



**THOMAZ TASSINARI**

**MONITORAMENTO DE CAIXA RETENTORA  
DE GORDURA COM AERAÇÃO OPCIONAL  
VISANDO À OBTENÇÃO DE ÓLEOS E  
GORDURAS PARA A PRODUÇÃO DE  
BIODIESEL**

**LAVRAS-MG**

**2014**

**THOMAZ TASSINARI**

**MONITORAMENTO DE CAIXA RETENTORA DE GORDURA COM  
AERAÇÃO OPCIONAL VISANDO À OBTENÇÃO DE ÓLEOS E  
GORDURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos

Coorientador

Dr. Pedro Castro Neto

**LAVRAS – MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Tassinari, Thomaz.

Monitoramento de caixa retentora de gordura com aeração  
opcional visando a obtenção de óleos e gorduras para a produção de  
biodiesel / Thomaz Tassinari. – Lavras : UFLA, 2014.

72 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Cláudio Milton Montenegro Campos.

Bibliografia.

1. Ésteres alquílicos. 2. Ácidos graxos livres. 3. Tratamento  
preliminar. 4. Esterificação. 5. Sólidos. I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.

CDD – 662.87

**THOMAZ TASSINARI**

**MONITORAMENTO DE CAIXA RETENTORA DE GORDURA COM  
AERAÇÃO OPCIONAL VISANDO À OBTENÇÃO DE ÓLEOS E  
GORDURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 6 de agosto de 2014.

Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos

UFLA

Dr. Diego Luiz Nunes Ventrella

UFOP

Dr. Pedro Castro Neto

UFLA

Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2014**

*Aos meus pais, Luiz Fernando e Eunice pelo amor,  
exemplo de integridade e apoio nos momentos difíceis.*

*À Laura, minha companheira, pelo amor,  
apoio e exemplo de dedicação à vida.*

*Ao Diego, meu irmão, pela amizade fraterna e  
apoio fundamental nas questões acadêmicas.*

*Ao Luiz Fernando, meu filho, pelo amor, compreensão e paciência que  
me possibilitaram dedicar com afinco à elaboração deste trabalho.*

*DEDICO.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (Fapemig) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e à Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB), financiadores de diversos projetos que permitiram a existência do Laboratório de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel da UFLA.

Ao professor, Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos, pela dedicação, sábios conselhos e orientação, fundamentais para a correta condução deste trabalho.

Ao professor Dr. Pedro Castro Neto pela amizade, disponibilidade de seu tempo e exemplar estilo de trabalho.

Ao professor Dr. Diego Luiz Nunes Ventrella por dispor de seu tempo aceitando fazer parte da banca avaliadora deste trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Carlos Fraga, pela amizade e enriquecimento das discussões no ambiente de trabalho.

Ao professor Mário César Guerreiro pelas pertinentes elucidações e transferência de conhecimento sobre as questões físico-químicas envolvidas no trabalho.

Ao Grupo de Pesquisas em Plantas Oleaginosas, Óleos Gorduras e Biodiesel da UFLA pelo suporte laboratorial, fundamental para a realização desta pesquisa.

Às colegas Bárbara, Daniela e Marcela pela atenção e paciência ao transmitir seus conhecimentos sobre análises de óleo e produção de biodiesel.

Aos bolsistas Hederson, Marcelo, Mayara, Pâmela e Raquel que contribuíram com seu trabalho e prontidão, sendo peças-chave na realização deste estudo.

Ao Wesley e Alex, e ao Laboratório de Análises de Água da Universidade Federal de Lavras pela dedicação ao trabalho e suporte oferecido, peças-chave para a viabilidade deste trabalho.

Aos professores e colegas do setor de Hidráulica do Departamento de Engenharia da UFLA, pela agradável convivência e acessibilidade.

## RESUMO

Foi realizado um monitoramento na Caixa Retentora de Gordura (CRG) do Restaurante Universitário da Universidade Federal de Lavras, a fim de verificar a alteração das concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas e detergentes do efluente após a passagem pela unidade com e sem o acionamento do sistema de flotação por ar disperso instalado no local. Foram monitorados o potencial hidrogeniônico, vazão, temperatura, e concentração de oxigênio dissolvido na entrada e saída da caixa. Coletou-se amostras de óleos e gorduras removidos e acumulados pela CRG, que foram analisadas quanto aos índices de acidez, peróxidos, saponificação e refração. Os resultados das análises foram relacionados com a utilização antecedente de processos de fritura por imersão no restaurante e um ensaio em escala laboratorial de produção de biodiesel em duas etapas foi conduzido. A unidade foi eficiente na remoção dos seguintes parâmetros: óleos e graxas (74,3% de remoção), sólidos totais (26,8%), sólidos voláteis (33,2%), sólidos dissolvidos totais (30,7%) e sólidos sedimentáveis (53,22%). A utilização de métodos de fritura por imersão nos dias anteriores à coleta causou variações dos índices de acidez e peróxidos com elevações de 37,% e 23,6%, respectivamente. Pelos resultados, conclui-se que a unidade promove um tratamento preliminar substancial no efluente do restaurante reduzindo as cargas à jusante. Pela qualidade do material lipídico recolhido e analisado, pode-se concluir que sua potencialidade para produção de biodiesel por processos tradicionais como a transesterificação alcalina depende de etapas antecedentes de purificação como, por exemplo, a esterificação dos ácidos graxos livres com catálise ácida e secagem.

**[G1] Comentário:** , sendo conduzido em duas etapas.

Palavras-chave: Caixa Retentora de Gordura (CRG). Tratamento preliminar. Sólidos. Biodiesel. Esterificação. Ácidos graxos livres.

## ABSTRACT

A monitoring was carried out at the grease trap of the Federal University of Lavras' restaurant, in order to verify the changes caused by the passage of the effluent through the unit in some water quality parameters such as total, fixed and volatile solids, total dissolved solids, total suspended solids, settleable solids, oils and greases and surfactants. Temperature, pH values and dissolved oxygen concentrations before, during and after the treatment, were evaluated as well. Samples of the removed floated material were taken and its acid, saponification, peroxide and refraction values were analyzed on this work. The results were used to verify the relation between deep frying procedures carried at the restaurant kitchen and the quality of the lipid residue taken of the grease trap. Yet, some laboratory scale tests of biodiesel production by two step catalysis have also been performed. The unit showed efficiency in the removal of the following parameters: oils and greases (74,3% removal), total solids, (26,8%), volatile solids (33,2%) total dissolved solids (30,7%) and settleable solids (53,2%). The deep frying procedures, when carried out on the day before sampling, caused significant impact on acid and peroxide values with elevations of 37,8% and 23,6%, respectively. These results bring the conclusion that the unit promotes a substantial preliminary level treatment of the effluent reducing its pollutant loads downstream. The quality of the oils and greases collected indicates that pretreatments procedures like drying and free fatty acids removal by neutralization or acid esterification are necessary to perform biodiesel production using the alkali transesterification traditional method.

**Keywords:** Grease trap. Preliminary treatment. Solids. Biodiesel. Esterification. Free fatty acids.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fachada da CRG e restaurante universitário ao fundo .....	26
Figura 2 Tubulação de saída da CRG com registro para amostragem (a) e recipientes plásticos utilizados para armazenamento das amostras compostas (b) .....	35
Figura 3 Unidade automática de raspagem de espuma e painel para automação.....	36
Figura 4 Procedimento da raspagem manual da espuma acumulada na CRG ...	36
Figura 5 Calha Parshall (a) e régua de leitura graduada em L.s-1(b) .....	38
Figura 6 Leituras dos valores da concentração de OD (a) e pH (b).....	39
Figura 7 Fases da espuma separadas por gravidade no recipiente de coleta (a) e separação dos dois extratos para análises (b) .....	42
Figura 8 Amostras antes da desemulsificação/secagem (a) e amostra do Extrato 2 após a desemulsificação com duas fases distintas (b).....	43
Figura 9 Hidrograma de vazões médias medidas de hora em hora para os dois processos de operação (anaeróbio e aeróbio).....	47
Figura 10 Curva de variação da temperatura ao longo do dia para os dois processos de operação na entrada da CRG.....	49
Figura 11 Curva de variação da temperatura ao longo do dia para os dois processos de operação na saída da CRG .....	50
Figura 12 Formação de espuma na entrada da CRG (a) e na entrada da calha Parshall (b) .....	58
Figura 13 Extrato 1 após secagem (vermelho) e gordura liberada com a desemulsificação do Extrato 2, liquefeita devido ao aquecimento (azul), borra removida da emulsão (amarelo).....	65
Figura 14 Curvas de decaimento do IA ao longo do tempo de reação .....	69

