo período do ano. A principal área de cultivo do país é a região central, com a grande parte da produção destinada para ração de pássaros, e muito pouco para a produção do biodiesel.
- Óleo de canola é a matéria-prima de maior destaque mundial para a produção de biodiesel. A cultura de canola tem se expandido desde 2005 no sudeste do Brasil, quando a Embrapa desenvolveu culturas híbridas resistentes às pragas. No Brasil a produção deste óleo atualmente é destinada a indústria alimentícia, e seu uso para o biodiesel é praticamente nulo. No entanto, o governo brasileiro tem encorajado a inserção da cultura em outras regiões, como no centro-oeste, sendo uma alternativa para a soja.
- Soja é uma cultura anual e sua semente possui em torno de 18-21% de óleo. Em 2011 o Brasil foi o segundo maior produtor mundial dessa

cultura que é cultivada no centro-oeste, nordeste e sul do Brasil. O Brasil é o terceiro maior exportador de soja. O principal problema em ter a soja como fonte de matéria-prima para o biodiesel é o seu baixo teor de óleo se comparado com outras sementes.

- Mamona é uma cultura anual, introduzida pelos portugueses no Nordeste do Brasil. Possui uma ampla aplicação na indústria química e de cosméticos. Tem sido considerada para a produção de biodiesel, pois é resistente à seca e bem adaptada ao clima semiárido. Apesar de algumas propriedades químicas do óleo de mamona não serem favoráveis para a produção do biodiesel, pois torna a separação do glicerol formado com o biodiesel dificultada, a Petrobrás, em 2009, anunciou que tinha estabelecido essa produção.
- Algodão é uma cultura anual e no Brasil é produzida nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, São Paulo e Paraná. É considerada uma boa opção para a produção do biodiesel devido ao seu preço baixo. Atualmente é a terceira matéria-prima mais empregada, somente atrás da soja e do sebo animal.
- Amendoim é uma cultura perene, e se encontra nas regiões sudeste, sul, centro-oeste e nordeste. São Paulo é o estado com a maior produção. O teor de óleo encontrado é de 40-60% e foi a matéria prima do primeiro biodiesel, desenvolvido por Rudolph Diesel.
- Entre as gorduras animais que podem ser aplicadas no processo de produção do biodiesel destacam-se o sebo bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó e a banha de porco. Essas gorduras apresentam estruturas químicas semelhantes às dos óleos vegetais. No entanto, um dos principais obstáculos ao uso de gordura animal na fabricação de biodiesel é o entupimento do motor, pois quando a temperatura do ambiente diminui, o combustível fica mais viscoso devido à precipitação da gordura. Atualmente, para evitar esse problema, usa-se o biodiesel

de sebo bovino misturado ao de soja. O emprego de aditivos também pode ser feito.

O sebo bovino é, segundo dados da ANP, a segunda fonte de matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel, estando somente atrás da soja. Os óleos e gorduras residuais também podem ser utilizados como matéria-prima. Eles podem ser provenientes de lanchonetes e cozinhas industriais, indústrias onde ocorre a fritura de produtos alimentícios, esgotos municipais onde o sobrenadante é rico em matéria graxa etc.

I.5-Potencial produtivo das diversas matérias primas

A Embrapa realizou um estudo em 2003, avaliando o potencial de cultivo de oleaginosas por região, apontando as culturas mais adequadas as características de cada região. Foram indicadas a mamona para a região nordeste, a soja para as regiões sul, sudeste e centro-oeste, e a palma para o norte, devido ao regime de chuvas e ao clima quente e úmido (figura 3).

No Brasil a produção de biodiesel é majoritariamente realizada a partir de óleo de soja, entretanto tem se observado um crescimento da participação de outras fontes. Comparando a distribuição por matéria prima da produção de biodiesel em dezembro 2008 (figura 4) e dezembro de 2016 (figura 5), disponíveis nos boletins mensais do biodiesel disponibilizados pela ANP, é possível observar um aumento na diversidade de fontes utilizadas [Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017].



Figura 3: Distribuição ideal para a cultura de oleaginosas no Brasil de acordo com as características de cada região. Fonte: [Ferreira,2003]

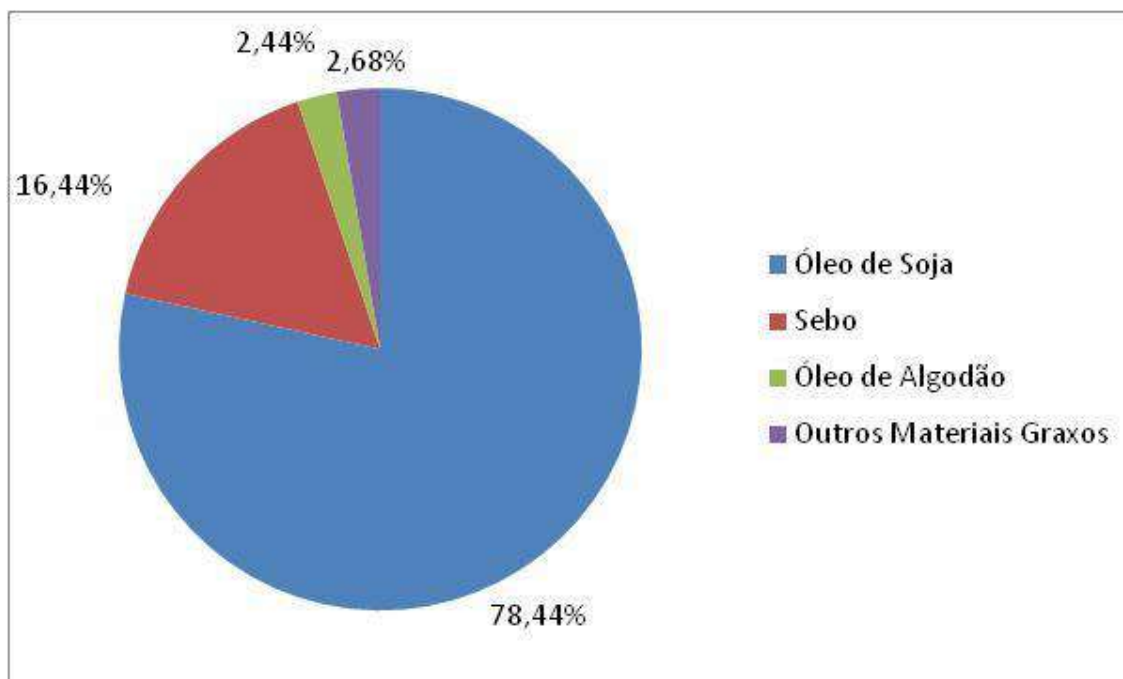


Figura 4: distribuição da produção de biodiesel por matéria prima em dezembro de 2008.
 Fonte: relatório mensal do biodiesel da ANP de janeiro de 2009

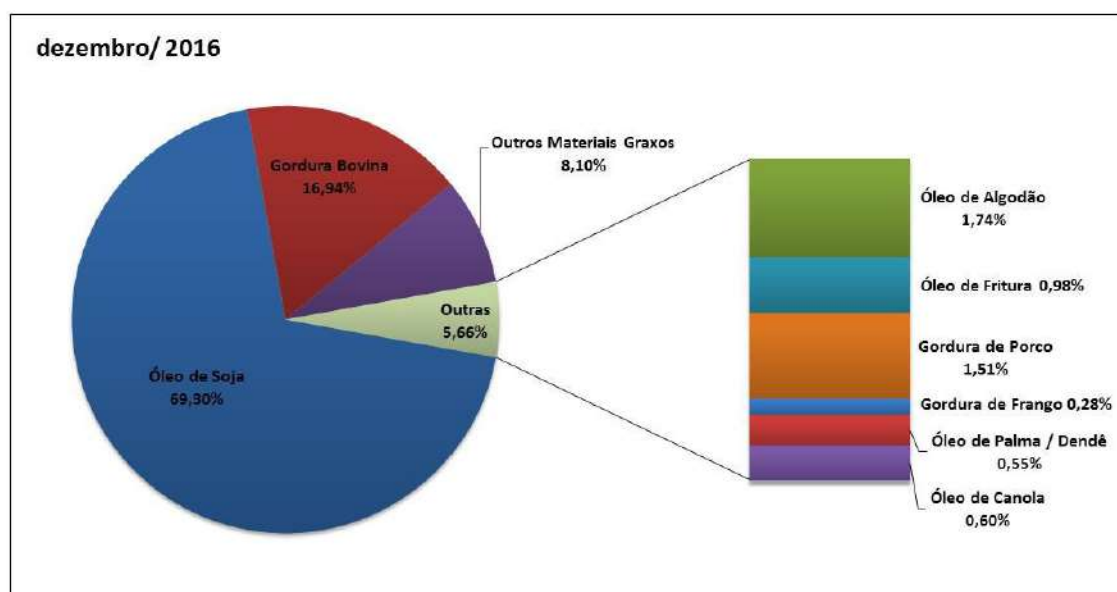


Figura 5: distribuição da produção de biodiesel por matéria prima em dezembro de 2016.
 Fonte: relatório mensal do biodiesel da ANP de janeiro de 2017

I.6-Escopo e Objetivos

Neste trabalho foi realizado um estudo de segurança do processo de produção de biodiesel e uma análise com foco no uso do dendê como matéria

prima. O dendê foi escolhido pois o óleo de palma, também chamado de óleo de dendê (sendo o dendê o fruto do qual é extraído o óleo da palma), é uma matéria prima subutilizada para a produção do biodiesel, apesar de apresentar potencial de produtividade de óleo por hectare de plantação superior ao da soja[Ministério de Desenvolvimento Agrário, 2007].

A produção do biodiesel é realizada em três etapas: preparo da matéria prima, reação e separação, e purificação do produto. Uma representação simplificada deste processo produtivo é dada na figura 6 a seguir.

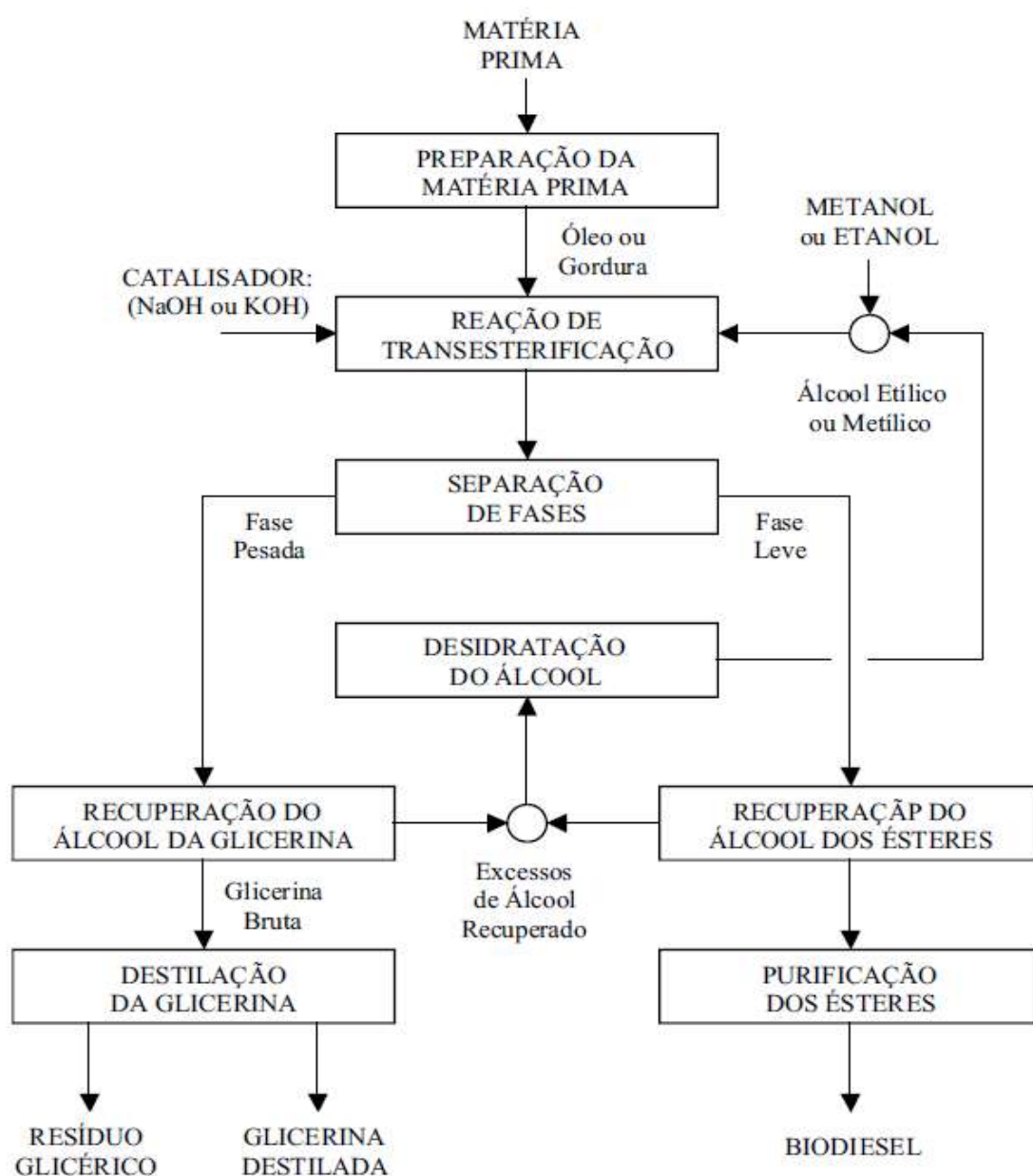


Figura 6: Fluxograma do processo de produção do biodiesel. Fonte: PARENTE, 2003

Neste trabalho, o processo de preparo de matéria prima avaliado foi aquele específico ao uso do dendê, enquanto os processos de reação e separação avaliados são aplicáveis a uma pluralidade de matérias primas.

Características do dendê e as principais etapas do processo estão descritas nos itens seguintes.

I.7-O dendê

O dendezeiro é uma planta originária da África, introduzida no Brasil por escravos africanos durante o período colonial. Existem duas espécies que se destacam. O dendezeiro africano (*Elaeis Guineensis*), mais comum na produção industrial, pode alcançar uma altura de 25m. O dendezeiro amazônico (*Elaeis oleífera*), mais comum na América do Sul, apresenta menor produtividade de óleo, mas maiores teores de ácidos graxos insaturados e resistência a doenças[CASTRO, 2011].

A palma tem como características alta produtividade, alta capacidade de fixação de carbono e proteção à erosão do solo, sendo uma interessante alternativa para utilização em áreas desmatadas[CÂMARA E HEIFFING, 2006].

O cultivo da palma é perene, com produção de frutos iniciando no terceiro ou quarto ano de plantio, aumentando gradativamente até obter a produtividade máxima que ocorre entre o sétimo e o vigésimo ano de plantio, decaindo até o 25º ou 30º ano[CARVALHO, 2012]

As condições que possibilitam uma produção de dendê ideal são: uma distribuição de chuvas regular durante todo o ano alcançando um valor total ao redor de 2000 mm/ano; incidência de radiação solar bem distribuída ao longo do ano; temperatura média em torno de 25°C; umidade relativa entre 75% e 90%; solo profundo, plano e com boa drenagem, evitando solos muito arenosos e argilosos[HARTLEY,1988]. Dadas essas condições a Embrapa identificou a região norte do Brasil é como ideal para o cultivo.

