

Quantificação de perdas geradas no processo de desodorização do óleo de palma a partir do índice de acidez

Quantification of losses generated in the deodorized process of palm oil from the acidity level

Jaymes Eliezer Almeida dos Santos¹, Emanuela França Barbosa¹, Thaiana de Fátima Ventura de Pinho¹, Wenderson Gomes dos Santos², Romero Moreira de Oliveira¹, Dilson Nazareno Pereira Cardoso¹, Emerson Cardoso Rodrigues¹, Josiel Lobato Ferreira^{1*}

RESUMO

A refinação física do óleo de palma bruto gera em seu processo perdas associadas às etapas de produção (degomagem, branqueamento e desodorização). A desodorização, que consiste em uma destilação por arraste a vapor dos componentes voláteis presentes no óleo de palma tem como produto principal um óleo de palma refinado, clarificado e desodorizado (RBD PO) que está apto para comercialização. Na etapa de desodorização há a geração do subproduto comercializado como ácido graxo e há a geração de resíduos de componentes voláteis. Não há quantificação padrão do volume gerado do resíduo na etapa de desodorização que permita a realização de apontamento para criação de saldo em sistema gerando por consequência uma diferença mensal entre estoque físico e virtual. Mapeando pontos estratégicos em todo o processo de desodorização e com base nos índices de acidez desses pontos, o estudo tem como objetivo estimar uma porcentagem padrão de resíduo para um determinado volume de matéria-prima consumida, sendo assim, reduzir a diferença existente entre estoque físico e virtual. A partir da metodologia proposta foi possível reduzir em 42,36% a diferença entre saldo virtual e estoque físico para geração de resíduo no processo.

Palavras-chave: Óleo de palma; Índice de acidez; Desodorização; Balanço de massa.

ABSTRACT

The physical refining of crude palm oil generates in its process losses associated with the production steps (degumming, bleaching and deodorization). The deodorization, which consists of steam distillation of the volatile components present in the palm oil, has as its main product a refined, clarified and deodorized palm oil (RBD PO) that is ready for commercialization. In the deodorization step there is the generation of the by-product marketed as fatty acid and there is the generation of volatile component residues. There is no standard quantification of the volume of waste generated in the deodorization stage that would allow the creation of a balance in the system, thus generating a monthly difference between the physical and virtual warehouse. Mapping strategic points throughout the deodorization process and based on the acidity indexes of these points, the study aims to estimate a standard percentage of waste for a given volume of raw material consumed, thus reducing the existing difference between physical and virtual balances. From the proposed methodology it was possible to reduce by 42.36% the difference between virtual balance and physical stock for waste generation in the process.

Keywords: Palm oil; Acidity level; Deodorized; Mass balance.

¹ Universidade Federal do Pará

*E-mail: jlobato@ufpa.br

² Universidade Federal do Amazonas

INTRODUÇÃO

O óleo de palma, presente na polpa do fruto, acha-se, como em todas as sementes oleaginosas, contido em esferossomas, ou seja, gotículas líquidas envolvidas por uma película protetora de natureza proteica (CURVELO, 2010). Enquanto o óleo se acha no interior dos esferossomas, ele se encontra protegido, no momento em que esse óleo é liberado para a polpa, por ruptura das películas protetoras, ele passa a sofrer a ação de uma série de agentes externos, alguns provenientes do próprio fruto e outros provenientes do meio ambiente (SILVA, 2015).

O óleo de palma bruto (CPO = crude palm oil) é, necessariamente, obtido em usinas situadas junto às plantações, em regiões de clima tropical (WANTUIL, 2016). Esse óleo bruto pode ser comercializado em sua forma original ou pode ser submetido a um estágio inicial de processamento, que permite a obtenção dos chamados óleos de palma processados (PPO = processed palm oils), dos quais os mais comuns são: óleo de palma neutralizado (NPO); óleo de palma neutralizado e clarificado (NBPO); óleo de palma neutralizado, clarificado e desodorizado (NBD PO) e óleo de palma refinado, clarificado e desodorizado (RBD PO) (NETTO, 2019).

Os óleos refinados são os óleos de palma processados por processos de refinação química ou refinação física e se constituem em produtos elaborados, com especificações rígidas, cuja utilização maior é em produtos alimentícios (GRIMALDI, 2019). Na refinação física, os ácidos graxos livres são destilados do óleo, adequadamente condicionado, e separados na forma de ácidos graxos destilados (NETTO, 2019).