Figura 15 Aspecto do produto da esterificação no reator antes da adição do catalisador (a), com 30 min de reação (b) com 2 h de reação (c) e com 4 h de reação (d) .....	70
Figura 16 Separação das fases após transesterificação e presença de sabões na interface ésteres-glicerina .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Parâmetros avaliados, locais das amostragens e métodos utilizados ..	40
Tabela 2 Parâmetros avaliados das amostras de OGR e métodos utilizados.....	41
Tabela 3 Valores médios dos parâmetros avaliados e resultados dos testes estatísticos empregados .....	46
Tabela 4 Desdobramento da análise de variância das concentrações de OD dentro do tratamento “Aeróbio” para os três pontos verificados.....	51
Tabela 5 Desdobramento da análise de variância das concentrações de OD dentro do tratamento “Anaeróbio” para os três pontos verificados....	51
Tabela 6 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG ao longo de todo período do monitoramento .....	56
Tabela 7 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG durante o processo aeróbio.....	56
Tabela 8 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG durante o processo anaeróbio .....	56
Tabela 9 Parâmetros do lodo amostrado na CRG nos três tratamentos: aeróbio (com soprador ligado e desligado) e anaeróbio .....	59
Tabela 10 Índices de acidez das amostras.....	61
Tabela 11 Médias, desvios e resultados do teste Scott Knot (1974) para os índices de saponificação das amostras .....	62
Tabela 12 Índices de refração das amostras.....	63
Tabela 13 Índices de peróxidos das amostras .....	64
Tabela 14 Teores de água dos dois extratos de OGR obtidos pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C .....	66
Tabela 15 Índices de acidez dos extratos 1 e 2 da espuma da CRG separados gravitacionalmente .....	67

Tabela 16 Resultado da análise de composição da borra obtida após desemulsificação dos OGR por aquecimento e métodos analíticos empregados nas análises.....	68
--	----

## **LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

(não é obrigatório pela biblioteca, fica a critério do autor)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Impactos causados por óleos e gorduras dispostos de forma inadequada</b> .....	20
<b>2.1.1</b>	<b>Impactos nas estações de tratamento de esgoto</b> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Tratamento de efluentes de cozinhas industriais e comerciais</b> .....	22
<b>2.2.1</b>	<b>Flotação</b> .....	23
<b>2.2.2</b>	<b>Caixas retentoras de gordura: princípios de funcionamento</b> .....	24
<b>2.2.3</b>	<b>A Caixa Retentora de Gordura CRG do restaurante universitário da UFLA</b> .....	25
<b>2.3</b>	<b>Biodiesel: conceitos e vantagens</b> .....	26
<b>2.4</b>	<b>Utilização de óleos e gorduras residuais na produção de biodiesel</b> .....	28
<b>2.4.1</b>	<b>Caracterização de óleos e gorduras residuais de cozinhas</b> .....	29
<b>2.4.2</b>	<b>Purificação de óleos e gorduras residuais</b> .....	31
<b>2.4.3</b>	<b>Rotas alternativas para produção de biodiesel com matérias-primas de baixa qualidade</b> .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	33
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da Caixa Retentora de Gordura (CRG/UFLA)</b> ..	33
<b>3.2</b>	<b>Regime de amostragens</b> .....	34
<b>3.2.1</b>	<b>Afluente e efluente</b> .....	34
<b>3.2.2</b>	<b>Escuma</b> .....	35
<b>3.2.3</b>	<b>Quantificação da espuma recolhida</b> .....	36
<b>3.2.4</b>	<b>Lodo</b> .....	37
<b>3.3</b>	<b>Monitoramento das condições de operação</b> .....	37
<b>3.3.1</b>	<b>Temperaturas</b> .....	38

3.3.2	Vazão .....	38
3.3.3	Oxigênio dissolvido.....	39
3.3.4	Potencial hidrogeniônico - pH.....	39
3.4	Caracterização do afluente e efluente da caixa.....	40
3.5	Caracterização e purificação da gordura recolhida na CRG.....	40
3.5.1	Caracterização analítica .....	40
3.5.2	Separação dos extratos.....	41
3.5.3	Teor de água.....	42
3.5.4	Desemulsificação e caracterização da borra .....	43
3.6	Ensaio de produção.....	44
3.6.1	Esterificação ácida.....	44
3.6.2	Transesterificação alcalina .....	44
3.7	Análises estatísticas .....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
4.1	Vazão .....	47
4.2	Temperatura .....	48
4.2.1	Temperatura da água residual afluente .....	48
4.2.2	Temperatura da água residual efluente .....	49
4.3	Oxigênio dissolvido.....	51
4.4	Potencial hidrogeniônico-pH .....	52
4.5	Sólidos.....	53
4.5.1	Sólidos dissolvidos totais.....	53
4.5.2	Sólidos suspensos totais (SST).....	53
4.5.3	Sólidos sedimentáveis.....	54
4.5.4	Sólidos totais, fixos e voláteis.....	54
4.5.4.1	Totais .....	55
4.5.4.2	Fixos.....	55
4.5.4.3	Voláteis .....	55

4.6	Óleos e graxas .....	56
4.7	Detergentes .....	57
4.8	Lodo .....	58
4.9	Qualidade dos óleos e gorduras e viabilidade da produção de biodiesel .....	60
4.9.1	Índice de acidez.....	61
4.9.2	Índice de saponificação .....	62
4.9.3	Índice de refração .....	63
4.9.4	Índice de peróxidos.....	63
4.10	Quantificação dos OGR .....	64
4.10.1	Presença de emulsões e desemulsificação .....	65
4.11	Caracterização dos extratos .....	66
4.11.1	Teor de água.....	66
4.11.2	Índice de acidez.....	66
4.11.3	Análises de composição da borra .....	67
4.12	Ensaio de produção.....	68
4.12.1	Esterificação ácida.....	68
4.12.2	Transesterificação alcalina .....	71
5	CONCLUSÕES .....	74
6	RECOMENDAÇÕES .....	75
	REFERÊNCIAS .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Efluentes com altas concentrações de óleos e gorduras, como os descartados por restaurantes e lanchonetes, necessitam ser previamente tratados *in situ*, para que a maior quantidade possível desses compostos seja removida antes de atingirem as redes de esgoto. Quando o tratamento não é realizado, ou é feito de forma inadequada, os óleos e gorduras contidos no efluente contribuem para a formação de depósitos dentro das tubulações, diminuindo suas seções transversais, podendo levar a entupimentos com sérias consequências para a população e para o meio ambiente.

A unidade de tratamento preliminar de efluentes responsável pela separação de óleos e gorduras da água residual é a Caixa Retentora de Gordura (CRG) e normalmente está associada às cozinhas, domésticas e industriais, ou a outras unidades processadoras de alimento. Dependendo do nível de automação empregado na concepção da CRG, esta necessita ser limpa periodicamente para que o excesso de material removido pela flotação e acumulado não cause entupimento, transbordamento e mau cheiro. Da operação de limpeza da caixa, é obtido um resíduo potencialmente poluente que, de maneira geral vai para o lixo comum e é depositado nos aterros sanitários ou lixões, dependendo da política local de coleta e disposição final de resíduos sólidos.

Diante de um cenário global de elevação dos preços dos derivados de petróleo e redução das reservas desse mineral, o biodiesel entra em cena como um substituto parcial ou total do diesel mineral para todos os processos em que este é utilizado, com a grande vantagem de ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e residuais. Embora seja ampla a variedade de matérias-primas passíveis de serem convertidas a ésteres alquílicos de ácidos graxos, os elevados custos dos óleos vegetais refinados,

principal matéria-prima utilizada no Brasil, representam um entrave à competitividade mercadológica do biodiesel.

Frente a isso, as matérias-primas de baixa qualidade têm atraído atenção de pesquisadores e empresários, interessados na obtenção de matérias-primas que tornem a produção de biodiesel mais rentável e competitiva. Uma opção de grande potencial devido à ampla disponibilidade de oferta e baixíssimo valor de mercado é o resíduo gorduroso acumulado em caixas de gorduras de restaurantes e lanchonetes.

Os óleos e gorduras, durante os processos de cozimento, são submetidos a elevadas temperaturas e à exposição ao ar e à umidade dos alimentos preparados, o que confere ao resíduo gorduroso destes processos, elevados níveis de degradação. A qualidade deste material representa desafios à sua utilização na produção de biodiesel, e faz com que etapas prévias de purificação sejam necessárias antes da sua conversão a ésteres alquílicos de ácidos graxos.

Objetivou-se neste trabalho avaliar a eficiência da Caixa Retentora de Gordura (CRG) do Restaurante Universitário da Universidade Federal de Lavras (RU/UFLA) na remoção de poluentes provenientes do efluente do RU e monitorar os demais parâmetros como vazão, temperatura, pH e concentração de oxigênio dissolvido, visando dar suporte aos resultados obtidos nas análises físico-químicas. O estudo deu continuidade ao trabalho conduzido por Junqueira (2014), atuando na mesma unidade quando o RU funcionava apenas no turno do almoço.

O lodo formado no fundo da CRG foi analisado em relação à distribuição de suas frações sólidas e a espuma acumulada na superfície líquida foi avaliada, tendo em vista a definição de rotas de purificação para viabilizar seu uso como matéria-prima para a produção de biodiesel. Ao final foram realizados dois ensaios de produção de biodiesel via transesterificação alcalina

com tratamento prévio por esterificação com catálise ácida dos ácidos graxos livres (AGL).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Impactos causados por óleos e gorduras dispostos de forma inadequada**

Óleos e gorduras depois de serem utilizados em restaurantes tornam-se resíduos com poucas possibilidades de reutilização. Em alguns casos, são aproveitados na produção de sabões, mas, de modo geral, vão ser lançados no esgoto (COSTA NETO, 1996) formando depósitos que constituem um grave problema por causar entupimentos que resultam em danos ao meio ambiente e riscos à saúde humana (WILLIAMS et al., 2012), além de dificultarem os processos biológicos em estações de tratamento de efluentes.

Os resíduos gordurosos de restaurantes e de outras cozinhas comerciais são, provavelmente, os mais negligenciados em relação ao tratamento, embora seu gerenciamento seja de fundamental importância, especialmente em países em desenvolvimento (STOLL, 1997).