A palma apresenta teor de óleo relativamente baixo, porém por ser uma cultura perene e ter um alto índice de produção de cachos, é possível se obter números muito elevados de produtividade e um dos melhores retornos financeiros devido ao alto índice de produção de óleo por hectare [Ministério de Desenvolvimento Agrário, 2007].

I.8-Preparo da matéria prima

Nesta etapa ocorre a extração do óleo de dendê dos frutos. A etapa pode ser dividida em: esterilização, prensagem e filtração. O processo é representado na figura 7. O processo é detalhado por DIAZ (2012).

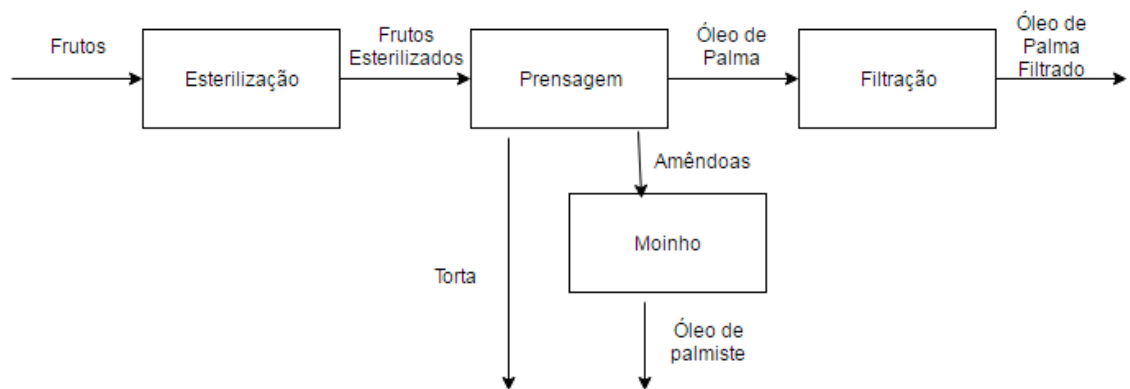


Figura 7: Fluxograma da produção de óleo de palma a partir do dendê. Autoria própria baseado em DIAZ, 2012

Os cachos de frutos frescos que foram colhidos e encaminhados para a planta de extração, passam por uma etapa de esterilização antes de alcançar a etapa de prensagem. Essa etapa de esterilização tem como finalidade a eliminação de enzimas responsáveis pelo aumento da fermentação dos frutos, amolecer a polpa, soltar os frutos dos cachos e facilitar a separação da casca. A esterilização acontece em um vaso com temperatura e pressões controladas de 135°C e 2,5 a 3 atmosferas respectivamente. Os cachos de frutos frescos permanecem no interior desse vaso durante aproximadamente 1 hora.

Após a esterilização os frutos seguem para a prensagem, processo mecânico realizado sobre os frutos, em que uma prensa contínua extrai o óleo

de palma do mesocarpo do fruto. No final desse processo retira-se o produto principal, o óleo de palma, mas também há produção de subprodutos, como a torta e o óleo de palmiste, proveniente da amêndoa do dendê.

A parte sólida proveniente do processo da prensagem é separada entre torta e amêndoas. As amêndoas são encaminhadas para um moinho quebrador, no qual há remoção das cascas seguida de quebra das amêndoas, que são laminadas e processadas para produção do óleo de palmiste.

A torta pode ser usada para ração animal ou como insumo para queima em fornos. Já o óleo de palmiste é um produto muito utilizado na indústria farmacêutica, sendo a expressão “subproduto” pouco utilizada, já que esse óleo permite retornos financeiros consideráveis apesar de sua baixa produção quando comparado com o óleo de palma. O óleo de palmiste pode ser considerado um coproduto da produção de óleo de palma.

Após a prensagem dos frutos, o óleo de palma segue para filtração, para a remoção de resíduos da torta ou da amêndoa que possam ter sido carregados junto com óleo. Os resíduos que forem filtrados retornam para o processo de prensagem e o óleo de palma livre de impurezas segue para o armazenamento. O óleo de dendê é armazenado em tanque com temperaturas fixadas a 50°C, com o propósito de evitar a solidificação dos componentes mais densos.

Em contrapartida aos frutos frescos, o óleo de palma não apresenta potencial de acidificação nem para oxidação, o que possibilita sua estocagem por períodos mais longos, assim como o transporte por longas distancias.

No processo de produção do óleo de dendê a extratora tem que ficar disposta próxima à plantação, isso se deve a rápida acidificação dos frutos. Os cachos de frutos frescos devem seguir para a planta de extração em no máximo 72 horas.

Do ponto de vista químico, a obtenção do óleo vegetal se dá através da retirada dos triglicerídeos do interior das células das oleaginosas. No caso do óleo de palma a extração acontece de forma mecânica, por meio de prensas, acarretando em um menor custo de produção de óleo, se comparada com algumas oleaginosas, como a soja, amendoim e algodão, que precisam passar por processo químico de extração do óleo através de solventes.

I.9-Etapa reacional

O biodiesel é produzido a partir da transesterificação de triglicerídeos (em meio ácido ou alcalino) ou esterificação de ácidos graxos. A produção pode ocorrer catalisada em meio homogêneo ou heterogêneo, por biocatálise ou pirólise[RAMOS 2011].

A transesterificação é a rota mais utilizada para a produção de biodiesel. Nela ocorre a reação de um mol de triaglicerol com três mols de um álcool de cadeia curta (usualmente metanol ou etanol). A reação ocorre na presença de catalizador e produz 3 mols de éster e 1 de glicerol. É utilizado excesso de álcool durante a produção (proporções 6:1 ou 12:1 de álcool para óleo) de forma a aumentar a produção de ésteres e reduzir a formação de sabões [CORDEIRO *et al* 2011]. A imagem a seguir (figura 8) exemplifica essa reação.

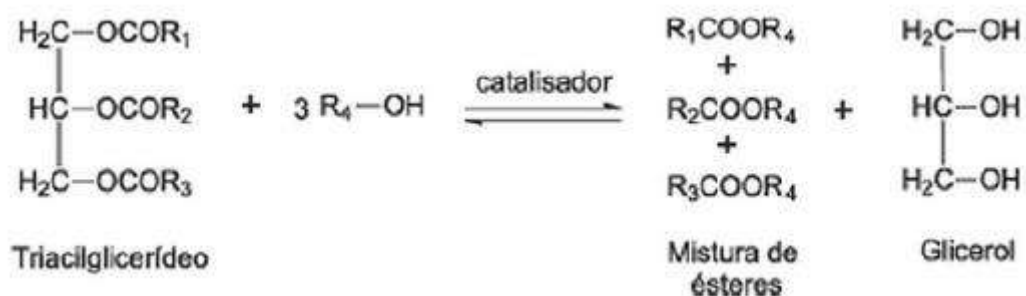


Figura 8: Reação de transesterificação de um triacilglicerídeo. Fonte: GERIS et al, 2007

Já a rota de obtenção pela esterificação de ácidos graxos está associada a processos híbridos de produção devido ao alto valor agregado dos ácidos

graxos usados como matéria prima. A reação ocorre entre 1 mol de ácido e 1 de álcool.

Industrialmente a transesterificação em meio alcalino e com catalise homogênea é a mais utilizada. Os catalizadores mais comuns nesses processos são alcóxidos metálicos produzidos através da dissolução de hidróxido de sódio ou potássio no próprio álcool a ser utilizado na reação.

Essa rota é, entretanto, sensível à presença de ácidos graxos livres no meio reacional, não sendo adequado a uso em processos que usem materiais graxos alternativos, como os óleos vegetais brutos, borras de refino e óleos utilizados em frituras. Para contornar esse problema são utilizados processos híbridos como esterificação seguida da transesterificação, a esterificação simultaneamente à transesterificação (ambos podendo ser realizados em meio homogêneo) ou a hidrólise seguida de esterificação (ou hidroesterificação) [RAMOS 2011].

I.10-Separação e purificação dos produtos

Após a etapa reacional ocorre a formação de dois produtos de valor comercial: glicerina e uma mistura de ésteres, além de haver excesso de álcool não reagido.

Devido à baixa miscibilidade das fases, a separação da glicerina e dos ésteres pode ser realizada por decantação ou centrifugação. A fase mais leve, rica em ésteres, apresenta ainda altos teores de álcool e outras impurezas e deve ser purificada antes de ser utilizada como biodiesel. A fase mais pesada é rica em glicerina e contém água, álcool e outras impurezas.

A purificação da glicerina bruta obtida, pode ser realizada por evaporação, de modo a eliminar água e álcool residuais, que são compostos mais voláteis. O vapor de álcool é recuperado através de condensação. A glicerina obtida possui baixo grau de pureza, mas já constitui um produto com

valor de mercado. Para obter um melhor preço, é necessária destilação a vácuo, levando a produção de glicerina destilada.

Para purificar a mistura de ésteres o excesso de álcool pode ser removido por evaporação, recuperando os vapores em um condensador apropriado. O processo seguinte, que adequa o biodiesel às normas determinadas na resolução ANP Nº 45 DE 25/08/2014 o tornando apto a comercialização, é a lavagem por centrifugação seguida de evaporação.

Um processo alternativo para a separação da mistura de ésteres com glicerol, álcool residual, catalisador e outras impurezas é a extração líquido-líquido, evitando assim que os ésteres e o glicerol sejam expostos a temperaturas elevadas nas quais poderiam sofrer decomposição térmica [ZHANG et al, 2003].

Para a reutilização dos álcoois recuperados nos processos de purificação da glicerina e dos ésteres na etapa reacional é necessária sua desidratação devido ao fato de apresentarem elevados teores de água em sua composição. Se o álcool empregado for metanol, basta uma destilação simples para realizar a separação. No entanto, se o álcool utilizado for o etanol, ocorre o fenômeno da azeotropia sendo a destilação simples incapaz de remover suficientemente a água presente.

Capítulo II - Metodologias de Análise de Risco

II.1 - Definição de Análise de Risco

Com o desenvolvimento tecnológico, a complexidade e escala dos processos industriais se apresentam crescentes. Associados a esse crescimento estão os riscos operacionais, de modo que a segurança dos processos deve ser um aspecto significativo a ser observado ao se projetar e operar uma planta industrial. [Brown, 1998]

A análise de riscos se apresenta como uma forma de evitar acidentes, minimizando impactos sociais, ambientais e econômicos. [Jorgensen et al., 2010]. Riscos são definidos em função da frequência e severidade de cenários acidentais, e uma análise de riscos busca prever a possível ocorrência de tais cenários e propor possíveis modificações no processo e contramedidas para reduzir sua probabilidade de ocorrência ou seu impacto. [Farber, 1992].

Existem diversas metodologias possíveis para avaliar riscos, podendo ser análises qualitativas ou quantitativas, mas de forma geral essas análises seguem uma mesma estrutura básica comum [CIn/UFPE]. A figura abaixo (figura 9) demonstra os procedimentos adotados durante a análise de risco de um processo industrial.

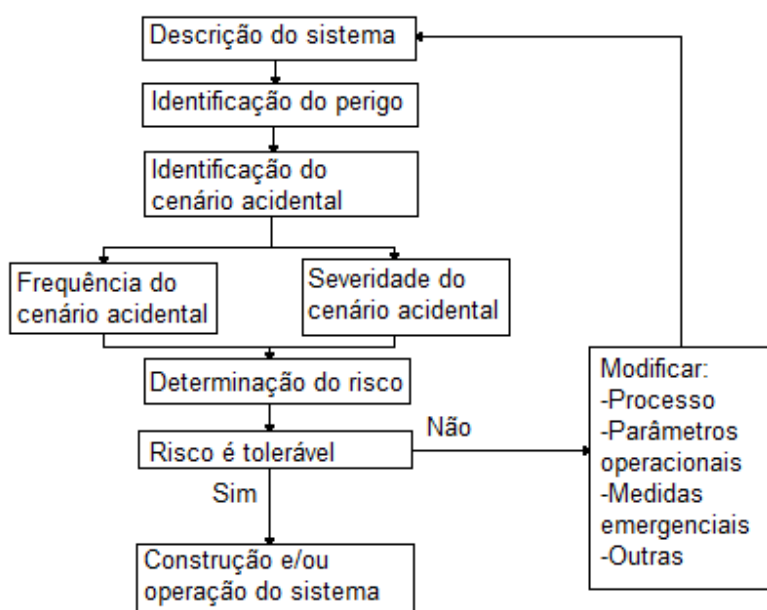


Figura 9: Diagrama de um procedimento de análise de risco de um processo. Autoria própria com base em SUTTON IAN, 2011

O primeiro passo para a análise de risco de um processo é a descrição deste. O nível de detalhamento necessário nessa descrição varia com o tipo de análise a ser realizada, mas é necessário conhecimento dos equipamentos, sua disposição e suas condições operacionais, assim como das características dos insumos e matérias primas utilizados assim como dos produtos gerados [AIChE, 2008].

Com base nessas informações é realizada uma análise dos perigos presentes no processo e dos cenários acidentais críveis aos quais estes podem levar. Com base na frequência e severidade desses cenários são determinados os riscos e sua relevância. O detalhamento de como essa análise é feita varia de acordo com a metodologia de análise de risco e será descrito adiante.