Os óleos obtidos por refinação física são usualmente designados por óleos: refinado, branqueado e desodorizado (RBD = refined, bleached and deodorized), ou seja, etapas de degomagem, tratamento com adsorventes e desacidificação sob vácuo em alta temperatura (NETTO, 2019).

A etapa de degomagem é necessária e indispensável, tanto na refinação química, quanto na refinação física e seu objetivo principal é a remoção de fosfatídeos presentes no óleo bruto; a presença desses fosfatídeos irá interferir com as etapas posteriores de processamento, seja afetando rendimentos, seja afetando a qualidade do óleo (SAMPAIO, 2011).

Os objetivos da degomagem são: hidratação de fosfolipídios hidratáveis insolubilizando-os no óleo, de modo a permitir sua separação ou inativação;

decomposição de fosfolipídios não hidratáveis, tornando-os hidratáveis; remoção de impurezas diversas, principalmente sabões e íons metálicos, em decurso de fenômenos de adsorção eletroquímica das gomas insolubilizadas (MUHAMAD *et al.*, 2010).

Existem diversos procedimentos para degomagem de óleos vegetais, entre eles a degomagem ácida (GRIMALDI, 2019). Na degomagem ácida é preciso considerar-se que o ácido é adicionado ao óleo para decompor alguns tipos de fosfatídeos não hidratáveis e para atacar e sequestrar íons metálicos (MANCIO, 2010).

A etapa de tratamento com adsorventes (branqueamento) é também necessária e indispensável, tanto na refinação química, quanto na refinação física; seu objetivo básico é o de remover substâncias diversas, inclusive corantes, cuja presença não é aceitável em um óleo refinado (MANDARINO, 2015).

Os objetivos principais da etapa de tratamento com adsorventes são: remoção de fosfatídeos residuais, presentes no óleo, possibilitando sua redução para níveis de 4 ppm máximo de teor de fósforo; remoção parcial de corantes naturais presentes, tais como clorofilinas e carotenoides, com a consequente redução de cor do óleo; remoção de íons metálicos presentes, especialmente íons de ferro e cobre, para evitar sua ação catalítica na oxidação do óleo assim como remoção parcial de produtos de oxidação secundária (principalmente aldeídos) (O'BRIEN, 2009; SKEVIN *et al.*, 2012).

O material adsorvente a ser usado deve ter características apropriadas para atender às necessidades de processo, sendo mais comum a utilização de montmorilonitas ativadas (argilas), carvão ativo e sílicas especiais (ALMEIDA, 2017). Bentonitas e montmorilonitas naturais e outras, que podem ser utilizados em certas circunstâncias, devido ao seu menor custo, não apresentam performances tão satisfatória quanto os materiais adsorventes mencionados anteriormente, porém, para o tratamento com óleo de palma, essas argilas adsorvem os carotenoides de forma satisfatória (PATRICIO *et al.*, 2014).

A etapa de desodorização, na refinação química, e a de desacidificação – desodorização, na refinação física, são tecnicamente idênticas, consistindo em um processamento do óleo sob vácuo, em temperatura elevada e corrente de vapor, para destilar os ácidos graxos livres e outros compostos de volatilidade similar; naturalmente, na refinação física a quantidade de ácidos graxos a destilar é muito maior, uma vez que não ocorre sua remoção prévia na forma de sabões (SILVA *et al.*, 2014).

A natureza do óleo influencia nas condições de desodorização, uma vez que os ácidos graxos presentes no óleo podem apresentar características bastante diferentes no que diz respeito aos seus pesos moleculares e, conseqüentemente, volatilidade e tensão de vapor. Nesses processos de destilação em corrente de vapor, os componentes voláteis presentes têm um comportamento similar ao dos ácidos graxos livres presentes, de modo que, a variação no teor desses ácidos graxos livres pode ser tomada como parâmetro de controle de processo (MUHAMAD *et al.*, 2010).

A elevação na temperatura de desodorização favorece a decomposição de carotenos para hidrocarbonetos voláteis e resultando em uma redução na cor vermelha do óleo processado além de favorecer a decomposição de peróxidos o que é desejável ao processo, porém, elevação na temperatura resulta também em reação de hidrólise de glicérides resultando em maior teor de ácidos graxos livres e também na destilação de tocoferóis (antioxidante natural do óleo de palma) o que vem a ser indesejável ao processo (MUHAMAD *et al.*, 2010; REIMERS *et al.*, 2019).