O despejo de águas residuais na natureza, com altos níveis de óleos e graxas (O&G) causa sérias interferências na vida aquática e pode causar acúmulos de material flutuante e formar filmes nas superfícies dos corpos hídricos (TCHOBANOGULUS; BURTON, 1991).

#### **2.1.1 Impactos nas estações de tratamento de esgoto**

Óleos e gorduras causam impactos negativos nas redes de esgoto e nos sistemas de tratamento devido aos depósitos nas tubulações que podem levar entupimentos e refluxos com consequências potencialmente graves para a saúde da população.

Pesquisas recentes sugerem que as reações de saponificação podem estar envolvidas nos mecanismos de formação dos depósitos de óleos e gorduras

residuais nas redes de esgoto, possivelmente mediadas por reações entre produtos de limpeza alcalinos utilizados em cozinhas com os ácidos graxos livres. Esses mecanismos são também mediados pela biodegradação associada à transformação dos perfis de ácidos graxos insaturados para saturados (WILLIAMS ET AL., 2012).

Efluentes brutos de restaurantes e de outros estabelecimentos que processam esses compostos apresentam altos teores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), óleos e graxas (O&G) e sólidos suspensos totais (SST), que geram sobrecarga às estações de tratamento de esgotos (HAO; YUEFENG; YEN-CHIH, 2012). Isso leva, geralmente, a onerosas modificações, tais quais: a inclusão de processos físico-químicos como flotação, sedimentação, floculação e filtração por membrana (NAKHLA et al., 2003).

Na digestão anaeróbia de efluentes contendo altos teores de óleos e graxas, a maior parte dos compostos orgânicos a ser degradada é constituída de ácidos graxos de cadeia longa, que se encontram esterificados com glicerol formando triglicerídeos (KOSTER; CRAMER, 1987) ou não esterificados como é o caso dos ácidos graxos livres.

Koster e Cramer (1987) trabalhando com diferentes concentrações de cinco diferentes ácidos graxos de cadeia longa verificaram acentuado declínio da atividade metanogênica de bactérias em reatores anaeróbios e concluíram que esses compostos são potenciais inibidores da formação microbiana metanogênica, corroborando com os resultados de Angelidaki e Ahring (1992) que também concluíram que óleos e graxas são inibidores do crescimento bacteriano em processos anaeróbios.

Henderson (1973 citado por ANGELIDAKI; AHRING, 1992) atribuiu a causa do efeito tóxico dos ácidos graxos livres de cadeia longa nos processos anaeróbios à adesão à superfície da parede celular bacteriana, o que causa impedimento à passagem de nutrientes essenciais.

## 2.2 Tratamento de efluentes de cozinhas industriais e comerciais

Efluentes de restaurantes devem ser tratados *in situ*, antes de serem descartados. Embora os outros compostos orgânicos presentes nesses efluentes sejam altamente biodegradáveis, águas residuais com altos teores de óleos e graxas são difíceis de serem tratadas com processos biológicos (YANG; CHEN; CHEN, 2012).

As unidades que descartam significativas quantidades de óleos e gorduras, através de efluentes líquidos geralmente contam com caixas de gordura para simplesmente interceptar boa parte desses compostos de modo a prevenir entupimentos à jusante (WAKELIN; FORSTER, 1998).

A caracterização dos sólidos presentes à montante e jusante é de fundamental importância na avaliação da eficiência de uma unidade como forma de tratamento preliminar. Os sólidos podem ser classificados quanto ao tamanho e ao estado (dissolvidos ou em suspensão), características químicas (fixos ou voláteis) e quanto à sua decantabilidade (sedimentáveis e não sedimentáveis) (SPERLING, 1996).

Os efluentes de cozinhas, normalmente estão associados à significativa quantidade de substâncias ativas de superfície, ou surfactantes. Esses compostos, formados por grandes moléculas orgânicas são parcialmente solúveis em água e levam à formação de espuma tanto nas unidades de tratamento como na superfície dos corpos hídricos em que são lançados, tendendo a se acumular na interface ar-água (TCHOBANOGULUS; BURTON, 1991). Os surfactantes são encontrados em detergentes utilizados nos processos de limpeza em geral.

A redução das concentrações de sólidos totais, óleos e graxas e surfactantes do efluente, tornam os processos físicos, químicos e biológicos

conduzidos nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), menos onerosos e concomitantemente, com maior eficiência.

### **2.2.1 Flotação**

Óleos e gorduras podem estar dispersos, emulsificados ou dissolvidos na água em concentrações de até 1000 ppm. A presença de partículas agregadas e emulsificadas com dimensões em torno de 50  $\mu\text{m}$  causa problemas quando técnicas convencionais de separação são utilizadas, como a simples separação gravitacional. Com isso, a separação desses compostos orgânicos da água por meio da flotação, tem sido utilizada de várias maneiras por décadas (RUBIO; SOUZA; SMITH, 2002).

A flotação, fundamentalmente, se trata de um processo em que uma fase flutuante é utilizada para remover partículas dispersas em uma solução (SOLARI; GOCHIN, 1992). Essa operação é utilizada em unidades de tratamento preliminar, objetivando separar partículas sólidas ou líquidas da fase aquosa dos efluentes com as finalidades de evitar obstruções dos coletores, evitar aderência nas peças especiais como registros, válvulas e bombas, evitar acúmulo de materiais gordurosos, pois estes provocam odores desagradáveis e evitar problemas no funcionamento das Estações Elevatórias de Esgotos (EEEs) e Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). A separação é promovida pela introdução de pequenas bolhas de gás, normalmente ar, na massa líquida. Na flotação, bolhas aderem ao material particulado e a baixa densidade relativa da combinação das bolhas de gás com as partículas faz com que estas subam à superfície, acelerando a ascensão de compostos menos densos que a água, como é o caso dos óleos e gorduras. Uma vez que as partículas tenham subido para a superfície, pode-se recolher a espuma acumulada (TCHOBANOGULUS; BURTON, 1991).

Um método particular de flotação é a flotação por ar disperso ou induzido. Nesse caso, bolhas com diâmetros variáveis entre 40 e 1500  $\mu\text{m}$  são formadas com a introdução de ar diretamente na massa líquida por meio de difusores (RUBIO; SOUZA; SMITH, 2002). Esse procedimento foi implantado e é utilizado na CRG do RU/UFLA. A referida unidade de tratamento preliminar foi alvo do monitoramento descrito neste trabalho.

### 2.2.2 Caixas retentoras de gordura: princípios de funcionamento

Restaurantes **tipicamente** descartam grandes quantidades de sólidos, óleos e gorduras que causam redução da capacidade das redes de esgoto ao longo do tempo. O tratamento tradicional para esse efluente, antes de conduzi-lo à rede de esgotamento público consiste em uma Caixa Retentora de Gordura (CRG) que promove a separação das frações flotantes e sedimentáveis (WONG; LAW; LAI, 2007).

[G2] Comentário: geralmente

As CRG são comumente utilizadas por estabelecimentos que processam óleos e gorduras para impedir que parte desses compostos adentre as redes e sistemas de tratamento de efluentes. São normalmente constituídas por reservatórios e instaladas na parte externa dos estabelecimentos. Elas permitem que o efluente proveniente dessas unidades esfrie, e que óleos e gorduras ascendam e flutuem à superfície onde ficam acumulados até que as CRGs sejam limpas (HAO; YUEFENG; YEN-CHIH, 2012).

Atualmente, embora normalmente haja pelo menos uma CRG em cada restaurante, de maneira geral, verifica-se problemas como odores desagradáveis e até mesmo bloqueios de fluxo do efluente devido à falta de manutenção dessas unidades (KWIA TKOWSKI et al., 2013).

### **2.2.3 A Caixa Retentora de Gordura CRG do restaurante universitário da UFLA**

Ainda que as CRGs sejam eficientemente projetadas e bem dimensionadas em relação às cargas a que serão submetidas, há uma necessidade de manutenção periódica que consiste na remoção e disposição adequada do material retido durante um determinado período de atividades.

Além disso, o tipo convencional de Caixa Retentora de Gordura (CRG), baseado na separação física por gravidade não é eficiente na remoção de partículas finas de óleo em água, menores que 10  $\mu\text{m}$ , e que ficam em suspensão coloidal e aquelas menores que 20  $\mu\text{m}$  em efluentes que contém surfactantes (KWIATKOWSKI et al., 2013), como é o caso da água residuária proveniente da cozinha do RU/UFLA.

Dentro desse contexto foi concebida na Universidade Federal de Lavras uma CRG, especialmente para os efluentes líquidos da cozinha industrial do Restaurante Universitário da Universidade Federal de Lavras (RU/UFLA), objetivando a retenção, flotação e remoção de compostos gordurosos e ainda do material decantado, presentes no efluente (Figura 1).



Figura 1 Fachada da CRG e restaurante universitário ao fundo

### **2.3 Biodiesel: conceitos e vantagens**

Nossa sociedade é altamente dependente de petróleo embora este mineral seja proveniente de uma fonte finita (FEDDERN et al., 2011).

Países em desenvolvimento, não produtores de petróleo utilizam grande parte dos recursos adquiridos na importação de produtos derivados do petróleo.

A origem renovável e espacialmente variável do biodiesel representa uma alternativa para qual grande atenção tem sido voltada nos últimos anos, principalmente devido à elevação dos preços dos derivados da matéria-prima de origem fóssil.