Listados os riscos é necessário determinar sua aceitabilidade ou tolerância. Esse parâmetro varia para cada processo e empresa, mas é pautado no estabelecimento de um limite de tolerância para os riscos como exemplificado na imagem abaixo (figura 10). Riscos podem ser classificados em 3 regiões: região aceitável na qual riscos são desprezíveis, devendo apenas

atentar-se para que estes se mantenham nessa região; região intolerável, na qual, aquém de circunstâncias excepcionais, a presença desses riscos não pode ser justificada e modificações devem ser feitas ao processo; e região de ALARP (*As Low as Reasonably Practicable Risk*), em que os riscos são aceitos na condição de que a redução é impraticável técnica ou economicamente. [Sutton Ian 2011]

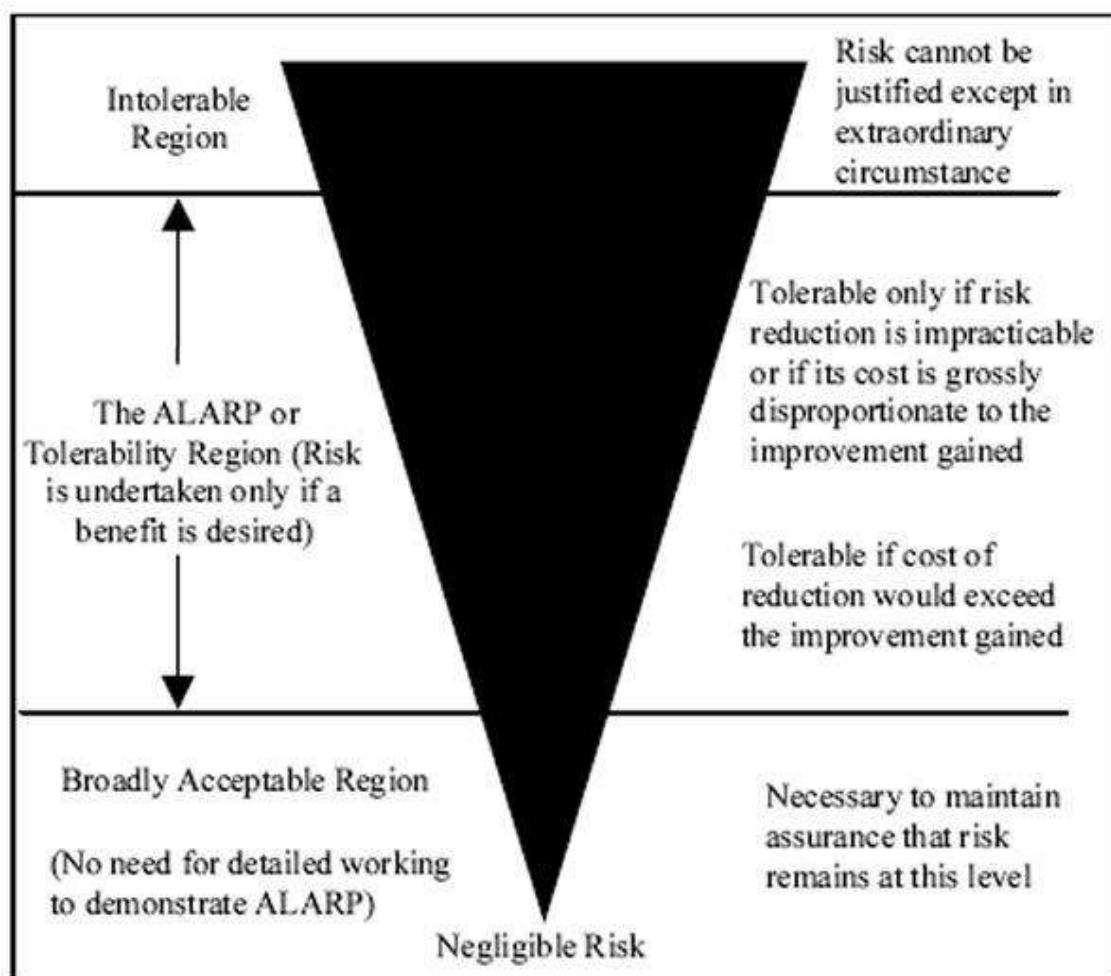


Figura 10: Análise ALARP de limite de tolerância de risco. [SUTTON IAN, 2011]

As medidas para redução de risco podem ser adotadas em dois âmbitos: redução de sua severidade ou de sua frequência. A redução de severidade pode ser alcançada com redução de inventário, modificação da disposição de equipamentos, proposição de medidas de remediação ou modificações no processo como mudanças na rota de produção ou condições operacionais. A redução de frequência pode ser obtida através de medidas como manutenção

regular dos equipamentos, adição de barreiras de proteção, com redundâncias de equipamentos, etc.

II.2-Metodologias Qualitativas

Metodologias de análise de risco qualitativas são análises subjetivas que são adequadas para um levantamento inicial dos cenários acidentais. Devido à sua subjetividade existe grande influência da experiência profissional daquele que realiza a análise e, portanto, a sua elaboração de modo conjunto com um grupo de profissionais qualificados é necessária para obtenção de resultados mais satisfatórios [CIn/UFPE].

A partir da análise qualitativa é possível definir os cenários críticos ou catastróficos. Estes cenários podem ser estudados com maior profundidade, fazendo uso de metodologias de análise de risco quantitativas.

Os diferentes métodos de análise qualitativa permitem estudos com diferentes níveis de complexidade, permitindo à empresa escolher uma que se alinhe aos seus interesses [FARBER, 1992]. Duas metodologias serão exemplificadas: HAZOP (*Hazards and Operability*) e APR (Análise Preliminar de Riscos).

II.2.1-HAZOP

HAZOP é uma metodologia que tem como intuito identificar possíveis perigos causados por desvios da intenção de projeto, ou seja, mudanças nas condições originais de projeto. A análise é realizada dividindo uma planta, setor ou equipamento de uma indústria em trechos (nós) e avaliando como cada nó pode se desviar da intenção de projeto, observando causas e consequências desses desvios e propondo recomendações para que tais desvios não ocorram. A complexidade do HAZOP está associada ao número de nós que devem ser avaliados para se caracterizar o processo. Para a análise de um nó são

utilizadas palavras guia para avaliar as variáveis de projeto presentes neste [AMORIM].

Palavras guia são termos que representam os desvios mais comuns que podem estar associados às variáveis de projeto em um sistema industrial. Dentre elas destacam-se: Nenhum: negação da intenção de projeto no parâmetro de processo, Mais: acréscimo quantitativo no parâmetro de processo, Menos: decréscimo quantitativo no parâmetro de processo, Reverso: parâmetro em sentido oposto. Em parte: decréscimo qualitativo no parâmetro de processo. Também: acréscimo qualitativo no parâmetro de processo, Outro: substituição do parâmetro (outra reação, outro componente, contaminante), Antes: etapa de um processo sequencial iniciada antes do tempo em processos batelada, Depois: etapa de um processo sequencial iniciada depois do tempo em processos batelada [KLETZ, 1997].

Para cada parâmetro de processo, ou seja, cada variável de projeto presente em um nó, é necessário avaliar quais palavras guia são relevantes. Então, para cada desvio, são determinadas causas, consequências, medidas de proteção ou métodos de detecção, assim como recomendações para evitar que ocorram [DUNJÓ et al., 2010].

II.2.2-APR

A Análise Preliminar de Riscos é uma metodologia qualitativa relativamente simples, se aproximando de um *brainstorm*, e, portanto, é muito utilizada na fase de concepção e desenvolvimento de plantas de processos para identificação dos principais perigos e áreas de risco de uma unidade. Muitas vezes o APR precede análises mais complexas [DE CICCO E FANTAZZINI, 2003]. Dessa forma, a APR é adequada para os objetivos desse trabalho visto que a análise realizada é de um processo industrial genérico e não de uma planta real em operação. Neste caso é impossível avaliar potenciais desvios (HAZOP).

Na realização de um APR são listados perigos associados a diversos elementos do processo, entre eles: matérias primas, produtos intermediários e finais e sua reatividade; equipamentos de processo; interface entre componentes; ambiente operacional; operações (teste, manutenção, procedimentos de emergência); instalações e equipamentos de segurança. [AMORIM].

Ao se realizar esta análise é elaborada uma planilha, como exemplificado abaixo (figura 12).

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		

Figura 12: Modelo de uma planilha APR. Fonte [AMORIM]

Na primeira coluna são listados os potenciais cenários acidentais identificados para o processo. Na segunda as possíveis causas, ou fatores contribuintes, do cenário avaliado, com os possíveis efeitos da ocorrência desse cenário sendo listados na terceira coluna. Exemplos de causas podem ser erro humano, falha mecânica, manutenção inadequada, entre outras. Por outro lado, efeitos variam desde liberação de material tóxico ou inflamável em diversas escalas, até incêndios e explosões.

As categorias de frequência e severidade utilizam escalas que devem ser definidas na análise em questão, havendo propostas por diversos autores, dentre as quais: a de Nolan (2008) e de Cardella (1999) estão detalhadas nesse

trabalho. Com base nessas escalas é determinada uma categoria de risco através do uso de uma “matriz de riscos”.

Uma matriz de riscos é composta associando-se de forma crescente as diferentes classificações de severidade às colunas e as classificações de frequência às linhas. As combinações de cada classe de severidade e de frequência recebem então uma classificação de risco, sendo os eventos com classificações de risco mais severas alvo de estudos mais detalhados[AMORIM]. Um exemplo de uma matriz de risco é detalhado a seguir (figura 13).

Matriz de Risco		Severidade					Resposta ao Risco	
		1	2	3	4	5		
Frequência	5	C	C	D	E	E	A	Não é necessária realização de novos estudos
	4	B	C	C	D	E	B	Determinar a viabilidade e relação custo benefício de medidas para redução do risco
	3	B	B	C	D	D	C	Determinar viabilidade e implementar medidas que permitam redução do risco
	2	A	B	C	C	D	D	Necessidade de realização de análise quantitativa para avaliação dos riscos
	1	A	A	B	C	D	E	Realização de estudos e implementação obrigatória de medidas para a redução do risco

Figura 13: Exemplo de uma matriz de risco. Autoria própria com base em Nolan 2008

II.2.2.1-Categorias de Severidade

Para a classificação da severidade de um evento são analisados registros de casos semelhantes ocorridos no passado, assim como a visão e compreensão dos profissionais envolvidos na análise de risco. Para classificar a severidade desse evento devem ser consideradas as escalas dos danos quanto a sua característica ambiental, econômica e social. A seguir são apresentadas as tabelas de classificação de severidade de: Nolan (2008) (figura 14) e Cardella (1999) (figura 15).

Classe	Descrição
1	Pequenos ferimentos nos trabalhadores, sem afastamentos. Danos as instalações menores que o valor base estipulado pela empresa. Pequeno impacto ambiental (Não necessita remediação). Perdas de produção menores que um valor base estipulado pela empresa. Sem impacto para áreas externas à empresa. Não causa distúrbio à população. Não gera interesse na mídia
2	Lesões com afastamento nos trabalhadores. Danos à propriedade superando até 20 vezes o valor base estipulado pela empresa. Moderado impacto ambiental (remediação em até uma semana). Perda de produção de até 20 vezes o valor base estipulado pela empresa. Pequeno distúrbio na população vizinha (odor, ruído). Possível reação negativa da população. Possível interesse da mídia.
3	Lesão permanente em trabalhadores, possível fatalidade. Danos à propriedade superando até 50 vezes o valor base estipulado pela empresa. Significativo impacto ambiental (remediação em até um mês). Perda de produção de até 50 vezes o valor base estipulado pela empresa. Médio distúrbio na população vizinha (pode necessitar atendimento). Reação negativa da população. Interesse da mídia local.
4	Uma fatalidade ou até 4 empregados com lesão permanente. Danos à propriedade superando até 200 vezes o valor base estipulado pela empresa. Severo impacto ambiental (remediação em até 6 meses). Perda de produção de até 200 vezes o valor base estipulado pela empresa. Significante distúrbio na população vizinha (danos à propriedades, lesões ou doenças temporárias). Intensa reação negativa da população. Interesse da mídia nacional.
5	Múltiplas fatalidades ou lesões permanentes. Danos à propriedade superando 200 vezes o valor base estipulado pela empresa. Extenso impacto ambiental (remediação por mais de 6 meses). Perda de produção de 200 vezes o valor base estipulado pela empresa. Severo distúrbio na população vizinha (danos à propriedades, fatalidades ou lesões permanentes). Severa reação negativa da população, ameaçando a continuidade das operações. Interesse da mídia internacional.

Figura 14: Classificações de severidade com base em Nolan (2008)

Categoria	Denominação	Descrição/características
I	Desprezível	- Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; - Não ocorrem lesões/mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ou pessoas (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	Marginal	- Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ou de baixo custo de reparo); - Lesões leves em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade.
III	Crítica	- Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; - Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte); - Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe.
IV	Catastrófica	- Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível); - Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviços ou em membros da comunidade).

Figura 15: Classificações de severidade por Cardella (1999)

II.2.2.2-Categorias de Frequência

A classificação da frequência de um evento é determinada com base em dados históricos de eventos semelhantes, testes de equipamentos, etc. A seguir são apresentadas as tabelas de classificação de frequência de dois autores: Nolan (2008)(figura 16) e Cardella (1999) (figura 17)

Classe	Descrição
1	Frequência: nunca até 1 em 1.000.000 anos. Não ocorre na vida útil do processo e não exige relato ou suspeita de já ter ocorrido em algum instante, em algum lugar (em qualquer empresa do mesmo ramo)
2	Frequência: 1 em 1.000.000 anos até 1 em 10.000 anos. Eventos como esse são pouco prováveis de ocorrer, mas existe relato histórico de já ter ocorrido em algum instante, em algum lugar (em qualquer empresa do mesmo ramo)
3	Frequência: 1 em 10.000 anos até 1 em 1.000 anos. É possível de ocorrer em algum local (em qualquer empresa do mesmo ramo) durante a vida útil da planta
4	Frequência: 1 em 1.000 anos até 1 em 100 anos. É quase certo de ocorrer em algum local da empresa durante a vida útil da planta(não necessariamente na planta em estudo).
5	Frequência: 1 em 100 anos ou mais. Já ocorreu em algum lugar da empresa, ou é provável de ocorrer na própria planta em estudo.

Figura 16: Classificação de frequência com base em Nolan (2008)

Categoria	Denominação	Faixa de frequência anual	
A	Extremamente remota	$f < 10^{-4}$	Possível, mas improvável de ocorrer durante a vida útil do processo e instalação
B	Remota	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não se espera que ocorra durante a vida útil do processo/ instalação
C	Improvável	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável que ocorra durante a vida útil do processo/ instalação
D	Provável	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/instalação
E	Frequente	$f > 10^{-1}$	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/ instalação

Figura 17: Classificação de probabilidade por Cardella (1999)

Capítulo III - Análise de risco

O processo de produção de biodiesel é semelhante para as diversas matérias primas utilizadas. Dessa forma, a análise de risco aqui proposta foi realizada em duas partes: a primeira parte trata de uma análise de risco de um processo genérico, considerando equipamentos, reagentes e condições operacionais; a segunda é uma análise das especificidades a se atentar ao utilizar o dendê como matéria prima. As classificações de severidade e probabilidade utilizadas foram as propostas por Nolan (2008), as quais foram apresentadas nas figuras 14 e 16, respectivamente. A matriz de risco utilizada é apresentada na figura 18.

Matriz de Risco		Severidade					Resposta ao Risco	
		1	2	3	4	5		
Frequência	5	C	C	D	E	E	A	Não é necessária realização de novos estudos
	4	B	C	C	D	E	B	Determinar a viabilidade e relação custo benefício de medidas para redução do risco
	3	B	B	C	D	D	C	Determinar viabilidade e implementar medidas que permitam redução do risco
	2	A	B	C	C	D	D	Necessidade de realização de análise quantitativa para avaliação dos riscos
	1	A	A	B	C	D	E	Realização de estudos e implementação obrigatória de medidas para a redução do risco

Figura 18: Matriz de risco. Autoria própria com base em Nolan (2008)

III.1-Etapas do processo genérico

A análise do processo foi seccionada de acordo com diferentes unidades presentes em uma planta. Cada seção apresenta uma descrição acompanhada por um fluxograma do processo e uma planilha APR resultante. Os dados de toxicidade e inflamabilidade dos produtos utilizados foram obtidos de suas fichas de segurança de produtos químicos, disponibilizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A planta utilizada como exemplo é um projeto conceitual desenvolvido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda (Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro) e Neyda de la Caridad Om Tapanes colaboradora do programa de pós-graduação da mesma instituição.

III.1.1- Transesterificação

Dentre as diferentes rotas produtivas do biodiesel, a transesterificação é a mais usada [RAMOS 2011]. O fluxograma apresentado (figura 19) representa um processo em batelada, que permite a utilização de apenas um reator, sendo adequado para plantas de menor escala.