De tal forma, é recomendado que a desodorização ocorra a temperaturas de 240°C até 270°C, sendo o limite máximo prejudicial ao refino do óleo de palma por favorecer a formação do composto químico orgânicos 3MCPD (3-monocloropropano-1,2-diol ou 3-cloropropano-1,2-diol), composto esse que tem característica tóxicas e são prejudiciais ao consumo humano (REIMERS *et al.*, 2019).

Um dos principais objetivos da desodorização é a obtenção de um óleo processado com acidez livre inferior a 0,05%, para eliminação completa de substâncias voláteis odoríferas e gustativas além de produzir um óleo com: cor adequada (geralmente inferior a 2,5 vermelho); estabilidade oxidativa máxima; destruição de peróxidos presentes no óleo; eliminação de alguns compostos voláteis, produtos secundários de oxidação (principalmente aldeídos e cetonas); limitação na eliminação ou destruição de tocoferóis e de outros compostos presentes de alto ponto de ebulição (ocorre em temperaturas superiores a 270°C) e remoção tão completa quanto possível de compostos voláteis indesejáveis (MUHAMAD *et al.*, 2010).

No desenvolvimento desse trabalho utilizou-se dados reais de uma empresa de refino de óleo de palma situada no estado do Pará. Tal empresa utiliza em seu processo de refinação física do óleo de palma as etapas de: degomagem ácida (utilização de ácido cítrico); etapa de tratamento com adsorventes (branqueamento) utilizando-se de

montmorilonitas naturais (argilas) como adsorvente e etapa de desodorização física (destilação por arraste a vapor) para produção do óleo de palma refinado (RBD PO).

Uma das problemáticas enfrentadas pela empresa é a geração de saldo virtual que acompanhem sua produção física, esse saldo posteriormente é consumido sempre que há o apontamento (venda) de determinados produtos. Entre esses produtos ocorre a comercialização do óleo recuperado, denominado de resíduo.

A empresa adota um único tanque de resíduo que recebe o óleo recuperado pela estação de tratamento de efluentes (ETE), volume de óleo drenado nas áreas de tancagem e resíduos gerados no processo de desodorização. Devido as condições atuais de infraestrutura não é possível quantificar o volume gerado pela ETE e pelo óleo drenado dos sistemas de tancagem.

A metodologia atual da empresa emprega o apontamento de um volume conhecido (tanque de estocagem) de RBD PO produzido e uma quantidade padrão de volume de ácidos graxos do subproduto, não sendo gerado uma quantidade virtual para o saldo de resíduo da desodorização por não haver a quantificação dessa vazão mássica de perda. Usualmente para sanar a problemática na diferença de saldo, são realizados ajustes no saldo do tanque de resíduo com o volume físico do mesmo através da diferença positiva em saldo virtual nos tanques de óleo bruto (CPO) e refinado (RBD PO).

O período avaliado foi o mês de novembro de 2020 onde a empresa apresentou 98,37 toneladas de diferença em saldo virtual para o volume gerado no tanque de resíduo (estoque físico). Atualmente a empresa emprega uma conversão de 96,44% do volume de óleo branqueado (RB PO) que é produzido do tanque pulmão como saldo para produção de óleo refinado (RBD PO) e 3,56% como geração de ácidos graxos (subproduto comercializado).

Todos os dados utilizados a partir da caracterização do ácido graxo e óleo de palma refinado foram fornecidos pelo setor de Controle de Qualidade (CQ) da própria empresa.

A partir do fluxograma da refinação física do óleo de palma (desodorização) e das caracterizações dos produtos nas diversas etapas tem-se como objetivo calcular a vazão mássica de perdas na desodorização a fim de propor uma nova quantificação de apontamento para os volumes de RBD PO e ácido graxo produzidos.

METODOLOGIA

Caracterização do óleo de palma

Para estimar a vazão mássica de componentes voláteis que são arrastados (perdas) pelo sistema de vácuo do processo de desodorização foram mapeados pontos estratégicos desse processo de destilação por arraste a vapor. Esses pontos são enumerados na Tabela 1 e mostrados a partir do fluxograma do processo (Figura 1).