O biodiesel denominado de alquil éster de ácido graxo, é produzido a partir da transesterificação de triacilgliceróis ou da esterificação de ácidos graxos livres. É um substituto direto do diesel de origem mineral, podendo também ser adicionado a este último em quaisquer proporções sem a

necessidade de alterações das máquinas abastecidas com as misturas (QI et al., 2010).

A utilização do biodiesel em motores de combustão interna, especialmente nos de ignição por compressão (ciclo diesel) representa uma excelente opção do ponto de vista ecológico (ENCINAR et al., 2011), devido à natureza renovável ou residual das matérias-primas utilizadas na sua produção e das características dos compostos emitidos pelos motores abastecidos com esse biocombustível, em relação ao diesel de origem mineral.

A combustão do biodiesel gera níveis mais baixos de emissões dos principais gases de exaustão, com exceção dos óxidos de nitrogênio (KNOTHE et al., 2006). Ainda apresenta números de cetano, hidrocarboneto parafínico (alcano) de fórmula química  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3(\text{C}_{16}\text{H}_{34})$ , usado como padrão na avaliação das propriedades ignitoras, mais altos que o diesel mineral, é biodegradável e atóxico (ATADASHI et al., 2012).

O biodiesel possui um alto ponto de fulgor, que aumenta a segurança do seu manuseio e armazenamento, além de conferir lubricidade ao diesel mineral de baixo enxofre quando adicionado a este em pequenas proporções (1 a 2%), característica que é perdida no processo de produção dessa classe de dieséis (KNOTHE et al., 2006).

Avaliando comparativamente o desempenho do motor de um trator com 78 cv de potência abastecido com diesel, biodiesel e mistura desses combustíveis, Barbosa et al. (2008) mostraram que a eficiência térmica foi em média 4 % maior quando utilizaram biodiesel puro em relação ao diesel mineral. A potência observada foi igual ou superior quando utilizaram blendas com 5 e 10 % de biodiesel adicionados ao diesel, embora os valores de torque tenham sido cerca de 7 % maiores para o diesel mineral.

A maior quantidade de oxigênio no biodiesel resulta em melhor combustão e aumenta a temperatura da câmara de combustão dos motores.

Estudos conduzidos por Qie et al. (2010), trabalhando com motores monocilíndricos, naturalmente aspirados, refrigerados à água e com injeção direta de combustível, sugerem que esse excesso de oxigênio atua de forma proeminente no aumento do desempenho dos motores.

Comparando com motores a gasolina, motores a diesel apresentam vantagens na eficiência térmica, alcance de força, nas emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, entretanto, esses motores emitem entre 30 e 100 vezes mais material particulado que os motores a gasolina (WANG et al., 2010).

#### **2.4 Utilização de óleos e gorduras residuais na produção de biodiesel**

Ao passo que o biodiesel apresenta uma série de vantagens em relação ao diesel de origem mineral, sua comercialização é limitada pelo custo de produção que é determinado pelo preço das matérias-primas (DIAZ-FELIX et al., 2009).

O alto custo das matérias-primas refinadas torna a produção de biodiesel menos econômica e pouco competitiva em relação ao diesel de origem mineral. A utilização de matérias-primas de baixa qualidade tem atraído grande atenção, devido aos baixos preços e grande disponibilidade (ATADASHI et al., 2012).

Há uma enorme quantidade de óleos residuais de restaurantes e lanchonetes e gorduras das indústrias de processamento animal, potencialmente disponíveis, para a produção do biocombustível. Se esses materiais fossem mais utilizados haveria, diretamente, uma redução do custo do biodiesel que influenciaria positivamente o seu mercado (CANAKCI, 2007).

Com altos índices de acidez, a produção de biodiesel com resíduos gordurosos de caixas de gorduras é quimicamente desafiadora (PARK et al., 2010)

Olkiewicz et al. (2012) trabalhando com um resíduo composto por espuma e sólidos sedimentados coletados em uma estação de tratamento de efluentes, o qual denominaram lodo primário, atingiram taxas de conversão de 13,9 % de biodiesel em relação ao resíduo seco, indicando que o material é adequado para ser convertido em aquil ésteres de ácidos graxos e de promissora aplicação, já que trata-se de um resíduo amplamente disponível em unidades de tratamento de esgotos.

**[G3] Comentário:** Favor analisar. Incoerência textual.

O uso de resíduos gordurosos de cozinhas pode apresentar melhoras na estabilidade oxidativa e no número de cetano em relação aos óleos vegetais primários, além de melhorar as propriedades de fluxo em baixas temperaturas em relação às gorduras animais, que contêm elevadas proporções de ácidos graxos saturados (CANAKCI, 2007).

#### 2.4.1 Caracterização de óleos e gorduras residuais de cozinhas

Os processos de cozimento alteram, significativamente, a qualidade do óleo e das gorduras. Essas alterações podem ser avaliadas pela utilização de parâmetros como os índices de acidez, peróxido, saponificação, refração e iodo. Analiticamente, esses parâmetros podem ser definidos como segue (AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY, 2014):

Índice de acidez: é o número de miligramas de hidróxido de sódio necessários para neutralizar os ácidos livres contidos em 1 grama de amostra. Com amostras que não contenham ácidos livres que não sejam ácidos graxos, esse índice pode ser expresso em percentagem por meio de um fator de conversão.

Índice de peróxido: determina todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio sob certas condições do teste. É expresso em termos de meq de peróxidos por 1000 g de amostra. Os índices geralmente é um tipo como de

representativo da quantidade de peróxidos ou outros produtos similares resultantes da oxidação de gorduras.

Índice de refração: é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz na substância. Na prática, as escalas dos instrumentos utilizados na medição indicam os índices de refração em relação ao ar e não ao vácuo. Esse índice, em óleos, é compreendido entre certos limites para cada tipo de óleo. É relacionado ao grau de instauração, embora seja afetado por outros fatores, como a quantidade de ácidos graxos livres, grau de oxidação e utilização de tratamentos térmicos.

Índice de saponificação: é a quantidade de álcali necessária para saponificar uma quantidade definida de amostra. É expresso como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessários para saponificar 1 grama da amostra.

Índice de iodo: é uma medida da instauração dos ácidos graxos, expressa em termos do número de gramas de iodo absorvidos por 100 gramas de amostra, podendo ser expresso em percentagem de iodo absorvido.

A estabilidade oxidativa do material é alterada pelo aquecimento e pelo contato com a comida, o que leva a uma elevação dos índices de peróxido, saponificação e acidez (TOMASEVIC; SILER-MARINKOVIC, 2003).

Óleos e gorduras utilizados em processos de cozimento constituem um material muito heterogêneo. Mudanças das características do material (por exemplo, o perfil de ácidos graxos) levam a mudanças das propriedades do biodiesel. Geralmente, como esses óleos e gorduras apresentam um alto grau de saturação, são esperadas altas viscosidades, altos pontos de fulgor, altos números de cetano, bem como maiores estabilidades oxidativas dos biodieseis produzidos a partir dessas matérias-primas (KNOTHE; STEIDLEY, 2009).

#### 2.4.2 Purificação de óleos e gorduras residuais

Tecnologias mais efetivas precisam ser desenvolvidas para processar matérias-primas com altos teores de ácidos graxos livres de forma a elevar ao máximo seus potenciais de aplicação na indústria (ATADASHI et al., 2012).

Grande parte dos resíduos gordurosos retidos em CRGs se encontra emulsificada devido ao uso de detergentes nos processos de limpeza das unidades processadoras. Os detergentes agem como tensoativos, formando uma película protetora na superfície das gotículas, e em função das condições específicas das CRGs, tais como ocorrência de reações físico-químicas, bioquímicas e químicas, temperatura e pH, o processo de emulsificação é favorecido (OLIVEIRA, 2012).

Com a desemulsificação dos OGR obtém-se matérias-primas que podem ser reutilizadas para a produção de biodiesel (SOUZA, 2003).

A desemulsificação consiste na reversão do processo de formação das emulsões podendo ser alcançada por aquecimento, congelamento, agitação, centrifugação, adição de eletrólito ou destruição do agente emulsificador (MARON, 1974 citado por SOUZA, 2003).

A parcela emulsificada representa importante fonte de lipídios além de ser potencialmente poluidora quando descartada deliberadamente, o que confirma a necessidade do processamento com quebra da emulsão para utilização na indústria.

A decomposição da emulsão pelo aquecimento não provoca nenhuma alteração química, mas está relacionada a mudanças nas características da solubilidade dos compostos emulsionados ou na facilitação dos fenômenos de coalescência, processo em que duas ou mais partículas ou gotículas fundem-se, formando apenas uma única partícula. A viscosidade diminui com o aquecimento, intensificando assim a probabilidade das partículas interagirem uma com a outra energeticamente, sob influência do movimento *browniano*. A

diminuição da viscosidade da fase contínua ou dispersa aumenta a probabilidade de coalescência no impacto (RIEGER, 1996 citado por SOUZA, 2003).

### **2.4.3 Rotas alternativas para produção de biodiesel com matérias- primas de baixa qualidade**

As reações de transesterificação utilizadas na obtenção de biodiesel podem ser catalisadas por bases, ácidos ou enzimas, mas os primeiros dois tipos têm atraído mais atenção devido aos mais breves tempos de reação e baixo custo, comparados com o terceiro tipo (WANG; OU; ZHANG, 2007).

Os métodos de catálises heterogênea e enzimática, bem como processos não catalíticos conduzidos em condições supercríticas não são afetados pela quantidade de AGL e umidade da matéria-prima, representando uma opção promissora para a produção de biodiesel em etapa única (SIDDIQUEE; ROHANI, 2011).