O processo reativo se utiliza de um álcool, normalmente etanol ou metanol. No caso do processo apresentado utiliza-se metanol. O metanol é utilizado não apenas para a reação de transesterificação, mas também no processo de purificação da oleína. Antes de adicionar o metanol ao reator, parte deste sofre uma mistura com um catalisador em um tanque sob agitação. Catalisadores ácidos ou básicos são os mais utilizados, sendo o hidróxido de potássio utilizado neste exemplo. [Cordeiro *et al* 2011]

A olefina utilizada é armazenada em um tanque que deve, dependendo da matéria prima utilizada, conter uma serpentina de aquecimento para que possa haver seu escoamento, visto que, materiais como o sebo vegetal podem causar entupimentos quando em temperatura ambiente.

A reação ocorre em um reator em temperaturas entre 40 e 45 °C, mantidas pelo uso de camisa de aquecimento. Para garantir adequada mistura, o óleo vegetal é alimentado em linha, na descarga da bomba de recirculação, seguido de um misturador estático. O tempo de reação é de 60 minutos.

Após reação, a mistura segue para um tanque de decantação, onde há a separação de biodiesel e fase glicerínica. O tempo de residência para esta separação será de 30 minutos. O biodiesel bruto a ser purificado é estocado em tanque pulmão. A fase glicerínica é estocada em outro tanque.

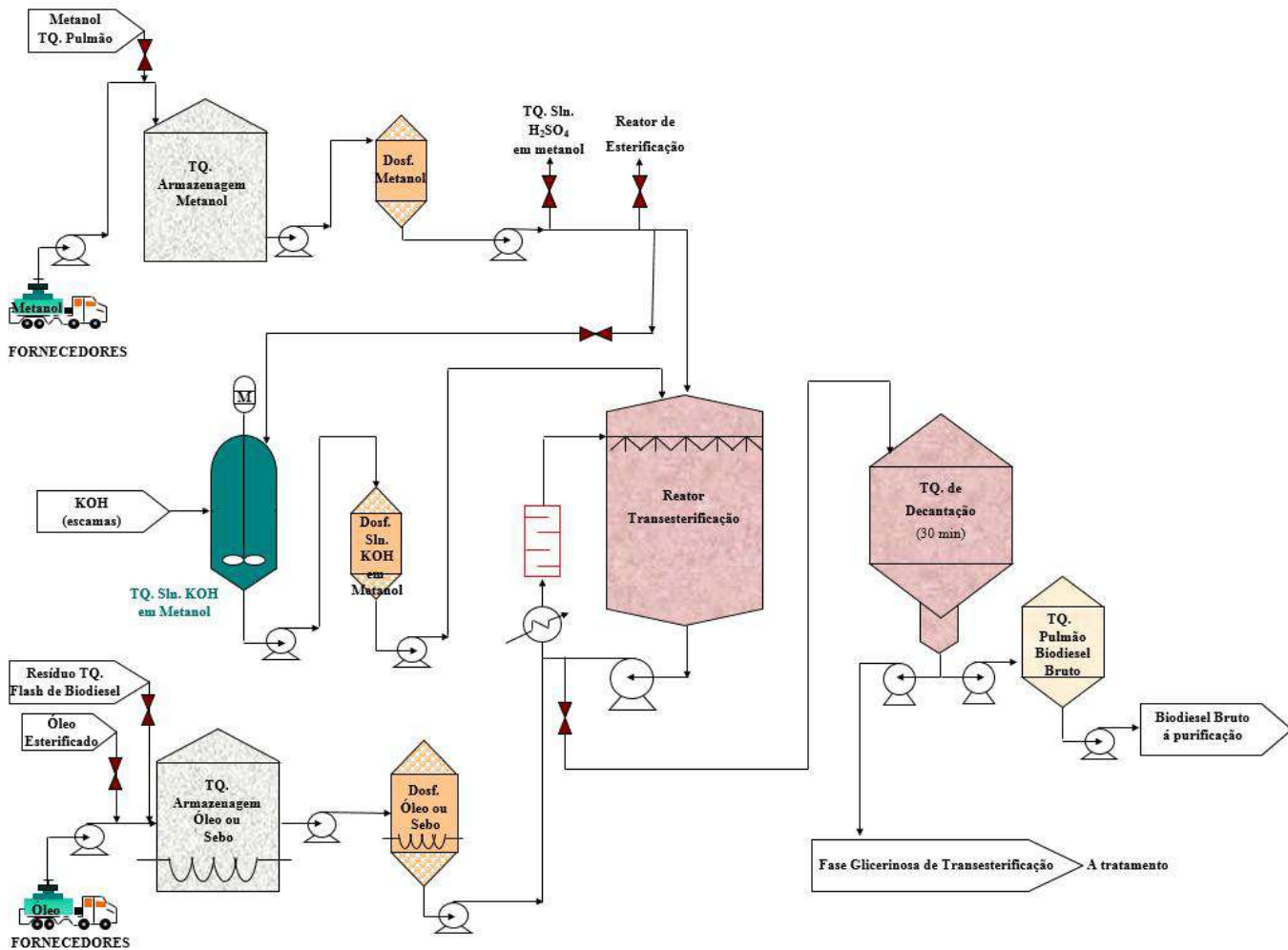


Figura 19: Fluxograma da unidade de transesterificação de óleo em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

Durante a concepção dos cenários de risco e elaboração das planilhas APR foram consideradas algumas hipóteses. Primeiramente, devido as condições operacionais brandas do processo, o risco operacional avaliado é de vazamento nos diversos equipamentos do processo, que tem por consequência formação de poças. Os vazamentos foram classificados em pequenos e grandes, com a ocorrência de pequenos vazamentos sendo mais frequente, enquanto grandes vazamentos ocorrem com menor frequência, pela necessidade de maiores danos para a ocorrência destes. Devido a presença de elementos inflamáveis em alguns equipamentos, algumas das poças formadas apresentam possibilidade de se inflamar. Além disso, em equipamentos que comportam maiores volumes ou que operem com

aquecimento ou pressurizados, existe maior severidade em seus acidentes devido ao maior volume e dispersão do material extravasado, assim como riscos de queimaduras causadas por materiais aquecidos.

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 1. Dentre as substâncias presentes nesta, o metanol apresenta riscos de inflamabilidade e toxicidade, o óleo vegetal e o biodiesel são inflamáveis, enquanto o hidróxido de potássio é corrosivo. Dessa forma, equipamentos que contenham metanol apresentam maior severidade associada ao seu vazamento e naqueles onde há maiores concentrações de hidróxido de potássio a frequência de acidentes aumenta, visto o maior desgaste dos equipamentos expostos à corrosão causada por este. Em todos os grandes vazamentos dessa seção existe risco de inflamabilidade.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	1
Grande vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de núvem tóxica Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	2
Pequeno vazamento de solução de hidróxido de potássio em metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	3
Grande vazamento de solução de hidróxido de potássio em metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de núvem tóxica Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	4
Pequeno vazamento de óleo no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	5
Grande vazamento de óleo no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	6
Pequeno vazamento de biodiesel no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	7
Grande vazamento de biodiesel no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	8
Pequeno vazamento de mistura reacional no reator de transesterificação	Corrosão Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	9
Grande vazamento de mistura reacional no reator de transesterificação	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do reator Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	10
Pequeno vazamento de biodiesel e fase glicerínica no tanque de decantação ou na corrente de alimentação ao tanque de decantação	Corrosão Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	11
Grande vazamento de biodiesel e fase glicerínica no tanque de decantação ou na corrente de alimentação ao tanque de decantação	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	12

Tabela 1: Análise APR da unidade de esterificação. Autoria própria

III.1.2-Purificação do biodiesel

O biodiesel obtido na transesterificação não apresenta pureza adequada para comercialização, sendo necessária uma etapa de purificação, representada na figura 20. O biodiesel bruto sofre lavagem em tanque de lavagem e decantação, com solução de ácido cítrico (uso de solução de ácido em água correspondente a 10 % em peso ao biodiesel bruto a ser purificado e com 0,15 % de concentração de ácido). A solução, preparada previamente em temperatura ambiente e armazenada em tanque de solução de ácido cítrico, é alimentada ao tanque de lavagem e decantação em linha. Essa alimentação ocorre na descarga da bomba de recirculação do tanque de lavagem. Para a lavagem, a solução é aquecida entre 70 - 90°C em trocador de calor, colocado na linha de recirculação. O tempo de residência previsto na etapa de lavagem é de 15 min e na etapa de decantação é de 15 minutos. Após, decantação, o biodiesel segue para o tanque pulmão de biodiesel úmido para posteriormente passar ao tanque secador. Neste tanque é removida a água arrastada pelo biodiesel, utilizando temperaturas entre 120 – 130°C e vácuo de 200 mm de Hg.

O biodiesel seco é estocado em tanque pulmão. A fase glicerosa segue para tratamento.

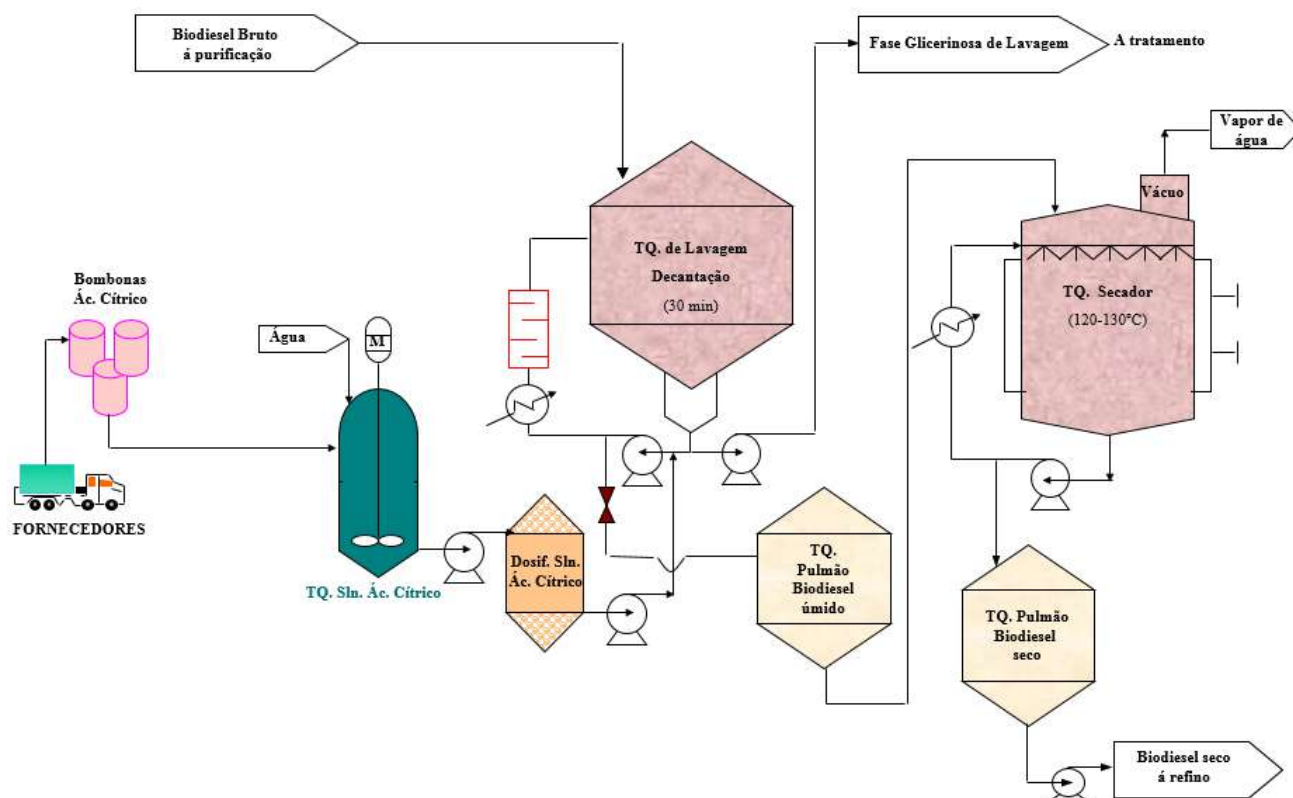


Figura 20: Fluxograma da unidade de purificação do biodiesel em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 2. Dentre as substâncias presentes nesta o biodiesel seco é inflamável, enquanto o ácido cítrico pode causar irritações. Devido a presença de elevados teores de água, parte das correntes não apresenta risco de incêndio. No tanque de lavagem é avaliada a possibilidade do vazamento da mistura presente no tanque durante a lavagem, visto que o vazamento dos elementos separados é contemplado em outros cenários acidentais. Para o tanque secador é considerada a possibilidade de formação de nuvem devido as temperaturas elevadas de operação. Caso a composição do vapor seja majoritariamente de biodiesel seco é possível ocorrência de incêndio ou até explosão em nuvem.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de ácido cítrico no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	1	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	13
Grande vazamento de ácido cítrico no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua	14
Pequeno vazamento no tanque de lavagem	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	15
Grande vazamento de biodiesel úmido e fase glicerinosa no tanque de lavagem	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	2	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	16
Pequeno vazamento de biodiesel seco no tanque secador	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça Formação de jato	4	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	17
Grande vazamento de biodiesel seco no tanque secador	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em nuvem Formação de nuvem inflamável Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	18
Pequeno vazamento de biodiesel nos tanques pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	19
Grande vazamento de biodiesel nos tanques pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	20
Vazamento na linha de vapor de água	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Detector de Vazamentos	Liberação de vapor aquecido	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	21

Tabela 2: Análise APR da unidade de purificação de biodiesel. Autoria própria

III.1.3-Refino do biodiesel purificado

O biodiesel obtido na purificação cumpre as especificações brasileiras referentes ao teor de glicerol total (Norma ANP: 0,38 máx.), no entanto, as exigências internacionais são mais rigorosas (prEN 14214: 0,25% máx. e ASTM 6751: 0,24% máx.). Para produzir um biodiesel de qualidade internacional é preciso realizar uma etapa de refino, representada na figura 21.

Nesta etapa, o biodiesel seco é alimentado a tanque de flash do biodiesel para separar o glicerol utilizando vácuo de 20 – 30 mm de Hg e temperatura entre 200 – 255 °C. O resíduo é encaminhado ao tanque de armazenagem de

óleo ou sebo enquanto o biodiesel refinado segue para um tanque pulmão para posteriormente ser filtrado e aditivado com antioxidante, antes de ir ao tanque de armazenagem.