Como as condições de processo para desodorização oferece pressão de vácuo e temperaturas elevadas (Tabela 1) para destilação dos ácidos graxos em etapas distintas do processo, dessa forma, realizando a coleta de amostras nesses pontos foram solicitadas análises de índice de acidez ao controle de qualidade da empresa.

Os resultados da caracterização do óleo de palma a partir do índice de acidez são apresentados na tabela 1 e são os dados de entrada para realização do balanço de massa para esses componentes. A partir do balanço de massa dos ácidos graxos e possível estimar a perda dos mesmos no processo.

Tabela 1 - Caracterização do óleo de palma.

Equipamento	Ponto de coleta	Índice de acidez (%)	Temperatura (°C)	Pressão (mbar)
Tanque pulmão	1	4,109	150	-
Desareador	2	4,011	150	-
VHE 703	3	1,167	265	-
1ª bandeja do desodorizador	4	0,065	261	3,56
Saída do desodorizador	5	0,059	258	-
post-stripping	6	0,036	251	2,86
VHE 702	7	0,016	251	-
Tanque de ácido graxo	8	90,27	-	-

Fonte: Autor.

A metodologia adotada pela empresa para realização da análise de índice de acidez é a recomendada pela The American Oil Chemists' Society (SOCIETY, 2020), que consiste em um preparo de amostra que deve ser aquecida em banho-maria 10°C acima do seu ponto de fusão ou até ficar fluida e homogênea, antes da pesagem. Posteriormente pesa-se 50 – 55 g de óleo a ser analisado em um Erlenmeyer e em seguida, adiciona-se 50 mL de álcool etílico previamente neutralizado e 1 mL de fenolftaleína ao Erlenmeyer.

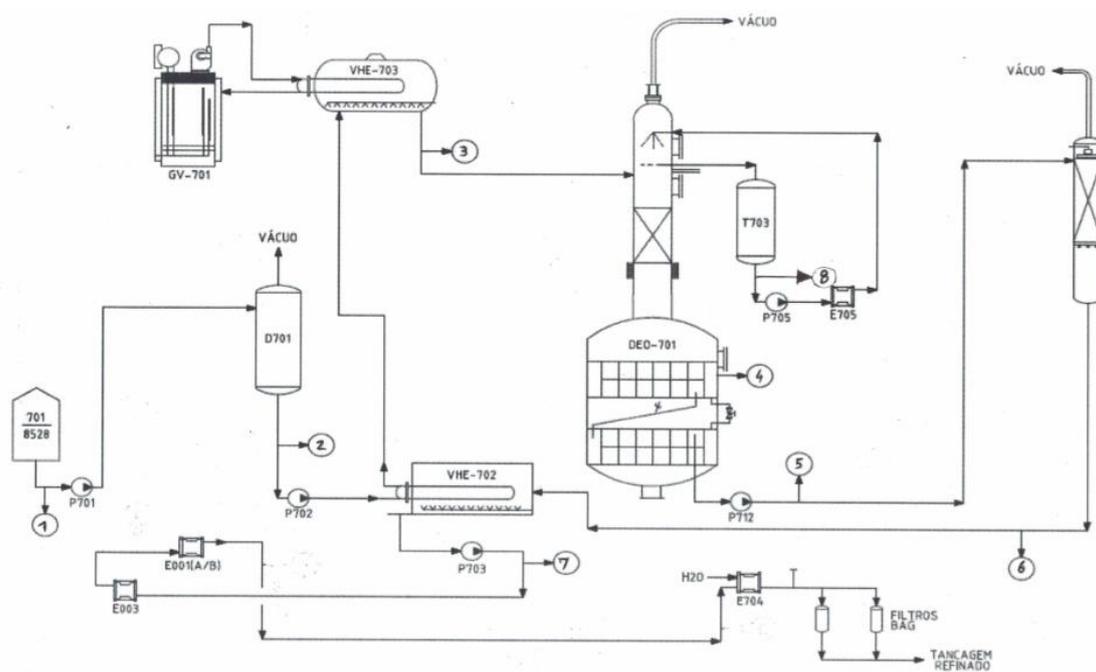
Em seguida, titula-se com NaOH a 0,1 M adicionando-o gradualmente com agitação vigorosa e constante até o ponto de viragem persistir por 30 segundos. Para

visualizar melhor o ponto de viragem, deixa-se o Erlenmeyer em uma superfície plana e clara por alguns segundos, sendo o resultado final da análise expresso em porcentagem.