Devido à grande quantidade de AGL presente nos resíduos gordurosos de restaurantes, a transesterificação alcalina não pode ser aplicada diretamente. É necessário reduzir o índice de acidez por meio da esterificação com catálise ácida ou da neutralização por saponificação, utilizando bases (HAAS; FOGLIA, 2006). Com o processo tradicional catalisado por bases, os AGL não são convertidos em ésteres e reagem com o catalizador básico formando sabões (CANAKCI, 2007). Os sabões impedem a separação do biodiesel da glicerina ao fim da transesterificação (CANAKCI; GERPEN, 2003).

Na esterificação ácida dos AGL, ocorre a formação de água que necessita ser retirada para não interferir na reação de transesterificação subsequente (CANAKCI; GERPEN, 2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Caixa Retentora de Gordura (CRG/UFLA)

A unidade onde o monitoramento foi conduzido situa-se no *campus* da Universidade Federal de Lavras (UFLA) na cidade de Lavras, Minas Gerais, próxima ao restaurante universitário (RU), Latitude 21°14'S e Longitude 45°00', localizada a 918 m de altitude, sendo o clima Cwa pela classificação de Köppen (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007; SÁ JÚNIOR, 2009).

A unidade é composta por uma caixa de concreto impermeabilizado com volume útil de 5,34 m<sup>3</sup>, largura de 0,85 m, comprimento de 3,55 m e profundidade variável de 1,57 m a 1,90 m, permitindo que o lodo decantado, caso seja acumulado em demasia, seja removido. Em termos de pesquisa, o lodo pode ser amostrado na parte mais profunda, por meio de um pórtico (registro) destinado a esse fim.

A Caixa Retentora de Gordura (CRG) possui um sistema de aeração forçada composto por um soprador fabricado pela KAESER<sup>1</sup>, com potência de 1,5 kW, sendo a densidade de potência aplicada na caixa de 280,1 W.m<sup>-3</sup> e capacidade de 118,8 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de ar. O ar foi aplicado por meio de oito difusores submersos com membrana de Etileno Propileno Dieno Monômero (EPDM) de bolha fina, de diâmetro de 23 cm cada com corpo construído em PVC (JUNQUEIRA, 2014).

Outra característica dessa unidade é um mecanismo automático e programável montado sobre trilhos para raspagem da espuma acumulada em sua superfície que conduz o material raspado a um tanque anexo para posterior remoção através de tubulação destinada a esse fim.

---

<sup>1</sup> A citação de marcas ou modelos de equipamentos neste trabalho não implica em recomendação por parte do autor em detrimento de qualquer outra marca ou modelo.

### **3.2 Regime de amostragens**

As amostragens foram realizadas de 31 de outubro de 2013 a 7 de maio de 2014, sendo que de 31 de outubro a 28 de novembro de 2013 a caixa funcionou sem o acionamento do soprador, e de 5 de dezembro de 2013 a 28 de março de 2014 o sistema de aeração permaneceu ligado das 8:00 horas às 16:00 horas e durante os dias úteis. Do dia 10 de abril ao dia 7 de maio, a unidade voltou a ser operada de forma anaeróbia. Ao todo foram 188 dias de monitoramento, com pausas devido aos recessos escolares, nos quais o RU/UFLA não operou. Foram realizadas duas coletas por semana totalizando 28 dias de coletas, sendo 14 em cada sistema de operação. As mudanças operacionais (anaeróbio, aeróbio e novamente anaeróbio) foram feitas a fim de minimizar as variações sazonais, principalmente devido às mudanças das condições atmosféricas. A caixa foi esvaziada e limpa em cada uma das transições para que cada partida fosse dada nas mesmas condições.

#### **3.2.1 Afluente e efluente**

Nos dias de coleta alíquotas de 300 mL foram recolhidas de hora em hora das 7h às 19h na entrada e saída da CRG, utilizando vasilhames para coleta de amostras compostas, a fim de minimizar a flutuação da carga **afluente à CRG**. As amostras compostas foram coletadas em parcelas de 3,9 L em galões plásticos com capacidade de 5 L e armazenados em refrigerador a 4 °C.

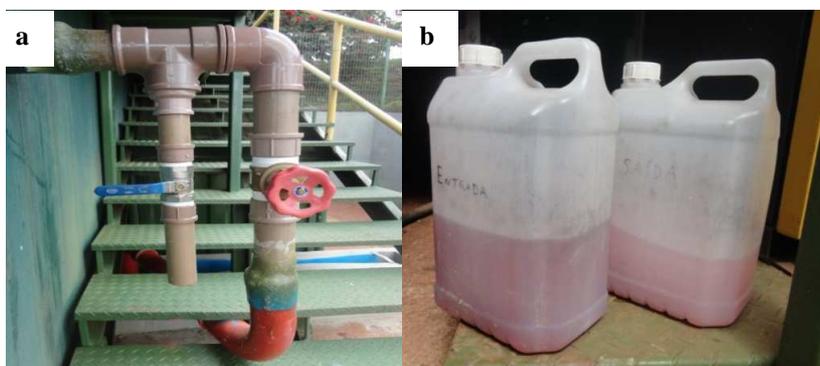


Figura 2 Tubulação de saída da CRG com registro para amostragem (a) e recipientes plásticos utilizados para armazenamento das amostras compostas (b)

### 3.2.2 Escuma

Às 7 horas nos dias de coleta, foram recolhidas as amostras de gordura acumulada na superfície. Uma escumadeira foi utilizada, porém, foi constatado que somente as gorduras que permanecem sólidas à temperatura ambiente, eram coletadas com eficiência, sendo que os óleos, os quais estavam na fase líquida naquelas temperaturas, não eram coletados de forma representativa. Foi desenvolvida então uma metodologia de coleta que consistiu em recolher toda escuma acumulada conforme ilustrado na Figura 4. A coleta da escuma acumulada era conduzida a um dispositivo para posterior decantação, construído com um balde com tampa dotado de registro, instalado na parte inferior, para remoção do excesso de água. As amostras foram decantadas por 8 horas, com isso o excesso de água era removido. Só então era efetuada a pesagem para quantificar o aporte de OGR. O material era homogeneizado e as amostras recolhidas, acondicionadas em potes de vidro e conduzidas ao laboratório para armazenamento em *freezer* ( $-6^{\circ}\text{C}$ ).



Figura 3 Unidade automática de raspagem de espuma e painel para automação



Figura 4 Procedimento da raspagem manual da espuma acumulada na CRG

### 3.2.3 Quantificação da espuma recolhida

A espuma separada do efluente do RU por flotação era removida durante todo o período de monitoramento antes de se iniciar as coletas. Ao longo de 78 dias (de 06/02 a 06/05, compreendendo um período de 23 dias de inatividade do RU, em virtude do período de férias da universidade) foi efetuada a quantificação desse resíduo flotado, totalizando 13 pesagens, as quais foram relacionadas ao número de refeições servidas desde a última remoção da espuma da caixa. Obteve-se assim o valor de massa de OGR por refeição que pode ser

utilizado para dimensionar novas unidades de CRG, inclusive auxiliar no processo operacional de unidades semelhantes a esta.

#### **3.2.4 Lodo**

A unidade em questão é dotada de tubulação com registro para remoção e amostragem de lodo decantado. Containers plásticos de 200L foram conduzidos a um fosso, onde é realizada a descarga de fundo, e de onde são içados por meio de uma talha elétrica com corrente e ganchos acoplados projetados e construídos em aço especificamente para essa aplicação.

No período em que a CRG funcionou de forma aeróbia, foi feita uma coleta com a aeração ligada (15h55min) e uma coleta 30 minutos após o soprador ser desligado, às 16h. As amostras foram armazenadas em garrafas plásticas de 2L e refrigeradas até serem analisadas no dia seguinte.

Foram realizadas análises dos parâmetros sólidos sedimentáveis ou índice volumétrico de lodo (IVL), sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais.

### **3.3 Monitoramento das condições de operação**

O monitoramento dos parâmetros temperatura, vazão, oxigênio dissolvido e pH, afluente e efluente eram realizados nos dias de coleta, de modo a obter detalhadamente as variações de regime hidráulico e de temperatura do líquido, que obviamente ocorrem ao longo do dia, em virtude das operações processuais do restaurante universitário.

### 3.3.1 Temperaturas

Foi utilizado um termômetro de bulbo de mercúrio da marca Rivaterm com escala de 0 a 150°C e precisão de 1 °C para realizar as medições das temperaturas do líquido de hora em hora, tanto na entrada como na saída da CRG, concomitantemente com as amostragens. Foram obtidas assim 13 leituras em cada ponto para cada dia de coleta (Figuras 5 e 6).

### 3.3.2 Vazão

As verificações das vazões foram realizadas em calha *Parshall* instaladas na saída da CRG (Figura 7), também de hora em hora das 7h às 19h nos dias de coleta, sendo obtidas 13 leituras diárias. Em momentos em que a vazão era muito baixa para ser verificada pela régua da calha *Parshall*, foi empregado o método volumétrico, utilizando um recipiente de 500 ml e um cronômetro, na tubulação de entrada da unidade.