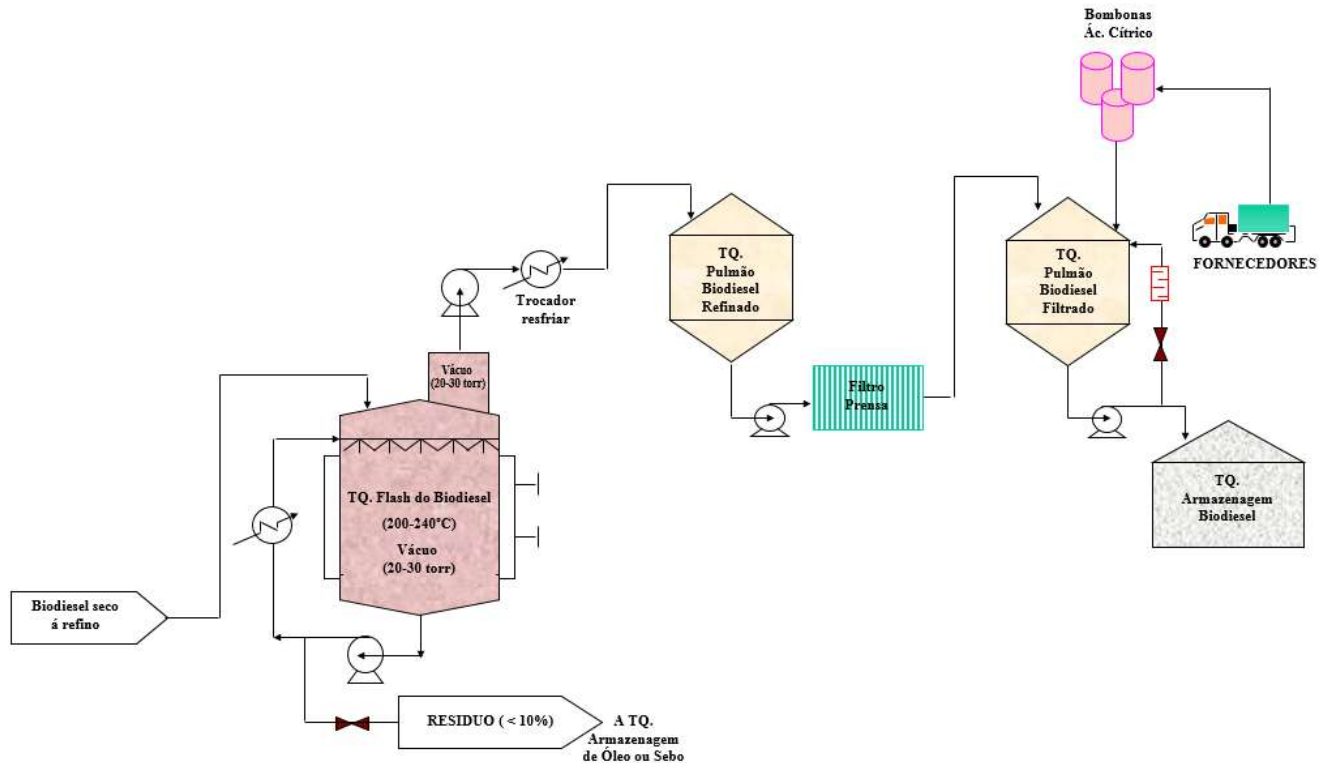


Figura 21: Fluxograma da unidade de refino de biodiesel em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 3. Dentre as substâncias presentes nesta, o biodiesel é inflamável, enquanto o ácido cítrico pode causar irritações. Em todos os equipamentos avaliados existe possibilidade de incêndio em poça em vazamentos mais volumosos. Na análise do tanque de flash considerou-se que a frequência de acidentes seria menor do que a em outros acidentes devido a este ter estrutura mais resistente devido às condições operacionais mais severas as quais está sujeito. Entretanto, acidentes neste equipamento apresentam riscos mais elevados devido à pressurização e às temperaturas elevadas presentes.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de biodiesel nos tanques pulmão, filtro, tanque de armazenagem ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	22
Grande vazamento de biodiesel nos tanques pulmão, filtro, tanque de armazenagem ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	23
Pequeno vazamento de biodiesel no tanque de flash	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça Formação de jato	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	24
Grande vazamento de biodiesel no tanque de flash	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de nuvem inflamável Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	25

Tabela 3: Análise APR da unidade de refino do biodiesel. Autoria própria

III.1.4-Purificação do glicerol

A principal função dessa etapa é a remoção de sabões formados durante a transesterificação e que se encontram presentes na fase glicerínica (fase glicerínica de transesterificação, representada na figura 19 e fase glicerínica de lavagem representada na figura 20). Remoção de sabões dessa fase ocorre

através de adição de ácido clorídrico a 30%. Esta etapa ocorre em tanque de acidificação separação, revestido de polipropileno. O processo realiza-se a temperatura ambiente com recirculação durante 30 minutos. Após a reação ácido/base, o ácido graxo forma uma fase sobrenadante (oleína) que deverá ser removida para purificação através de decantação realizada no mesmo tanque. Os sais de potássio formados permanecerão dispersos na fase glicerínica. A oleína é estocada em tanque pulmão até acumular a quantidade suficiente para sua purificação. No tanque flash de metanol e água, aquecido até 130 °C e com pressão de 20 a 30 mm Hg, o metanol hidratado é removido da fase glicerínica. Finalmente a glicerina é neutralizada com solução de NaOH a 50%. O metanol hidratado é enviado a purificação. Este processo está representado na figura 22.

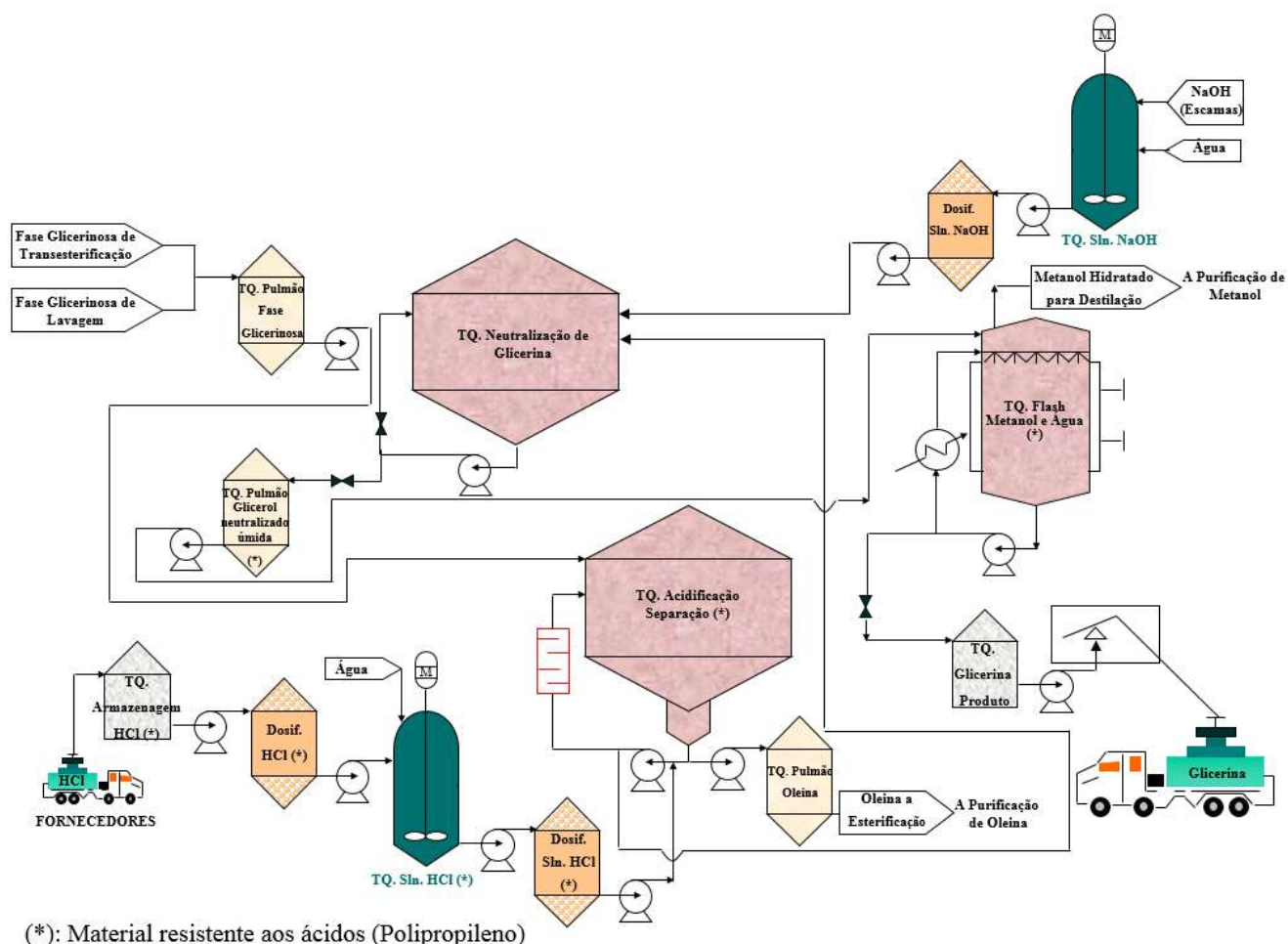


Figura 22: Fluxograma da unidade de purificação do glicerol em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 4. Dentre as substâncias presentes nesta, o metanol apresenta riscos de inflamabilidade e toxicidade, enquanto o hidróxido de sódio e o ácido clorídrico são tóxicos. Devido à presença de água nas correntes durante o processo não existe risco de incêndio nesta seção. Entretanto a presença de material corrosivo em grande parte das correntes aumenta a frequência de pequenos vazamentos. Devido à elevada temperatura de operação do tanque de flash, grandes vazamentos podem levar a formação de nuvem que, apesar de não inflamável, apresenta toxicidade devido a presença do metanol hidratado.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de ácido clorídrico no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	26
Grande vazamento de ácido clorídrico no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	27
Pequeno vazamento de hidróxido de sódio no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	28
Grande vazamento de hidróxido de sódio no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	29
Pequeno vazamento no tanque pulmão de fase glicerínosa	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	30
Grande vazamento no tanque pulmão de fase glicerínosa	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	31
Pequeno vazamento no tanque pulmão de glicerol neutralizado úmido	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	32
Grande vazamento no tanque pulmão de glicerol neutralizado úmido	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	2	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	33
Pequeno vazamento no tanque de neutralização de glicerina	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	34
Grande vazamento no tanque de neutralização de glicerina	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	35
Pequeno vazamento de mistura da fase glicerínosa, oleína e solução de ácido clorídrico no tanque de acidificação separação	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	36
Grande vazamento de mistura da fase glicerínosa, oleína e solução de ácido clorídrico no tanque de acidificação separação	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	37
Pequeno vazamento de metanol hidratado no tanque de flash	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça Formação de jato	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	38
Grande vazamento de metanol hidratado no tanque de flash	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Formação de nuvem tóxica Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	39

Tabela 4: Análise APR da unidade de purificação do glicerol. Autoria própria

III.1.5-Purificação da oleína

A oleína é uma mistura de ácidos graxos e glicerídeos. Para ser utilizada como matéria prima na produção de biodiesel seu teor de ácido graxo tem que ser inferior a 1,5%, condição que pode ser alcançada através de processo de esterificação, representado na figura 23. A reação de esterificação realiza-se com rota metílica, usando como catalisador ácido sulfúrico concentrado. Ao reator de esterificação são adicionados oleína, metanol e ácido. A reação ocorre em tempo total de 60 minutos. Este reator pode ser utilizado para reduzir a acidez de matérias primas (óleo vegetal ou sebo) que possuam teor de acidez entre 1,5% e 4, ao mistura-las a oleína previamente a sua adição ao reator (oleína essa obtida durante a etapa de purificação do glicerol representada na figura 8). O produto de esterificação passa a um tanque de flash, onde o aquecimento à 130 °C em pressão de 20 a 30 mm Hg separa o metanol hidratado. Finalmente o produto (óleo esterificado) vai para o tanque de armazenagem de óleo ou sebo.

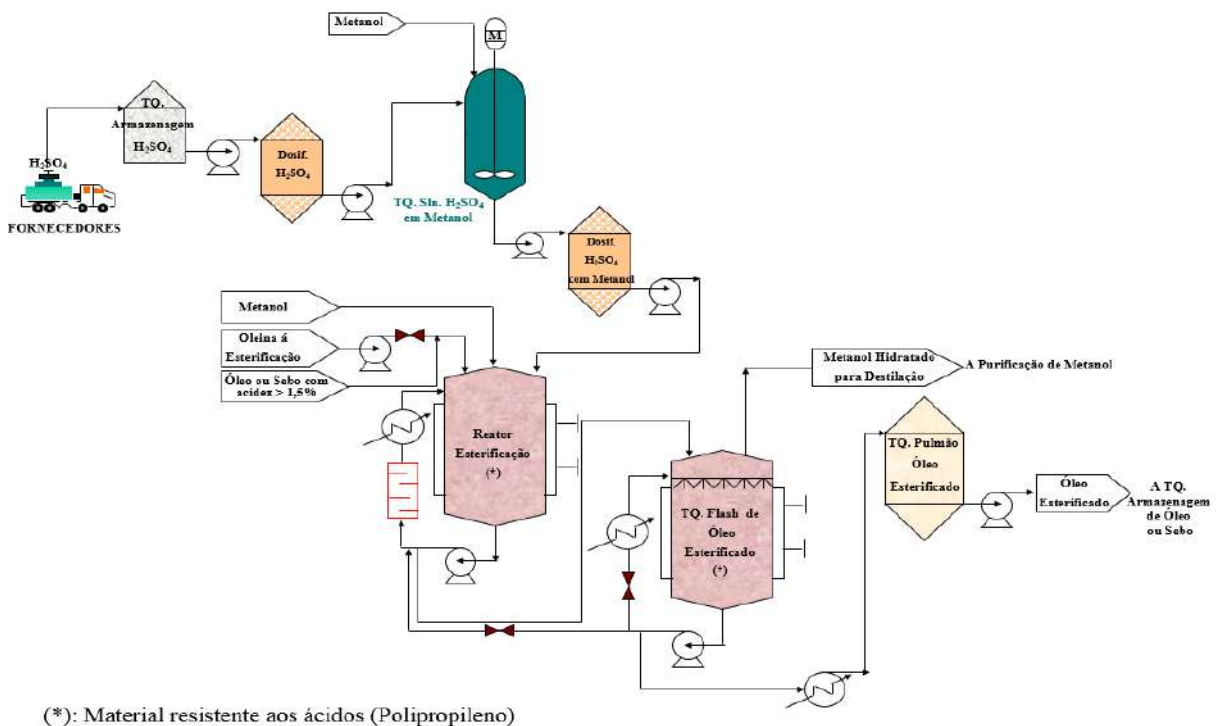


Figura 23: Fluxograma da unidade de purificação da oleína em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 5. Dentre as substâncias presentes nesta, o metanol apresenta riscos de inflamabilidade e toxicidade, o óleo vegetal é inflamável, enquanto o ácido sulfúrico é corrosivo e tóxico. Nessa seção grandes vazamentos apresentam risco de incêndio em poça devido a presença de metanol e óleo vegetal, sendo os equipamentos com ácido sulfúrico anteriores ao tanque de mistura com o metanol os únicos que não apresentam esse risco. Devido à presença do ácido sulfúrico temos uma maior frequência de acidentes nos equipamentos que precedem o reator. A severidade dos vazamentos também é elevada devido a presença dos elementos tóxicos. Devido às condições de operação do tanque de flash, grandes vazamentos podem levar a formação de nuvem que, apesar de não inflamável, apresenta toxicidade devido a presença do metanol hidratado.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de ácido sulfúrico no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	1	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	40
Grande vazamento de ácido sulfúrico no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	41
Pequeno vazamento de solução de ácido sulfúrico e metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	5	1	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	42
Grande vazamento de solução de ácido sulfúrico e metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	43
Pequeno vazamento de mistura de metanol, ácido sulfúrico, oleína e óleo no reator de esterificação	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	44
Grande vazamento de mistura de metanol, ácido sulfúrico, oleína e óleo no reator de esterificação	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do reator Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	45
Pequeno vazamento no tanque de flash de óleo esterificado	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça Formação de jato	4	2	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	46
Grande vazamento no tanque de flash de óleo esterificado	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de nuvem inflamável Contaminação ambiental	2	4	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	47

Tabela 5: Análise APR da unidade de purificação de oleína. Autoria própria

III.1.6-Purificação do metanol

O metanol hidratado obtido dos tanques de flash dos processos de purificação do glicerol e da oleína (representados nas figuras 22 e 23, respectivamente) é alimentado a uma torre de destilação de recheio, representada na figura 24, obtendo-se metanol puro que é re-utilizado nas reações de transesterificação e esterificação (representadas nas figuras 2 e 10, respectivamente).