Vale ressaltar que a empresa possui certificações que são fundamentais para manter a sua credibilidade no mercado. Entre elas, os certificados ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, ISO 22000, FSSC 22000 e o Selo Orgânico, emitido pelo IBD, organização credenciada pela IFOAM (Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica), que regulamenta a agricultura orgânica em todo o mundo e garante um processo de produção sem o uso de fertilizantes químicos ou pesticidas.

A Figura 1, que segue abaixo, contém o fluxograma do processo de desodorização mapeado e analisado nesse estudo, os pontos analisados são enumerados de 1 a 8 e a descrição dos componentes do fluxograma compõe a Tabela 1.

Figura 1 – Fluxograma do óleo de palma.



Fonte: Autor.

A vazão mássica inicial de 12.500 kg/h de óleo branqueado (RB PO) do tanque pulmão (8528/701) segue para o desareador e posteriormente vai para o trocador de calor por serpentinhas (VHE 703), após atingir temperatura de 265°C o óleo entra pela zona superior da coluna de destilação (abaixo do sistema de vácuo) onde, por gravidade, cai até 1ª bandeja do desodorizador, após transbordo do óleo presente na 1ª bandeja o mesmo preenche a 2ª bandeja do desodorizador até que o mesmo seja bombeado do desodorizador

para o post-stripping e após a destilação auxiliar do post-stripping segue até o trocador de calor por serpentina (VHE 702) e por fim sofre trocas térmicas (trocadores de placas) até atingir 60°C e ser armazenado.

Pode-se considerar a vazão de ácido graxos gerados no subproduto como sendo 503 kg/h (volume do tanque de ácido graxo que leva em média uma hora para encher), seu índice de acidez é descrito na Tabela 1. É importante ressaltar que o desareador, VHE 703, post-stripping e VHE 702 que estão sobre efeito da pressão de vácuo, tem suas correntes de ácidos graxos destilados direcionadas para a coluna de destilação do desodorizador e entram com essas correntes abaixo do sistema de vácuo do mesmo.

Balanço parcial de ácidos graxos

Admitindo-se o processo em regime permanente, sem reação química e sem alterações em seus parâmetros de controle (temperatura e pressão), pode-se calcular as vazões mássicas nas etapas de processo (Q_m) a partir da vazão de alimentação do tanque pulmão e os respectivos índices de acidez, logo pode-se considerar:

- Vazão mássica do desareador:

$$Q_{m2} = Q_{m1} - Q_{m1}(I_{A1} - I_{A2}) \quad (1)$$

- Vazão Mássica do VHE 703:

$$Q_{m3} = Q_{m2} - Q_{m2}(I_{A2} - I_{A3}) \quad (2)$$

Em que Q_{m1} , Q_{m2} e Q_{m3} são as vazões mássicas nos pontos 1, 2 e 3 assim como I_{A1} , I_{A2} e I_{A3} são os índices de acidez nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.

Para calcular a vazão mássica da 1ª bandeja da coluna de destilação (equipamento de desodorização) antes é necessário calcular a vazão mássica de ácidos graxos que se perde unicamente no sistema de vácuo do aparelho, lembrando que os ácidos graxos destilados no desareador e VHE 703 tem suas vazões direcionadas para coluna de destilação para minimizar as perdas, logo:

$$Q_{mPD} = Q_{m1}I_{A1} - Q_{m8}I_{A8} - (Q_{m3} - Q_{m8})I_{A4} \quad (3)$$

Sendo Q_{m3} e Q_{m8} as vazões mássicas nos pontos 3 e 8, respectivamente e Q_{mPD} a vazão de ácidos graxos perdidos unicamente no desodorizador. I_{A4} e I_{A8} são os índices de acidez nos pontos 4 e 8, respectivamente.

A partir da vazão mássica de ácidos graxos perdidos unicamente na coluna de destilação, é possível calcular a vazão mássica da 1ª bandeja, então:

$$Q_{m4} = Q_{m3} - Q_{m8} - Q_{mPD} + Q_{m1} - Q_{m2} + Q_{m2} - Q_{m3} \quad (4)$$

Sendo Q_{m4} a vazão mássica no ponto 4.