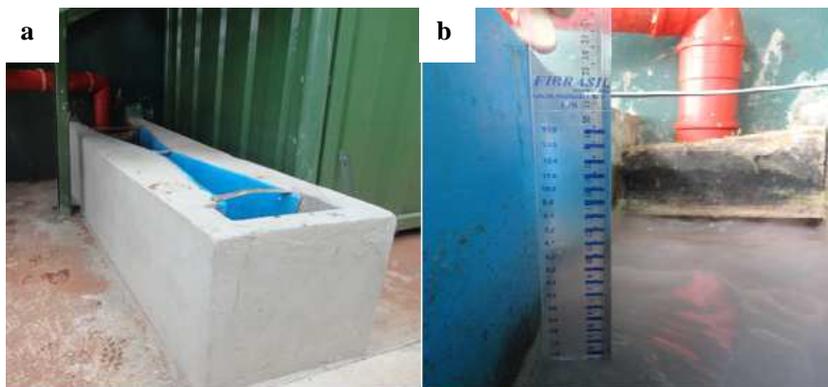


Figura 5 Calha Parshall (a) e régua de leitura graduada em L.s-1(b)

### 3.3.3 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido foi monitorado por meio de uma sonda portátil da marca Hanna, modelo HI 9146, em três pontos: no afluente, no seio da massa líquida no interior da CRG e no efluente, três vezes ao dia, às 9h, 11h e 13 horas e um valor médio era obtido para compor as análises estatísticas (Figura 6).

### 3.3.4 Potencial hidrogeniônico - pH

Ao fim de cada dia de coleta, o potencial hidrogeniônico das amostras compostas foi medido no LAADEG com um peagâmetro de bancada da marca Mettler Toledo, modelo S20 Seven Easy (Figura6). Sendo obtidos valores de pH do afluente e do efluente da CRG para cada dia de coleta.

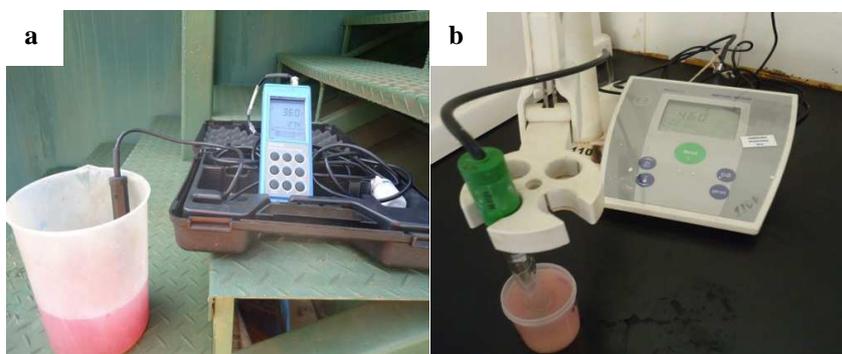


Figura 6 Leituras dos valores da concentração de OD (a) e pH (b)

### 3.4 Caracterização do afluente e efluente da caixa

O efluente do RU apresenta grande heterogeneidade, sendo a sua composição dependente das atividades realizadas no dia e das que estão sendo realizadas.

As amostras compostas obtidas foram analisadas quanto aos parâmetros DBO<sub>5</sub> total e filtrada, DQO total e filtrada, sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, detergentes, óleos e graxas. Os parâmetros avaliados, os locais das amostragens e os métodos utilizados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 Parâmetros avaliados, locais das amostragens e métodos utilizados

PARÂMETRO	LOCAL DA AMOSTRAGEM			MÉTODO
	Entrada	Interior	Saída	
Vazão			x	Calha Parshall
Temperatura da água	x		x	Leitura direta
pH	x		x	Leitura direta
OD	x	x	x	Leitura direta
Óleos e graxas	x		x	Gravimétrico
Sólidos totais, fixos e voláteis	x		x	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais	x		x	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos totais	x		x	Gravimétrico
Sólidos sedimentáveis	x		x	Cone Imhoff
Detergentes	x		x	Espectrofotométrico

### 3.5 Caracterização e purificação da gordura recolhida na CRG

**[G4] Comentário:** Conforme a BDTD após todos os subtítulos deve haver texto.

#### 3.5.1 Caracterização analítica

As amostras de gorduras recolhidas na CRG, após a decantação para remoção do excesso de água e homogeneização, passaram por um processo de

peneiramento, utilizando uma peneira fina de aço inoxidável para remoção dos sólidos grosseiros. As massas de sólidos grosseiros retidas na peneira foram quantificadas em balança analítica da marca BIOSCALE, modelo 2204 com precisão de  $10^{-4}$  g. As amostras peneiradas foram então centrifugadas por 5 minutos a 10000 RPM em centrífuga da marca THERMO, modelo C 3i Multifunction para remoção das partículas que passaram pela peneira. Após centrifugação as amostras foram dispostas em frascos Erlenmeyer e secas em estufa a vácuo a 70 °C e pressão de -0,9 bar até que a ebulição cessasse por completo.

Com as amostras limpas e secas foram feitas análises de índice de acidez, índice de peróxidos, índice de saponificação e índice de refração de acordo com as metodologias propostas pela *American OilChemists'Society* (2014) que estão indicadas na Tabela2.

Tabela 2 Parâmetros avaliados das amostras de OGR e métodos utilizados

PARÂMETRO	MÉTODO
Índice de acidez	Titulométrico
Índice de saponificação	Titulométrico
Índice de peróxido	Titulométrico
Índice de refração	Leitura direta
Umidade	Gravimétrico

### 3.5.2 Separação dos extratos

Concomitantemente, uma amostra composta foi separada e deixada em repouso para que fossem analisados separadamente os dois extratos que sempre se formam na espuma flotada na CRG. Ocorria a separação de uma fase líquida de coloração amarelada e uma fase semissólida, mais densa, acinzentada, com grande quantidade de impurezas e água (Figura 7). A caracterização das duas fases se fez necessária para uma compreensão mais detalhada das reações físico-

químicas que ocorrem com o material, durante a passagem pela unidade estudada. Essa caracterização é importante também para definir os processos de purificação pelos quais o material deve passar, antes de poder ser convertido em biodiesel.



Figura 7 Fases da espuma separadas por gravidade no recipiente de coleta (a) e separação dos dois extratos para análises (b)

### 3.5.3 Teor de água

A primeira característica analisada e comparada dos dois extratos foram os teores de água. Por meio de um sifão foram retiradas da garrafa plástica 3 alíquotas de cada extrato, acondicionadas em frascos Becker, e levadas a uma estufa da marca QUIMIS, modelo Q819V2 a 105 °C onde permaneceram por 6 dias, até que as massas se estabilizassem. Foram então calculados os teores de água em porcentagem, dividindo a massa de água pela massa úmida do material e multiplicado por 100, de acordo com a equação:

$$U\% = \frac{Ma}{M} * 100 \quad (1)$$

Onde  $Ma$  é a massa de água removida e  $M$  é a massa inicial da amostra.

### 3.5.4 Desemulsificação e caracterização da borra

As duas frações do material recolhido separadas por sifão foram novamente amostradas e secas em estufa a vácuo, dessa vez a 60 °C e sob pressão de -0,9 bar de modo a minimizar a degradação térmica dos compostos presentes. O aquecimento e a agitação provocada pela ebulição da água livre constituinte da fração mais densa (Extrato 2) ocasionaram a desemulsificação parcial da amostra que foi separada em uma fase oleosa e uma borra sólida.

[G5] Comentário: Favor verificar.

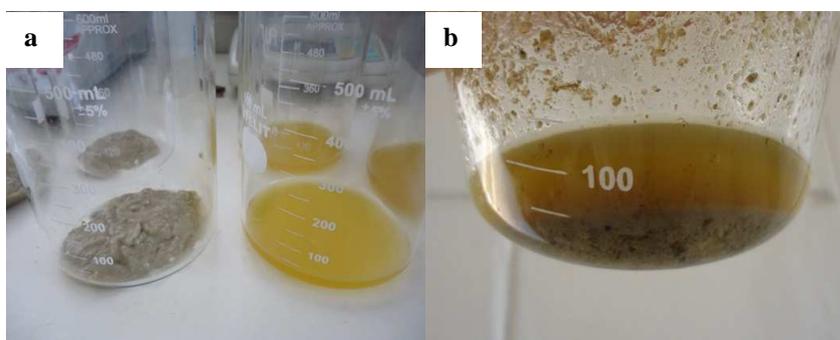


Figura 8 Amostras antes da desemulsificação/secagem (a) e amostra do Extrato 2 após a desemulsificação com duas fases distintas (b)

A fase oleosa liberada foi removida por meio de pipeta e separada para ser analisada e comparada à fase sobrenadante inicial (Extrato 1). A fase sólida ou borra resultante da quebra da emulsão teve sua composição determinada no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA, onde

foram avaliados teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês, zinco e ferro.

### **3.6 Ensaios de produção**

Foram realizados dois ensaios de produção de biodiesel em duas etapas, sendo um por esterificação ácida, a fim de converter os AGL em ésteres metílicos e outro por transesterificação alcalina, para converter o mono, di e triglicerídeos restantes.

#### **3.6.1 Esterificação ácida**

Em dois ensaios foram utilizados 200 mL de óleo residual e 100mL de metanol, representando um excesso molar de 14:1 (metanol:óleo), a reação teve duração de 4 horas. Em ambos os ensaios foi utilizado o ácido sulfúrico com catalisador. No primeiro ensaio foi utilizado 1,5 % v/v de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/óleo e no segundo, essa quantidade foi reduzida para 0,5 % v/v, para verificar a alteração causada pela mudança da quantidade de catalisador.