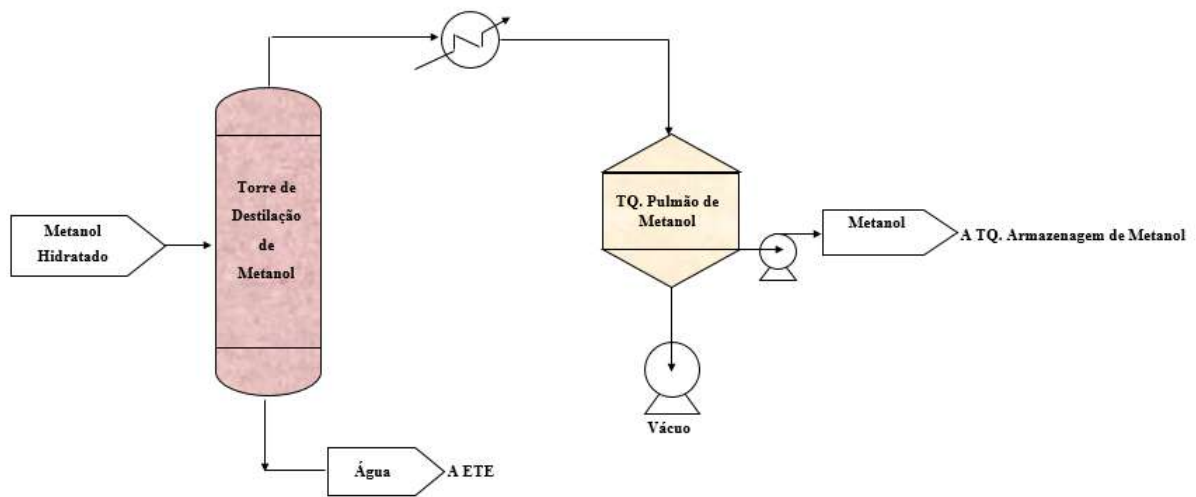


Figura 24: Fluxograma da unidade de purificação do metanol em uma unidade de produção de biodiesel. Extraído do projeto concebido pelos professores Yordanka Reyes Cruz e Donato Alexandre Gomes Aranda

A análise desta seção foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 6. O metanol apresenta propriedades de inflamabilidade e toxicidade. Tanto na torre de destilação quanto no tanque pulmão existe a possibilidade de formação de incêndio em poça quando ocorrem grandes vazamentos. Para a torre de destilação, caso o vazamento ocorra próximo ao topo, ou na corrente de topo na saída da torre, existe ainda a possibilidade de formação de nuvem inflamável e tóxica.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	48
Grande vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	49
Pequeno vazamento na torre de destilação de metanol (topo)	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Liberção de vapor tóxico aquecido	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	50
Grande vazamento na torre de destilação de metanol (topo)	Choque mecânico Desconexão de tubulação	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de nuvem tóxica Formação de nuvem inflamável Contaminação ambiental	2	5	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades da torre Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	51
Pequeno vazamento na torre de destilação de metanol (fundo)	Corrosão Choque mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	52
Grande vazamento na torre de destilação de metanol (fundo)	Choque mecânico Desconexão de tubulação	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Formação de nuvem tóxica Contaminação ambiental	2	3	C	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades da torre Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	53

Tabela 6: Análise APR da unidade de purificação do metanol. Autoria própria.

III.2-Riscos específicos associados ao uso do óleo de palma

O óleo de palma apresenta características semelhantes a outros óleos vegetais no que tange a sua utilização no processo produtivo de biodiesel, sendo válida a análise geral realizada no item anterior. É necessário, entretanto, ressaltar algumas particularidades associadas ao processo de obtenção do óleo de palma a partir do dendê.

Diferentemente de outros óleos vegetais, o óleo de palma é extraído através de um processamento mecânico, e não pelo uso de solventes. Em unidades de menor escala grande parte do processamento é realizado manualmente.

Em plantas de maior escala tem-se um processo que se inicia por esterilização dos frutos em vaso com temperatura e pressão controladas (as quais no processo exemplificado são de 135°C e 2,5 a 3 atmosferas, respectivamente).

Após a esterilização ocorre prensagem em prensa contínua, separando-se o óleo de palma da torta e das amêndoas do dendê. As amêndoas são processadas em moinho para produção de óleo de palmiste. O óleo de palma é filtrado para remoção de elementos sólidos. O processo é representado na figura 25.

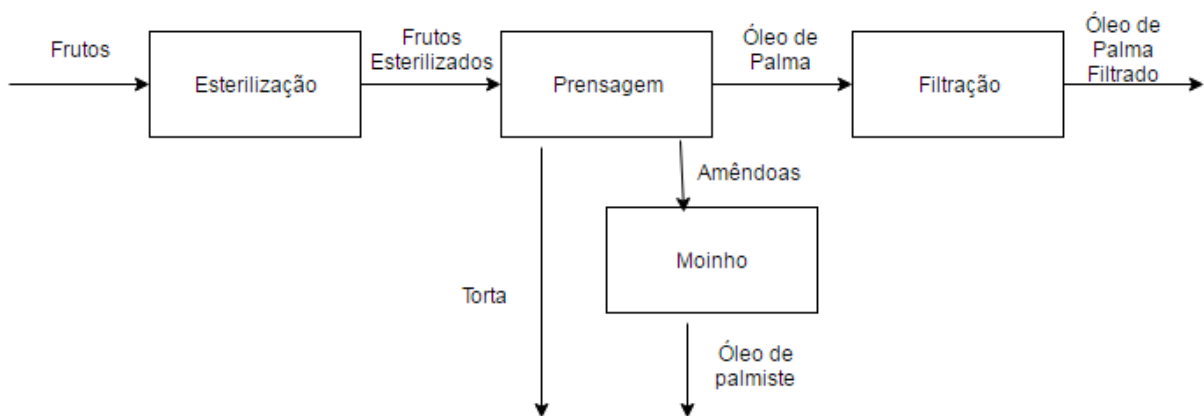


Figura 25: Fluxograma da produção de óleo de palma a partir do dendê. Autoria própria baseado em DIAZ, 2012

A análise deste processo foi disposta na planilha APR apresentada na tabela 7. Durante o processo de esterilização o material processado apresenta-se sólido e seu extravasamento causa sua deposição próxima ao equipamento, sem formação de poça e com mínima dispersão. Os outros equipamentos contêm material líquido, o que leva a possibilidade de formação de poça. Sendo os óleos de palma e palmiste inflamáveis existe risco de incêndio em poça. Devido ao processamento mecânico presente na prensa e moinho, falhas mecânicas se apresentam como possibilidade, tanto de falha do equipamento, quanto de vazamento e ignição do óleo presente.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Pequeno vazamento de frutos aquecidos no equipamento de esterilização	Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Extravasamento de material solido aquecido	3	1	B	Manutenção periódica das linhas e do equipamento	54
Grande vazamento de frutos aquecidos no equipamento de esterilização	Choque Mecânico Desconexão de Equipamentos Transbordamento	Visual	Extravasamento de material solido aquecido	2	2	B	Manutenção periódica das linhas e do equipamento Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do equipamento	55
Pequeno vazamento de óleo de palma no filtro	Corrosão Choque Mecânico Falha de juntas e conexões	Visual	Formação de poça	4	1	B	Manutenção periódica das linhas e equipamentos	56
Grande vazamento de óleo de palma no filtro	Choque Mecânico Desconexão de Equipamentos Transbordamento	Sistema Detector de Vazamento	Formação de poça Contaminação ambiental	3	2	B	Manutenção periódica das linhas e no filtro Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do filtro	57
Falha mecânica na prensa	Falha no motor Obstrução das partes móveis do equipamento	Sistema de controle do equipamento	Formação de poça Danos ao equipamento e imediações	1	2	A	Manutenção periódica das linhas e da prensa	58
Falha mecânica no moinho	Falha no motor Obstrução das partes móveis do equipamento	Sistema de controle do equipamento	Formação de poça Danos ao equipamento e imediações	1	2	A	Manutenção periódica das linhas e de prensa	59

Tabela 7: Análise APR de unidade produtora de óleo de palma. Autoria própria

III.3-Rotas metilicas e rotas etilicas

Para a produção do biodiesel é possível o uso de diversos álcoois, sendo o etanol e o metanol os que possuem maior representatividade em processos industriais. Suarez (2008) realiza uma análise comparativa da utilização desses dois álcoois no Brasil.

Por um lado, ele observa que o metanol apresenta maior toxicidade quando comparado ao etanol e sua utilização representa um maior risco para o ambiente e populações vizinhas. Além disso, sua disponibilidade no Brasil é inferior à do etanol, visto que este é obtido majoritariamente no processamento do gás natural, enquanto o etanol é um produto de abundante produção no país.

Por outro lado, ele aponta que, apesar disso, processos com rotas metilicas são vastamente utilizados. A utilização do metanol geralmente acarreta menores custos produtivos, visto que este álcool apresenta maior

reatividade do que o etanol na reação de transesterificação; exigindo menores temperatura, volume de álcool e tempo de reação; e que o etanol favorece a formação de emulsões durante o processo exigindo destilação ao final do processo.

Dessa forma, conclui que as rotas metílicas prevalecem exceto em casos nos quais há disponibilidade de etanol a custos reduzidos ou por outras conveniências logísticas que tornem seu uso economicamente viável.

Capítulo IV - Resultados da Análise

Após realizar segmentação do processo e avaliação de equipamentos individualmente ou em grupos, foram desenvolvidos 59 cenários de risco no total, sendo 6 destes relacionados à produção do óleo de palma e os outros 53 relativos a um processo de produção de biodiesel aplicável a diversas matérias primas.

IV.1-Cenários da unidade de transesterificação

Na unidade de transesterificação foram avaliados 12 cenários. A figura 26 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

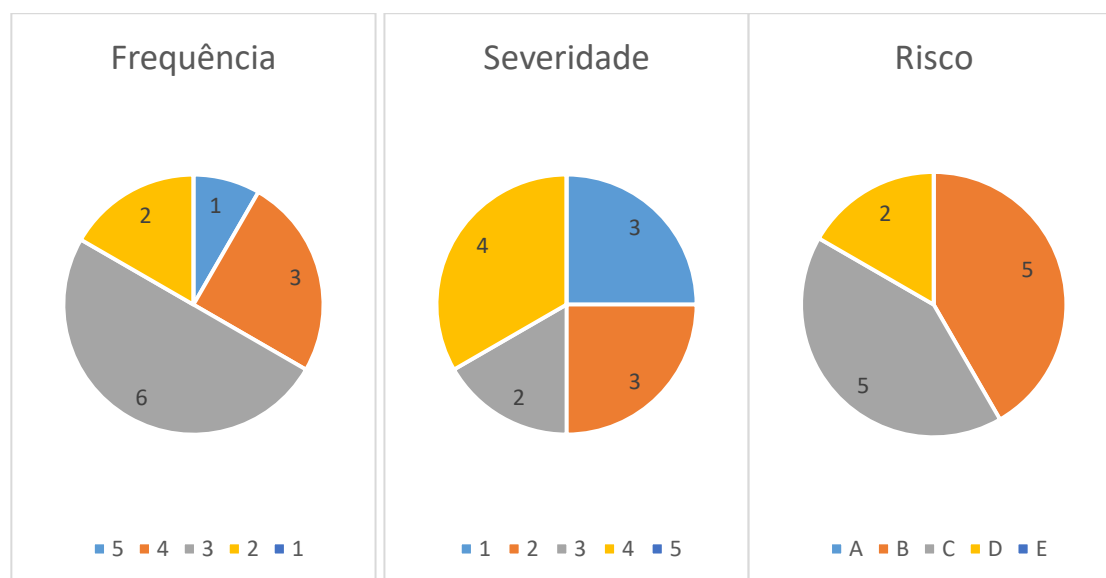


Figura 26: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de transesterificação.

A frequência mais comum foi a de categoria 3, a severidade de categoria 4 e os riscos B e C.

A presença de metanol, óleo e biodiesel acarretam eventos acidentais de grande porte com severidade elevada, principalmente aqueles relacionados ao reator e ao tanque de decantação. A presença do hidróxido de sódio eleva

a frequência de eventos de pequena escala em parcela dos equipamentos enquanto o controle necessário à operação do reator e tanque de decantação reduz a ocorrência dos mesmos, o que leva a uma concentração de eventos na categoria de frequência 3.

4.2-Cenários da unidade de purificação do biodiesel

Na unidade de purificação do biodiesel foram avaliados 9 cenários. A figura 27 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

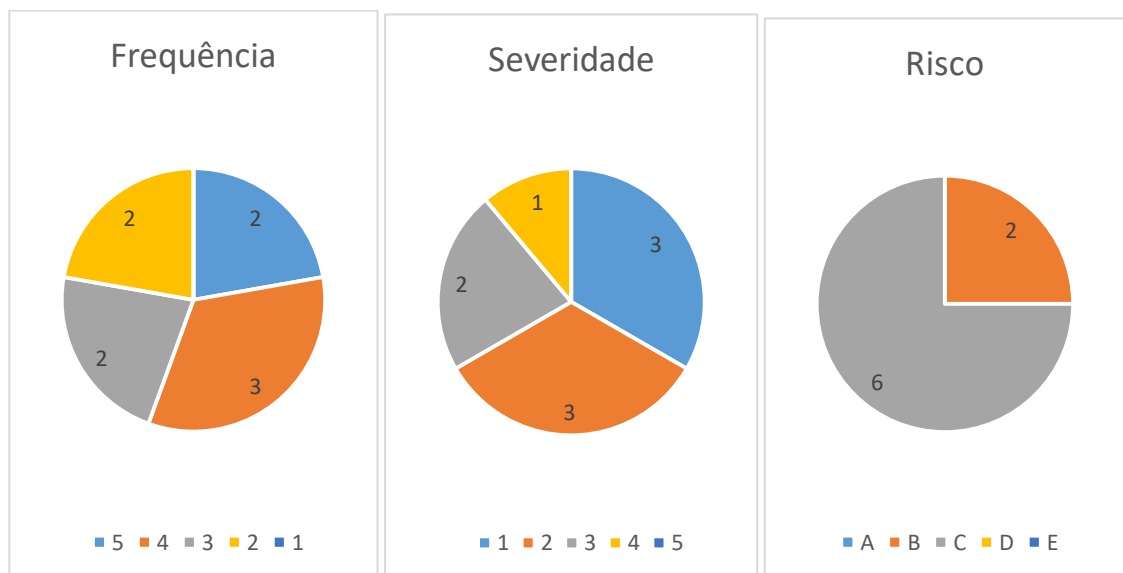


Figura 27: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de purificação do biodiesel.