A partir da vazão mássica na 1ª bandeja do desodorizador é possível estimar as vazões mássicas remanescentes no fluxograma, uma vez que a corrente de destilado no ponto em questão é tomada como sendo a vazão no ponto anterior vezes seu respectivo índice de acidez (Tabela 1), logo:

- Vazão Mássica na Saída do Desodorizador:

$$Q_{m5} = Q_{m4} - Q_{m4}(I_{A4} - I_{A5}) \quad (5)$$

- Vazão Mássica no post-stripping:

$$Q_{m6} = Q_{m5} - Q_{m5}(I_{A5} - I_{A6}) \quad (6)$$

- Vazão Mássica do VHE 702:

$$Q_{m7} = Q_{m6} - Q_{m6}(I_{A6} - I_{A7}) \quad (7)$$

Em que Q_{m5} , Q_{m6} e Q_{m7} são as vazões mássicas nos 5, 6 e 7 assim como I_{A5} , I_{A5} e I_{A7} são os índices de acidez nos pontos 5, 6 e 7, respectivamente.

Dessa forma, pode-se afirmar que a vazão mássica de perda de ácidos graxos no processo de desodorização é igual a soma das perdas de ácidos graxos das Equações (3), (5), (6) e (7), sendo assim:

$$Q_{mPT} = Q_{mPD} + Q_{mP5} - Q_{mP6} + Q_{mP7} \quad (8)$$

Em que Q_{mPT} é a vazão mássica de perda total de ácidos graxos no sistema e Q_{P5} , Q_{P6} Q_{P7} são as vazões mássicas de perda de ácidos graxos nos pontos 5, 6 e 7 respectivamente.

Com isso, pode-se calcular a produção (rendimento) de óleo de palma refinado (RBD PO), ácidos graxos gerados e resíduos para o processo de desodorização, com base na vazão mássica inicial e final para cada um. Assim, tem-se que:

$$\text{Rendimento de RBD PO (\%)} = \frac{100Q_{m7}}{Q_{m1}} \quad (9)$$

$$\text{Rendimento de ácidos graxos (\%)} = \frac{100Q_{m8}}{Q_{m1}} \quad (10)$$

$$\text{Rendimento de resíduo (\%)} = \frac{100Q_{mPT}}{Q_{m1}} \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento do processo de desodorização

Pelo índice de acidez é possível afirmar que o maior volume de ácidos graxos destilado ocorre no VHE 703, e isso ocorre devido suas condições de temperatura (265°C) e pressão de vácuo (pode-se considerar igual a pressão no desodorizador; 3,46 mbar).

É possível analisar também que mesmo após a destilação principal, que ocorre no desodorizador, o óleo de palma ainda possui seu índice de acidez acima da especificação comercializada pela empresa (máximo de 0,05%). Sendo necessária uma destilação auxiliar, que ocorre no post-stripping.

A avaliação para o rendimento do processo deu-se através do balanço de massa parcial para os ácidos graxos livres presente no óleo de palma branqueado (RB PO do tanque pulmão) uma vez que a variação no teor desses ácidos graxos livres pode ser tomada como parâmetro de controle de processo. Para realizar a contabilidade do rendimento foram desconsideradas as proporções de aldeídos e cetonas que são destilados nessa etapa e somam ao volume gerado no resíduo e desconsiderado o teor de umidade presente no óleo (teor em 0,032% para RB PO).

A seguir, na Tabela 2, tem-se as vazões mássicas e frações de ácidos graxos por etapa obtido através das Equações (1-8).

Tabela 2 - Vazões mássicas de RBPO e ácido graxo.

Equipamento	Ponto de coleta	Vazão mássica RBD PO (kg/h)	Vazão mássica ácido graxo (kg/h)
Tanque pulmão	1	12.500,00	513,62
Desareador	2	12.487,75	500,88
VHE 703	3	12.132,60	141,59
1º bandeja do desodorizador	4	11.945,00	7,76
Saída do desodorizador	5	11.944,29	7,05
Post-stripping	6	11.941,54	4,30
VHE 702	7	11.939,13	1,91
Tanque de ácido graxo	8	503,00	454,06

Fonte: Autor.

Justamente por possuir o maior volume de ácidos graxos destilados, a corrente de destilação no VHE segue para o topo do desodorizador (coluna de destilação) para ser condensado e recuperado no subproduto (corrente acima da alimentação de óleo) e minimizar as perdas para o resíduo, uma vez que os ácidos graxos apresentam valor comercial.