Ao longo das 4 h de reação, de 30 em 30 minutos foram retiradas alíquotas cujo índice de acidez foi analisado. De posse dos valores de IA, foram ajustadas curvas de decaimento desse índice durante o tempo de reação. Dessa forma verificou-se o efeito da esterificação ácida na remoção dos AGL do óleo ao longo do tempo para as duas concentrações de catalisador.

#### **3.6.2 Transesterificação alcalina**

O processo de transesterificação alcalina foi realizado em um reator de vidro encamisado a 50 °C. Utilizou-se razão molar de metanol/óleo de 4:1 e 2 %

(m/m) de catalisador solução de metilato de sódio a 30 %. O período de reação teve duração de 40 minutos. Após esse período o material foi posto em funil de Skibb e deixado em repouso para que ocorresse a separação gravitacional da glicerina.

### **3.7 Análises estatísticas**

Os dados obtidos com o monitoramento dos parâmetros físico químicos, análises de efluente e de óleos e gorduras foram submetidos a análises de variância utilizando o pacote computacional Sisvar (FERREIRA, 2011). Concomitantemente foi aplicado o teste de Scott-Knott (1974) como o nível de significância de 5 % para identificar as diferenças entre os tratamentos considerados.

Para as análises de efluente do RU e monitoramentos físicos químicos realizados, as fontes de variação avaliadas foram “ponto amostral” e “processo de operação” os tratamentos referentes ao ponto amostral foram “entrada”, “interior” e “saída” da CRG e os tratamentos referentes ao processo de operação da CRG foram “aeróbio” ou “anaeróbio”. Foram avaliados, também, os efeitos das interações entre essas duas fontes de variação.

Os dados obtidos com as análises dos óleos e gorduras recolhidos foram associados à realização de procedimentos de fritura por imersão no restaurante no dia anterior às coletas, a fim de detectar as variações na qualidade dos OGR causados por esse processo de preparo de alimentos. Os tratamentos considerados foram então “com fritura” e “sem fritura”.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros do efluente do RU avaliados durante o período de coletas e os resultados dos testes estatísticos aplicados para avaliar a influência das fontes de variação “Sistema” e “Ponto amostral” estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 Valores médios dos parâmetros avaliados e resultados dos testes estatísticos empregados

PARÂMETRO	PROCESSO	PONTO AMOSTRAL	
		Entrada	Saída
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	1435,9 Aa	975,5Ab
	Aeróbio	1588,6 Aa	1240,0Ab
SF (mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	1008,5 Aa	399,2 Aa
	Aeróbio	528,7 Aa	350,2 Aa
SV (mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	1269,0 Aa	631,2Ab
	Aeróbio	1167,3 Aa	997,01 Aa
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	250,6 Aa	322,0 Ba
	Aeróbio	1224,8 Aa	1304,5 Aa
SDT(mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	933,4Ba	759,6 Aa
	Aeróbio	1413,7 Aa	864,2Ab
SS (mL.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	10,9 Aa	1,7Ab
	Aeróbio	10,8 Aa	7,1 Aa
Óleos e graxas(mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	121,7 Ba	120,8Aa
	Aeróbio	569,8 Aa	208,0 Ab
Detergentes(mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	0,176Ab	0,284 Aa
	Aeróbio	0,254 Aa	0,236Ba
pH (-log[H <sup>+</sup> ])	Anaeróbio	4,85 Aa	4,81 Aa
	Aeróbio	4,47 Aa	4,50 Aa
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	5,06 Aa	3,94Bb
	Aeróbio	5,80Ba	5,10 Aa
Temperatura (°C)	Anaeróbio	32,1 Aa	32,1 Aa
	Aeróbio	31,9 Aa	32,0 Aa
Vazão (L.s <sup>-1</sup> )	Anaeróbio	0,6308 Aa	0,6308 Aa
	Aeróbio	0,6684 Aa	0,6684 Aa

ST (sólidos totais), SF (sólidos fixos), SV (sólidos voláteis), SST (sólidos suspensos totais), SDT (sólidos dissolvidos totais), SS (sólidos sedimentáveis), óleos e graxas, detergentes, pH (potencial hidrogeniônico), OD (oxigênio dissolvido), temperatura e vazão do afluente (entrada) e efluente (saída) da CRG, para os processos anaeróbio e aeróbio. Valores seguidos por diferentes letras minúsculas indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos da fonte de variação “Ponto amostral”. Valores seguidos por diferentes letras maiúsculas indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos da fonte de variação “Processo” com 5% de significância.

#### 4.1 Vazão

O hidrograma das vazões avaliadas durante o monitoramento da CRG está disposto no gráfico 1.

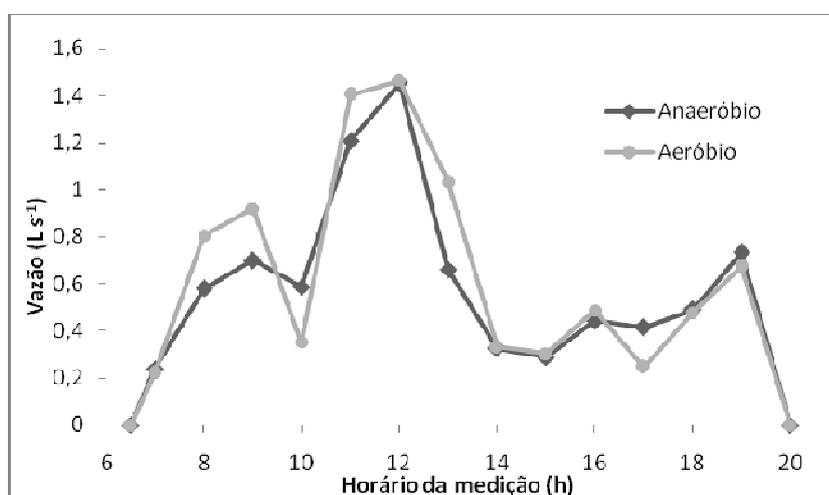


Figura 9 Hidrograma de vazões médias medidas de hora em hora para os dois processos de operação (anaeróbico e aeróbico)

Há uma grande variação das vazões observadas na CRG, durante os períodos de funcionamento do restaurante. Os valores máximos diários sempre coincidiram com o almoço, ocorrendo em torno de meio dia. A média das vazões nesse horário foi de  $1,45\text{L.s}^{-1}$ . Foram adotadas vazões nulas, como condições de contorno, para os horários de 06h30min e 20h, já que o horário de atividades do restaurante tem início, geralmente, entre 06h30min e termina por volta das 9h30min, sendo que a vazão não cessa imediatamente após o fim das

atividades devido ao tempo de esvaziamento das tubulações que levam o efluente à unidade.

Aplicando a integração numérica trapezoidal obteve-se valores de volumes diários de 55,12 m<sup>3</sup> e 59,70 m<sup>3</sup> para os processos anaeróbio e aeróbio, respectivamente.

## **4.2 Temperatura**

A temperatura é um parâmetro de elevada importância relacionado à atividade biológica microbiana, e ainda às características físico-químicas do efluente, exercendo influência direta na solubilidade dos gases e na viscosidade (SPERLING, 1996). Na faixa compreendida entre 20°C e 40°C as variações de temperatura podem alterar drasticamente propriedades físicas dos OGR dispersos na massa líquida determinando seu estado físico.

### **4.2.1 Temperatura da água residual afluyente**

As temperaturas, a exemplo das vazões, apresentaram grande variação ao longo do dia, sendo que ocorreram sempre dois picos diários, coincidentes também com os horários das refeições e imediatamente após. A razão disso é o processo automático de lavagem de louças, que utiliza água quente. As variações de temperatura verificadas na entrada da CRG para os dois processos de operação estão ilustradas na Figura 10:

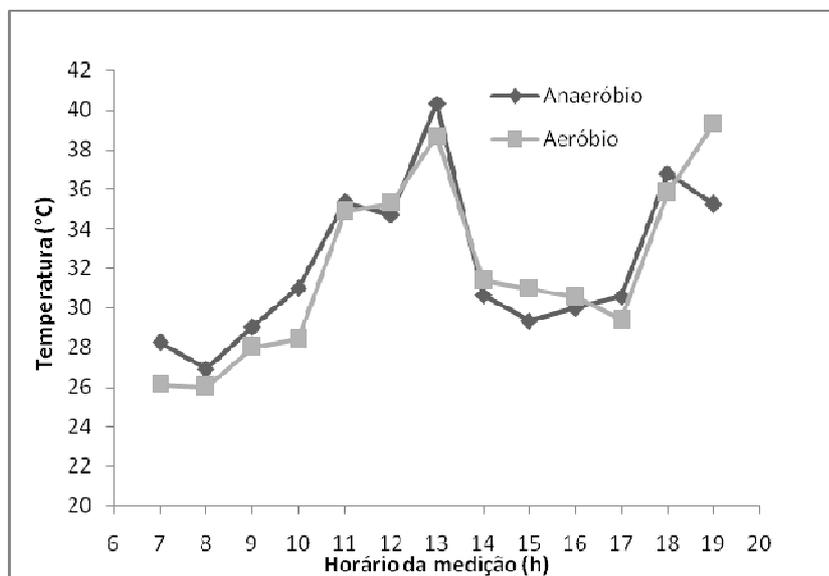


Figura 10 Curva de variação da temperatura ao longo do dia para os dois processos de operação na entrada da CRG

Foram observadas temperaturas tão altas como 57 °C, mesmo após o efluente ter percorrido mais de 30 m dentro da tubulação. A média das temperaturas do efluente na entrada da CRG foi de 32 °C com desvio padrão de 2,67 °C

#### 4.2.2 Temperatura da água residual efluente

As temperaturas do efluente após passagem pela CRG também apresentaram picos coincidentes com os horários das refeições, porém esses foram menos acentuados, sugerindo que a passagem pela caixa amortizava as variações de temperaturas decorrentes dos processos conduzidos no restaurante.