A frequência mais comum foi a de categoria 4, as severidades de categorias 1 e 2 e o risco na categoria C.

Dentre as unidades da planta produtora de biodiesel essa é aquela que apresenta as maiores frações das frequências de categorias 5 e 4 e das severidades de categorias 1 e 2 indicando que essa é a seção com maior probabilidade de ocorrência de cenários mas que tais cenários tendem a apresentar menor relevância. A presença de elementos não inflamáveis em grande parte dos equipamentos contribui para a baixa severidade dos cenários,

enquanto a presença de ácido cítrico eleva a frequência de vazamentos de menor escala.

4.3-Cenários da unidade de refino do biodiesel purificado

Na unidade de refino do biodiesel foram avaliados 4 cenários. A figura 28 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

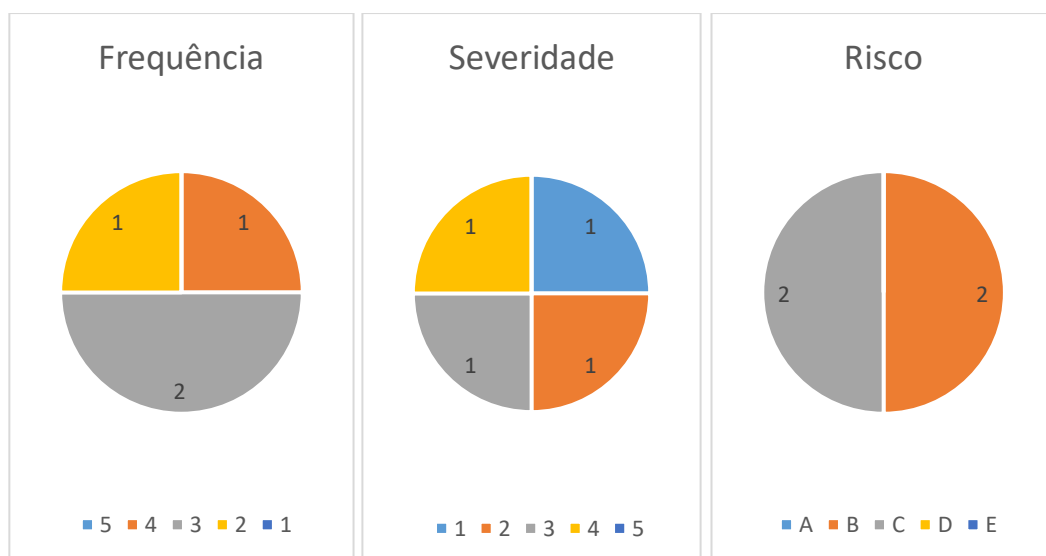


Figura 28: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de refino do biodiesel.

A frequência mais comum foi a de categoria 3. Já as categorias de severidade presentes estão igualmente distribuídas. Os riscos observados são de categorias B e C.

Apesar de apresentar poucos equipamentos e cenários, esta unidade apresenta distribuições de categorias de frequência e severidade dispersas. Nesta unidade o tanque flash de biodiesel opera em condições severas enquanto os outros são operados em condições amenas; os materiais manipulados também não representam grande risco, a exceção do ácido cítrico, o que justifica essa dispersão.

4.4-Cenários da unidade de purificação do glicerol

Na unidade de purificação do glicerol foram avaliados 14 cenários. A figura 29 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

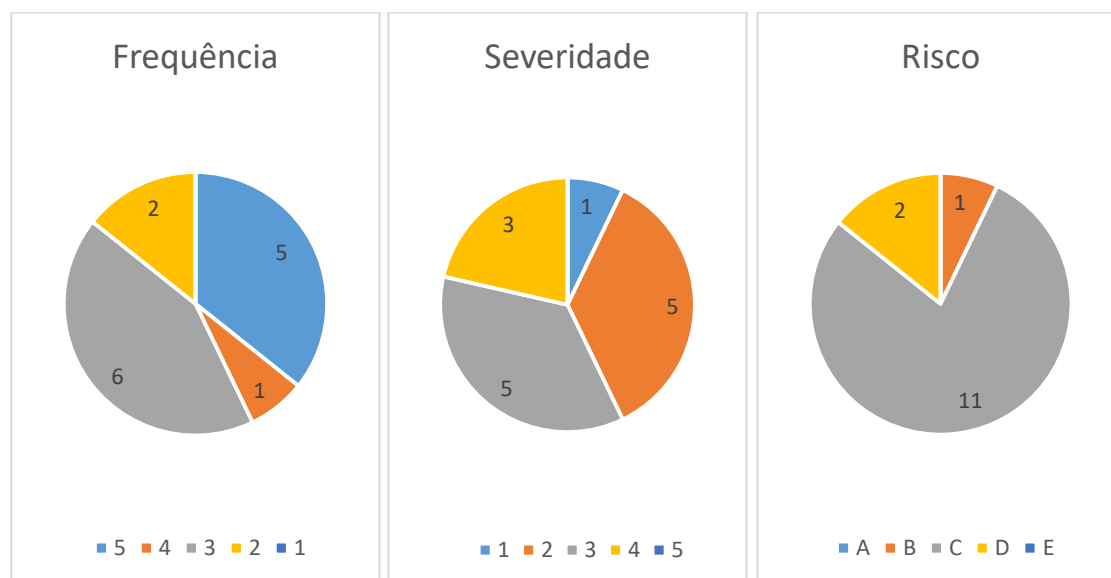


Figura 29: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de purificação do glicerol.

As frequências mais comuns foram as de categorias 5 e 3, as de severidade das categorias 2 e 3 e o risco da categoria C.

A concentração da frequência dos cenários nas categorias 5 e 3 está atrelada aos eventos de menor e maior escala, respectivamente, e à presença majoritária de substâncias pouco danosas nesta seção do processo. Essa preponderância de elementos de baixa periculosidade também é responsável pela grande fração das avaliações de severidade apresentarem-se nas categorias 2 e 3. Apesar das características das substâncias, a categoria de frequência 3 é observada dadas as características dos equipamentos utilizados nessa etapa, que trabalham com temperaturas elevadas ou pHs não neutros.

4.5-Cenários da unidade de purificação da oleína

Na unidade de purificação da oleína foram avaliados 8 cenários. A figura 30 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

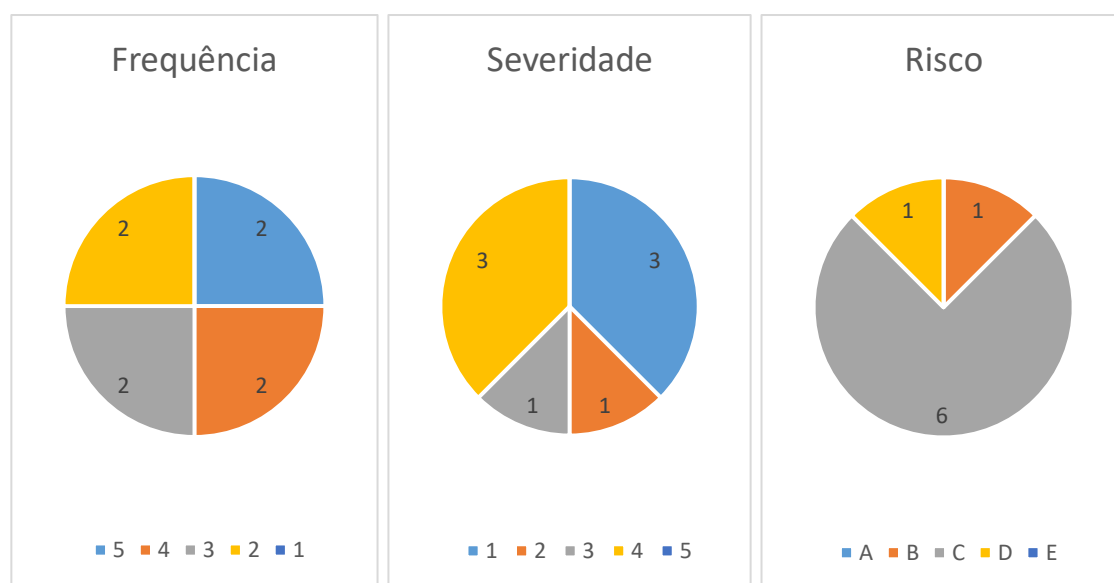


Figura 30: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de purificação da oleína.

As categorias de frequência presentes estão igualmente distribuídas. Em termos de severidade, as classes mais comuns são as de categorias 1 e 4, e o risco de categoria C é o mais verificado.

A diversidade de substâncias e de equipamentos presentes nessa unidade causam uma distribuição homogênea nas categorias de frequência. As categorias de severidade também se apresentam distribuídas, entretanto tendem às categorias mais extremas, 1 e 4. Isso ocorre devido à presença da corrente de metanol e ácido sulfúrico que representa maior potencial de dano quando em eventos de grande escala, concomitante a presença de pequenos vazamentos em equipamentos com condições operacionais brandas, que representam consequências diminutas.

4.6-Cenários da unidade de purificação de metanol

Na unidade de purificação de metanol foram avaliados 6 cenários. A figura 31 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

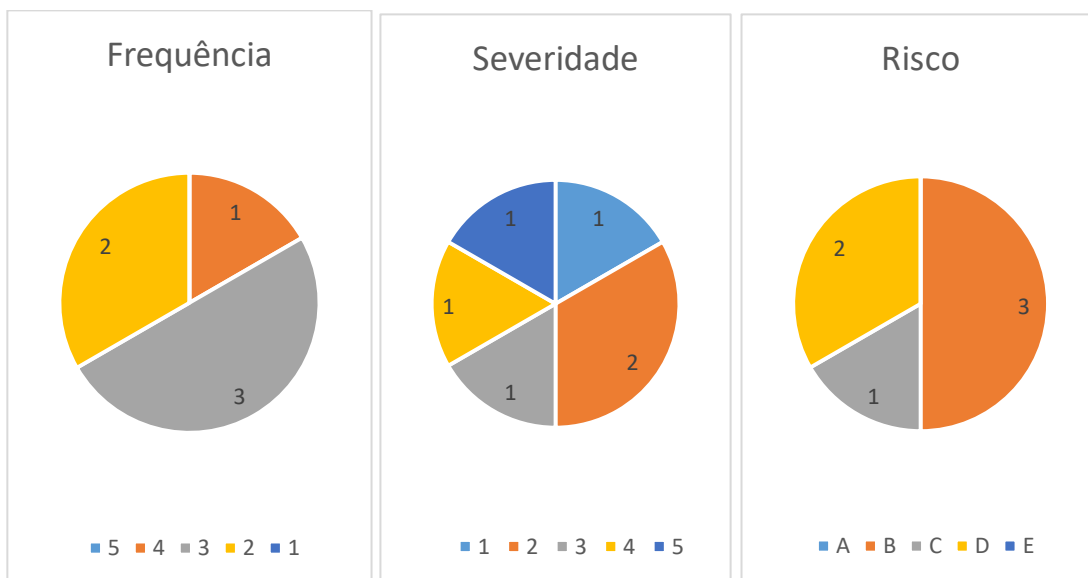


Figura 31: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da unidade de purificação do metanol.

Nesta unidade é observado o único cenário de severidade 5, devido a possibilidade de vazamento de grande quantidade de vapor aquecido com concentração elevada de metanol. A frequência mais comum foi a de categoria 3, a severidade de categoria 2 e o risco de categoria B.

A presença de apenas 2 equipamentos nesta unidade leva ao reduzido número de cenários avaliados. Entretanto, devido à presença de metanol em ambos, existem cenários com severidade elevada. O risco apresenta-se reduzido devido à baixa frequência nos cenários que apresentam severidade elevada e à presença de cenários de menor severidade envolvendo correntes compostas majoritariamente por água.

4.6-Cenários da produção do óleo de palma

Na produção de óleo de palma foram avaliados 6 cenários. A figura 32 demonstra as distribuições das categorias de frequência, severidade e risco dentre esses cenários.

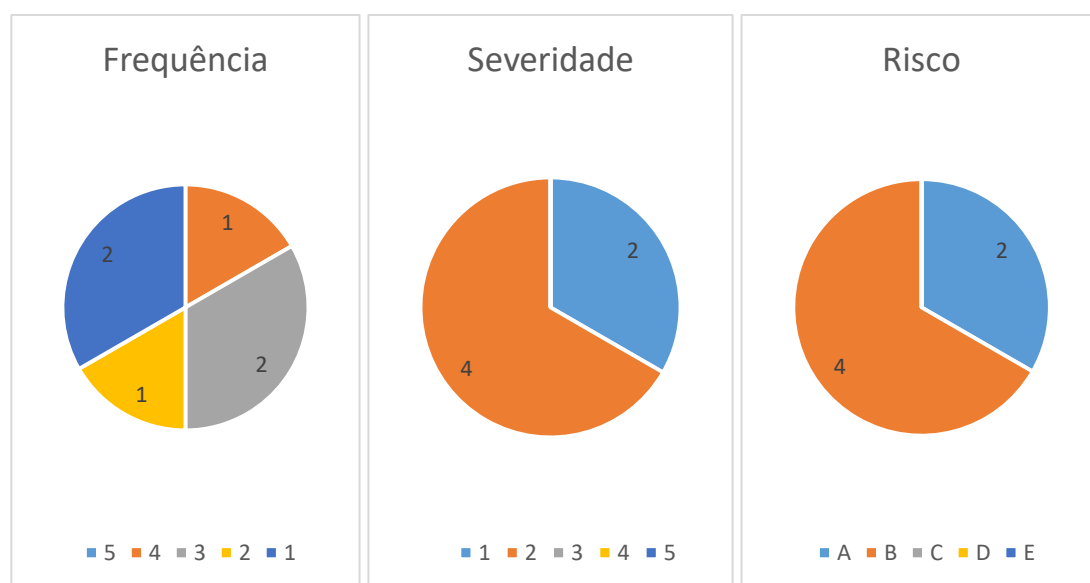


Figura 32: Categorias de frequência, severidade e risco presentes na análise APR da produção de óleo de palma.

As frequências mais comuns foram as de categorias 3 e 1, a severidade de categoria 2 e o risco de categoria B.

O processo de produção de óleo é majoritariamente físico, com operações de baixa complexidade e condições operacionais brandas. Dessa forma, apresenta comportamento distinto quando comparado às etapas do processo de produção de biodiesel. Primeiramente, o processamento majoritariamente físico acarreta em uma tendência a eventos de baixa frequência, atrelado a ausência de pequenos vazamentos, que são mais facilmente observados em equipamentos que lidem com grandes vazões de líquidos ou com materiais corrosivos, sendo a filtração a etapa que apresenta os cenários de maior frequência. Outra diferença é que as categorias de severidade se limitam a 1 e 2, ou seja, os cenários observados não apresentam

potencial elevado de danos aos equipamentos, indivíduos, meio ambiente ou danos externos a planta. Tais aspectos levam a presença de eventos de risco nas categorias A e B, demonstrando que a segurança deste processo não é fator crítico, desde que observada a manutenção regular dos equipamentos e treinamento dos funcionários.