Esse volume de recuperados é observado na vazão mássica do tanque de ácidos graxos, ponto 8. A diferença em vazão mássica no tanque de ácidos graxos e seu volume em ácidos graxos pode ser tomada como a porção de aldeídos, cetonas e tocoferóis que compõe o óleo de palma e apresentam comportamento volátil iguais aos ácidos graxos destilados.

Através da Tabela 2, pode-se afirmar que o volume de resíduo gerado no processo de desodorização é igual ao volume de alimentação no tanque pulmão menos a vazão mássica no VHE 702 (ponto 7) e menos a vazão mássica no tanque de ácido graxo (ponto 8), só sendo possível estimar a vazão mássica no VHE 702 através dos índices de acidez nos pontos mencionados no fluxograma.

Comparação dos resultados

Na Tabela 3, mostra-se o comparativo de produção a partir do percentual de rendimento padrão adotado pela empresa e o rendimento determinado pelo balanço de massa dos ácidos graxos, Equações (9-11), no processo de desodorização para uma alimentação de 12.500 kg/h de óleo branqueado.

Tabela 3 - Comparativo de rendimento de produção por produto.

Produto	Rendimento padrão (%)	Vazão mássica de produto (kg/h)	Rendimento calculado (%)	Vazão mássica de produto (kg/h)
RBD PO	96,44	12.055,00	95,513	11.939,13
Ácido Graxo	3,56	445,00	4,024	503,00
Resíduo (perdas)	0	0	0,463	57,87

Fonte: Autor.

Os rendimentos calculados para os três produtos analisados no trabalho mostraram-se mais coerentes com o volume real produzido pela empresa no mês de estudo, sendo o rendimento para os três produtos dependentes do índice de acidez do óleo de palma branqueado (alimentação do tanque pulmão, RB PO). Esse rendimento irá variar sempre que houver mudança na matéria-prima (óleo de palma bruto, CPO), sendo o mais aconselhável inserir o índice de acidez nas equações propostas no trabalho, Equações (1-11), para que a produção de saldo virtual seja coerente com a produção física diária.

A diferença de rendimento utilizado pela empresa (padrão) e o calculado (proposto) é menor que 1% (em relação a vazão mássica, kg/h) porém, a partir da Tabela 4, pode-se analisar a discrepância entre a produção por dia e por mês para cada produto a partir da diferença percentual pelos métodos adotados.

Tabela 4 - Diferença de saldo virtual por percentual proposto.

Produto	Produção padrão por dia (toneladas)	Produção proposta por dia (toneladas)	Produção padrão por mês (toneladas)	Produção proposta por mês (toneladas)	Diferença por dia (toneladas)	Diferença por mês (toneladas)
RBD PO	289,320	286,539	8.679,600	8.596,173	2,781	83,427
Ácido Graxo	10,680	12,072	320,400	362,160	1,392	41,760
Resíduo (perdas)	0	1,389	0	41,670	1,389	41,670

Fonte: Autor.

A diferença em volume (toneladas) que há para a produção de RBD PO pela metodologia adotada pela empresa e a proposta pode ser considerada irrelevante ao volume diário produzido, mas essa diferença é considerável e reflete diretamente em relação a produção diária de ácidos graxos (subproduto) e de resíduos.

Ao final do mês, pode-se avaliar que a diferença em saldo gerado para os três produtos é considerável e que os ajustes virtuais gerados ao final do mês poderiam ser minimizados utilizando-se o percentual de rendimento proposto.

No mês em questão a empresa apresentou 98,37 toneladas de resíduo em estoque físico sem saldo virtual, a partir do percentual proposto essa diferença poderia ser amenizada em 41,67 toneladas, reduzindo a demanda de ajuste para o produto ao fim do mês. Através do estudo realizado é possível estimar as perdas no processo de desodorização e com isso propor a controladoria da empresa a criação de saldo virtual para o resíduo a partir do volume de óleo refinado apontado.

CONCLUSÃO

O objetivo do estudo proposto foi alcançado, a metodologia utilizada para estimar a quantificação de resíduo gerado no processo de desodorização pelo arraste de ácidos graxos foi eficaz, visto que no período analisado a metodologia proposta reduziu a diferença existente entre os saldos virtuais e estoque físico para os três produtos contabilizados na produção, sobretudo para geração de resíduo (42,36% de redução na diferença entre saldo virtual e estoque).

A necessidade de ajuste em saldo virtual foi minimizada no período proposto, estando em avaliação pela controladoria da empresa para se tornar uma ferramenta de quantificação de resíduos gerados nessa etapa do processo.

A partir do estudo proposto os pontos de coleta analisados na Tabela 1 tornaram-se pontos críticos de controle de processo, tendo como base o monitoramento do índice de acidez e cor do óleo processado para garantir a eficiência do processo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S. **Adsorção de β -caroteno de óleo de palma em terras clarificantes comerciais: cinética, equilíbrio e mecanismos.** 2017. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em tecnologias químicas e biológica - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- SOCIETY, A. O. C. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS.** 7th ed. 2020.
- CURVELO, F. **Uma imersão no tabuleiro da baiana: O estudo do óleo de palma bruto.** 2010. Dissertação de Mestrado. Escola de Nutrição - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- GRIMALDI, R. **Óleo de palma - Composição e Características.** Editora Stilo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/oleos-e-gorduras/oleo-de-palma-composicao-e-caracteristicas-3/>. Acesso em: 03 dez. 2020.
- TAN, Y. A.; MUHAMMAD, H.; HASHIM, Z.; SUBRAMANIAM, V.; WEI, P. C.; LET, C. C.; NGAN, M. A.; MAY, C. Y. Life cycle assessment of refined palm oil production and fractionation (part 4). **Journal of Oil Palm Researcher**, v. 22, p. 913-926, 2010.
- MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI, M. H.; ROESSING, A. C. Tecnologia para a produção de óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. **Documentos 171.** 2ª ed. Londrina: Embrapa Soja, 2015.
- MANCIO, A. A.; MOTA, S. A. P.; MACHADO, N. T.; ARAÚJO, M. E.; LHAMAS, D. E. L.; DE ABREU, H. S.; DE OLIVEIRA, R. M. **Estudo da Influência do Processo de Degomagem e de operações Unitárias Sobre o Processo de Obtenção de Ésteres Etilicos a Partir do Óleo de Palma Bruto (*Elaeis Guineensis Jacq*).** In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, v. 1, 2010, Foz do Iguaçu, Anais, 2010.
- NETTO, C. G. Processo elimina contaminantes do óleo de palma. **Jornal da Unicamp**, Campinas, 2019. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2019/05/31/processo-elimina-contaminantes-do-oleo-de-palma>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- O'BRIEN, R. D. **Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications.** 3rd ed. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2009.
- PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; DE NONI JÚNIOR, A. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleo vegetais. **Cerâmica**, v. 60, p. 171-178, 2014.
- REIMERS, P.; KOZYUK, O.; LITTLE, D. Methods for refined palm oil production with reduced 3-MCPD formation. **WO2019217223**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337364619_METHODS_FOR_REFINED_P

ALM_OIL_PRODUCTION_WITH_REDUCED_3-
MCPD_FORMATION_WO2019217223>. Acesso em: 10 mar. 2021

SAMPAIO, K. **Desacidificação por via física de óleo de palma: Efeito da composição do óleo, das perdas de compostos nutracêuticos e cinéticas de degradação**. 2011. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SILVA, M. **Análise físico-química dos óleos do dendezeiro (*Elaeis Guineensis Jacq*)**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Agronomia - Universidade Estadual do Piauí, Parnaíba, 2015.

SILVA, S. M.; SAMPAIO, K. A.; CERIANE, R.; VERHÉ, R. STEVENS C.; DE GREYT W.; MEIRELLES, A. J. A. Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. **LWT – Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1258-1264, 2014.

SKEVIN, D.; DOMIJAN, T.; KRALJIC, K.; KLJUSURI, J. G.; NEDERAL, S.; OBRANOVIC, M. Optimization of Bleaching Parameters for Soybean Oil. **Food Technology Biotechnology**, v. 50, n. 2, p. 199-207, 2012.

WANTUIL, S. **Óleo de palma: os impactos provocados no meio ambiente e os desafios de uma produção sustentável**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em geografia e meio ambiente – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Recebido em: 03/05/2022

Aprovado em: 05/06/2022

Publicado em: 08/06/2022