4.8- Avaliação geral

Observando o total da análise realizada temos, representados na figura 33, os resultados dos 59 cenários propostos com as distribuições de categorias observadas.

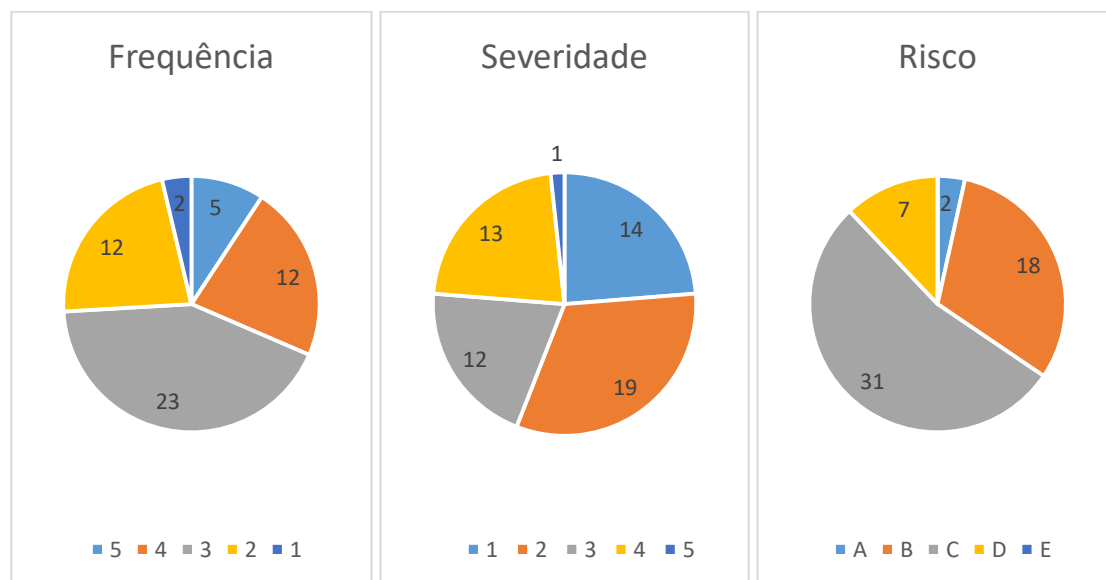


Figura 33: Distribuição das categorias de frequência, severidade e risco da análise APR realizada.

A frequência mais comum foi a de categoria 3, a severidade de categoria 2 e o risco de categoria C.

A presença de apenas um cenário da categoria de severidade 5 é esperada, considerando que as condições operacionais da planta são brandas (mesmo os equipamentos que apresentam aquecimento ou pressurização não apresentam condições de operação extremas). As categorias de frequência e severidade observadas apresentam-se bem distribuídas, em razão da

diversidade de equipamentos e substâncias presentes e à presença de cenários de pequena e grande escala na análise. De uma forma geral, é observada uma relação inversa entre a severidade dos cenários propostos e sua frequência o que acarreta a concentração do risco destes na categoria de risco C.

Em função das condições operacionais brandas de grande parte dos equipamentos apenas em 7 dos cenários propostos foi identificado risco na categoria D, e ausência da categoria E. Esses cenários estão atrelados à eventos acidentais de grande porte em equipamentos que contenham grandes volumes de metanol ou nas correntes a eles conectadas, devido às características de toxicidade e inflamabilidade desse elemento. A tabela 8 abaixo apresenta os cenários de categoria D e que, portanto, devem ser alvo de estudos mais detalhados.

Observa-se que em todos os cenários a severidade dos eventos é elevada, característica intrínseca dos equipamentos e substâncias utilizadas. Para a redução da severidade seriam necessárias mudanças no processo, envolvendo os equipamentos, substâncias ou rotas utilizadas. A substituição de processo de transesterificação ou substituição do metanol por etanol podem ser realizados ainda na etapa de concepção da planta, mas não seriam viáveis durante sua operação, enquanto modificações de condições operacionais e equipamentos podem não se apresentar tecnicamente ou economicamente viáveis. Dessa forma a redução da frequência desses cenários é essencial para o controle desses riscos. Para a redução da frequência medidas como inspeções e manutenções constantes dos equipamentos, implementação de sistemas de controle com respostas rápidas a modificações nas condições operacionais, criação de redundâncias em linhas e outros equipamentos e implantação de válvulas e selos de segurança podem ser realizadas.

Risco	Causa	Modo de Detecção	Efeitos	Categorias			Medidas/ Observações	Nº Cenário
				Frequência	Severidade	Risco		
Grande vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de névem tóxica Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	2
Grande vazamento de solução de hidróxido de potássio em metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de névem tóxica Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	4
Grande vazamento de ácido clorídrico no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades do tanque Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	27
Grande vazamento de hidróxido de sódio no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	29
Grande vazamento de solução de ácido sulfúrico e metanol no tanque de mistura, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	43
Grande vazamento de metanol no tanque de armazenagem, tanque pulmão ou correntes	Choque mecânico Desconexão de tubulação Transbordamento	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Contaminação ambiental	3	4	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades dos tanques Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	49
Grande vazamento na torre de destilação de metanol (topo)	Choque mecânico Desconexão de tubulação	Sistema Detector de Vazamentos	Formação de poça Incêndio em poça Formação de névem tóxica Formação de névem inflamável Contaminação ambiental	2	5	D	Manutenção periódica das linhas e equipamentos Restrição na movimentação de equipamentos de grande porte nas proximidades da torre Implementação de um sistema de controle das correntes que inclua respostas em caso de danos aos equipamentos	51

Tabela 8: Cenários da análise na categoria de risco D

Capítulo V - Conclusões

O biodiesel apresenta crescente influência na matriz energética do Brasil, com políticas incentivando sua incorporação em maiores proporções ao diesel combustível. Apesar de sua utilização estar cada vez mais difundida, as fontes utilizadas para sua produção ainda são limitadas.

A pluralidade de possíveis fontes para a produção do biodiesel permite uma produção diversificada, que se adeque as características climáticas e geográficas das diferentes regiões do país. Dentre essas fontes, este trabalho destaca a cultura do dendê, que apresenta elevada produtividade de óleo quando comparada as outras oleaginosas passíveis de suprir essa cadeia produtiva, inclusive quando comparada a soja, principal matéria prima utilizada na indústria.

Este trabalho limitou-se a apresentar uma avaliação dos riscos associados à produção de biodiesel a partir deste óleo, utilizando uma metodologia qualitativa de análise de risco, com intuito de realizar uma análise abrangente de todo o processo e que seja aplicável à diversidade de unidades produtivas existentes.

A metodologia de análise preliminar de riscos foi utilizada para análise de possíveis cenários acidentais em uma unidade produtora do óleo de dendê e em uma planta de produção de biodiesel capaz de produzir a partir de diferentes matérias primas.

A partir dessa análise observou-se que a unidade de produção de biodiesel apresenta majoritariamente riscos moderados, sendo os riscos críticos associados a utilização de metanol, e não ao óleo. Quanto à unidade de produção do óleo, os riscos são majoritariamente não críticos. Assim os esforços de prevenção devem se concentrar nas etapas de produção que se utilizam do metanol.

Dessa forma, a utilização do óleo de palma para a produção do biodiesel não se apresenta como um fator que gere acréscimo significativo ao risco do processo. O observado é oposto: a utilização do dendê representa uma redução dos riscos químicos na etapa de produção do óleo, tendo em vista que os processos utilizados são de natureza física, enquanto que para a produção de a partir de outras matérias como a soja são necessárias etapas de natureza química (como extração com solventes orgânicos e neutralização) que apresentam mais elevados riscos operacionais.

O uso do dendê, portanto, se apresenta, do ponto de vista dos riscos químicos do processo, como uma alternativa favorável. Resta ser avaliada a viabilidade técnica e econômica para o aumento da escala de produção dessa oleaginosa.

Referências Bibliográficas

Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/>. Acesso em 29/03/2017

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS - AIChE. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedure**. Center for Chemical Process Safety. Third Edition, 2008.

AMORIM, E. L. C., Apostila de Ferramentas de Análise de Risco. Universidade Federal de Alagoas.

BERARDINELLI, P. C. S. P.; D'AVILA, T. C., 2011. **Avaliação de unidades para obter biodiesel e glicerol utilizando UNISIM da HONEYWELL**. Universidade Federal do Rio de Janeiro

BERGMANN, J.C.; TUPINAMBÁ, D. D; COSTA, O. Y. A.; ALMEIDA, J. R. M.; BARRETO, C. C; QUIRINO, B. F., 2013. **Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21(2013) p. 411–420.

BROWN, Anthony. **Análise de Risco**. Boletim Técnico da GSI. Grupo de Pesquisa em Segurança contra Incêndio do Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Universidade de São Paulo – GSI/NUTAU/USP. Ano III, nº1, janeiro-fevereiro/1998.

CÂMARA, G.M.; HEIFFING, L.S. **O Agronegócio De Plantas Oleaginosas: Matérias-Primas Para Biodiesel**. PDL livros técnicos, USP, São Paulo, 2006, 256 p.

CAMPOS, A.; CARMÉLIO, E.C. **Biodiesel e agricultura familiar no Brasil: resultados socioeconômicos e expectativa futura**. Artigo do livro “O futuro

da indústria: biodiesel”, Coletânea de Artigos, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC, Brasília, 2006, p.49-65.

Cardella, Benedito. (1999). Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento de pessoas. Brasil: Atlas.

CARVALHO, P. T. **Balço de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Biodiesel Produzido a Partir de Soja e Dendê no Brasil**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2012, 153 p.

CASTRO, A. *et al.* **Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas**. 1ª Edição, Ed. EMBRAPA, 2011, 719 p.

CETESB - **Norma P4.261- Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência**. São Paulo, 2011.

CETESB. Manual de produtos químicos. Disponível em http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/produto_consulta_nome.asp
Acesso em 13/09/2017

CIn/ UFPE (Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco). **Gerência do Risco do Projeto**. Disponível em: <http://www.cin.ufpe.br> Acesso em 20/05/2017

CORDEIRO, Claudiney Soares; SILVA, Fabiano Rosa da; WYPYCH, Fernando e RAMOS, Luiz Pereira. **Heterogeneous catalysts for biodiesel production**. Quím. Nova [online]. 2011, vol.34, n.3, pp.477-486.

CUNHA, R. B. C. da. **Avaliação técnico- ambiental do uso de biodiesel de palma, soja e óleo de frango em grupo-gerador acionado por motor de ciclo diesel.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC e Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, Curitiba, Paraná, 2009,137 p.

CUNHA, Gilberto, **Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil,** Embrapa, 2008.

DIAS, F.C.G.; BARROSO, M.T.B.S.; REIS, T.B.F., 2012 **Potencial e Logística do Biodiesel de Palma da Amazônia.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

De CICCIO, Francesco e FANTAZZINI, Mario Luiz. Maio. **Tecnologias Consagradas de Gestão de Riscos,** 2003.

DUNJÓ, Jordi et al., Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. **Journal of Hazardous Materials,** n. 173, p. 19–32, 2010.

FARBER, José Henrique. **Análise de riscos - dicas de como organizar um trabalho preventivo na empresa.** Proteção, São Paulo, v. 4, n. 16, p. 36-37, abril-maio, 1992.

FERREIRA, José Rincon; CRISTO, Carlos Manuel Pedroso Neves; Coletânea de artigos, **O Futuro da Indústria: Biodiesel,** Brasília, DF, 2006.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M., 2007. **Biodiesel de soja – reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica.** Quim. Nova, Vol. 30, No. 5, 1369-1373.

HARTLEY, C. W. S.; **The oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)**; 2o edition; Tropical Agriculture Series; Longman Group UK Limited; New York; 1988; 692-780 p.

JORGENSEN, S.B. et al. A functional HAZOP methodology. **Computers and Chemical Engineering**, Denmark, n. 34, p. 244–253, 2010.

KLETZ, Trevor A. Hazop-past and future. **Reliability Engineering and System Safety**, Department of Chemical Engineering, Loughborough, Leicestershire, UK, n. 55, p. 263-266, 1997.

KNOTHE, G. *et al.* **Manual do biodiesel**. 1ªEdição, Editora Blucher, São Paulo, 2006, 340 p.

LIMA, P. C. R., 2005. **BIODIESEL: UM NOVO COMBUSTÍVEL PARA O BRASIL**. Ministério de Desenvolvimento Agrário. Viabilidade de extração de óleo de dendê no Estado do Pará. Texto para revisão e crítica. UFV, Viçosa-MG, 2007. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel> Acesso em: 29/03/2017.

LINDHE, A.; ROSÉN, L.; NORBERG, T.; BERGSTEDT, O. **Fault tree analysis for integrated and probabilistic analysis of drinking water systems**, *Water Research*, 2009, vol. 43, p 1641-1653.

NOLAN, D P. **Safety and Security Review for the Process Industries: Application of HAZOP, PHA and What-If Reviews**. 2. ed .*William Andrew*, 2008, p 107-110.

PARENTE, EXPEDITO JOSÉ DE SÁ, 2003. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. PORTAL ELETRÔNICO BIODIESELBR, **Biodiesel Brasil**, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/>, Acesso em: 25/03/2017

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S., 2011.

Tecnologias de Produção de Biodiesel. Revista. Virtual de Química., 2011, 3 (5), 385-405.

ROCHA, Marivânia Garcia, **Fatores limitantes à expansão dos sistemas produtivos de palma na Amazônia.** Brasília, 2011. Dissertação de Mestrado em Agronegócios, da Universidade de Brasília, 2011.

RODRIGUES, F., **Ajustando a logística,** Portal Eletrônico BiodieselBR, Out/Nov, 2011, São Paulo, p. 54-58, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com->, Acesso : 30/03/2017.

RODRIGUES, F., **Um oceano de palma,** Portal Eletrônico BiodieselBR, Fev/Mar, 2011, São Paulo, p. 29-34, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com->, Acesso : 30/03/2017.

RODRIGUES, F., **Críticas ao Biodiesel,** Portal Eletrônico BiodieselBR, Ago/Set, 2011, São Paulo, p. 22 – 24, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com->, Acesso : 30/03/2017.

SHAY, E.G., 1993. **Diesel fuel from vegetable oils: Status and opportunities.** Biomass and Bioenergy 4 (1993) 227p.

SUAREZ, PAULO ANSELMO ZIANI, 2008. **Metanol ou Etanol: algumas considerações.** PORTAL ELETRÔNICO BIODIESELBR, **Biodiesel Brasil,** Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/> Acesso em: 15/07/2017

SUTTON, I., 2011. **ALARP (As Low as Reasonably Practicable) Risk: Determining acceptable risk for industrial facilities.** Disponível em: <https://suttonbooks.wordpress.com/> Acesso 17/08/2017

ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M., 2003. **Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technological assessment**. *Bioresource Technology* 89 (2003) 1–16p.