As variações de temperatura ao longo do dia para os dois processos operacionais podem ser observadas na Figura 11.

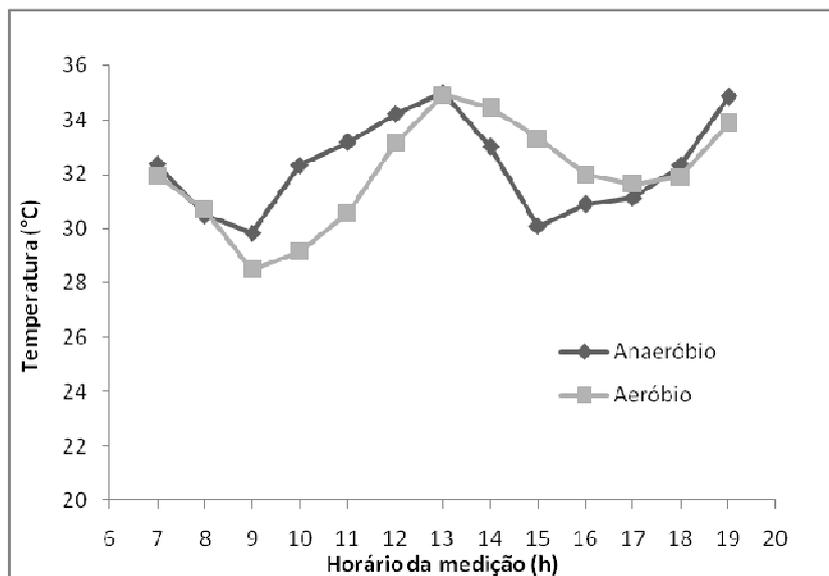


Figura 11 Curva de variação da temperatura ao longo do dia para os dois processos de operação na saída da CRG

Observa-se menor desvio padrão das leituras de temperaturas em relação à entrada da CRG. Nesse ponto a média de 32,07 °C e desvio de 2,16 °C.

A passagem pela CRG amortizou os valores de temperatura, o que pode ser deduzido pela redução da dispersão dos valores da saída em relação à entrada, sem causar alteração dos valores médios em relação aos observados na entrada da CRG.

### 4.3 Oxigênio dissolvido

Os valores de oxigênio dissolvidos apresentaram variações em relação ao processo utilizado e ao local onde foi medido. Foi aplicado o teste estatístico para as fontes de variação “Processo” e “Local”. E ambas apresentaram variações para níveis de significância de 5%. Nas Tabelas 4 e 5 são mostrados os resultados do teste aplicado para o desdobramento das interações entre as variáveis “Ponto amostral” e “Processo”.

Tabela 4 Desdobramento da análise de variância das concentrações de OD dentro do tratamento “Aeróbio” para os três pontos verificados

LOCAL	MÉDIA (mg.L <sup>-1</sup> )	DESVIO (mg.L <sup>-1</sup> )
Entrada	5,77 a	0,78
Interior	5,17 a	0,75
Saída	5,20 a	0,49

Valores seguidos por letras distintas indicam que houve diferença significativa pelo teste de SkottKnott (1974).

Tabela 5 Desdobramento da análise de variância das concentrações de OD dentro do tratamento “Anaeróbio” para os três pontos verificados

LOCAL	MÉDIA (mg.L <sup>-1</sup> )	DESVIO (mg.L <sup>-1</sup> )
Entrada	5,07 a	0,48
Interior	3,22 b	0,95
Saída	3,93 b	0,79

Valores seguidos por letras distintas indicam que houve diferença significativa pelo teste de Skott Knott (1974).

Houve diferença significativa das concentrações de OD em relação à fonte de variação “Processo”. A injeção de ar por meio de difusores elevou os níveis de OD no efluente, provavelmente aumentando a taxa com que as reações oxidativas dos compostos presentes ocorressem, inclusive dos óleos e gorduras. Esse fato pode levar a uma degradação mais acentuada do material lipídico,

tornando mais onerosa sua purificação antes de usá-lo como matéria-prima na produção de biodiesel principalmente sob baixas vazões, o que implica no aumento do TDHr

Nos períodos em que a unidade operou com difusão de ar no meio líquido, não houve mudanças nos níveis de OD do efluente ao passar pela caixa. Isso pode ser explicado pelo fato do efluente adentrar a CRG já com certa quantidade de OD, devido ao cascadeamento que ocorre no interior da tubulação e nas caixas de passagem, que o leva do segundo andar do restaurante para um nível inferior ao primeiro andar, onde a unidade se encontra. Conclui-se que a injeção de ar na CRG, da maneira como foi conduzida, foi apenas suficiente para manter os níveis de OD devido ao efeito cascata.

A passagem do efluente pela CRG enquanto esta operava anaerobicamente, causou redução dos níveis de OD. Nota-se pela alta concentração na entrada da caixa, que o efeito cascata ocorreu da mesma forma que no processo aeróbio discutido anteriormente, porém, o TDH foi suficiente para que houvesse consumo de oxigênio, provavelmente por oxidação da matéria orgânica presente no líquido, e os níveis de OD fossem reduzidos de forma significativa.

Ao passo que o processo de flotação, da maneira como foi aplicado, manteve parte do lodo suspenso, aumentando a DBO no interior da CRG, o incremento na concentração de oxigênio dissolvido superou a demanda por parte da matéria orgânica para esse processo.

#### **4.4 Potencial hidrogeniônico-pH**

Nenhum dos dois processos de operação causaram alteração nos valores de pH observados. O pequeno TDHr é insuficiente para que ocorram reações da

MO que causariam oxidação ou acidificação do meio, tendência observada nos processos biológicos de tratamento (SPERLING, 1996).

#### **4.5 Sólidos**

Embora a remoção de sólidos não seja o objetivo específico da CRG, a unidade apresentou efeitos positivos na redução das concentrações desses poluentes. A diminuição da carga à jusante é benéfica para as unidades responsáveis pelos processos de tratamento secundário.

##### **4.5.1 Sólidos dissolvidos totais**

A caixa promoveu redução das concentrações de sólidos dissolvidos totais segundo teste de estatístico empregado. Embora os teores de SDT que adentraram à CRG durante o período do monitoramento tenham sido estatisticamente diferentes para o processo aeróbio e anaeróbio como demonstrado na Tabela 3.

O resultado do desdobramento estatístico para a variável “Local” dentro de cada processo mostra que houve remoção apenas durante o período em que a CRG funcionou de forma aeróbia.

##### **4.5.2 Sólidos suspensos totais (SST)**

Não houve remoção significativa de sólidos suspensos totais na unidade, a natureza não decantável desses compostos não permitiu que esses fossem removidos por sedimentação, embora a remoção do material suspenso seja possível pelo processo de flotação, com a utilização de taxas de aplicação de ar adequadas (TCHOBANOGULUS; BURTON, 1991). Na unidade em questão, durante

o período de funcionamento aeróbio, houve grande turbulência na massa líquida, impedindo que as pequenas bolhas, com material particulado aderido, subissem para a superfície a fim de serem removidas por raspagem.

As concentrações levemente mais altas na saída da CRG indicam a possibilidade de ter acontecido a varredura desses sólidos para fora da unidade, provavelmente associada aos picos de vazão observados.

#### **4.5.3 Sólidos sedimentáveis**

A CRG operando de forma anaeróbica apresentou elevado desempenho na remoção de sólidos sedimentáveis do efluente. A eficiência média de redução da concentração para esse processo foi de 84,1%. A turbulência causada pela injeção de ar na massa líquida com elevadas taxas de aplicação através dos difusores limitou o processo de sedimentação das partículas mais densas que a água, como pode ser observado na Tabela 3.

Já no processo anaeróbio o tempo necessário para que grande parte das partículas decantasse foi menor que o tempo de detenção hidráulica real, possibilitando sua remoção pelo acúmulo no fundo da CRG. Na Tabela 3 estão demonstrados os resultados do teste de Scott-Knott para níveis de significância de 5%.

Conclui-se que a esta unidade de tratamento preliminar de efluentes, além da remoção de material flotante, atua de maneira expressiva na sedimentação.

#### **4.5.4 Sólidos totais, fixos e voláteis**

A alta relação SV/ST de 0,73 é um indicativo da natureza predominantemente orgânica da fração sólida do efluente. Segundo Sperling

(1996), o valor de sólidos voláteis pode estimar a quantidade de matéria orgânica do efluente ao sistema.

#### **4.5.4.1 Totais**

Ambos os processos causaram alterações das concentrações de sólidos totais do efluente sendo que as eficiências médias de remoção foram 21,9% e 32,1% para os processos aeróbio e anaeróbio, respectivamente. Mais uma vez, o processo anaeróbio se mostrou ligeiramente mais eficiente.

#### **4.5.4.2 Fixos**

Em nenhum dos processos de funcionamento houve diferenças significativas na concentração de sólidos fixos entre a entrada e saída da CRG. Embora as médias apresentem tendências que possam levar a conclusões no sentido de aceitar a hipótese de remoção, a análise de variância e o teste aplicado não detectaram valores significativos para um nível de significância de 5%, provavelmente devido ao elevado desvio dos valores de concentração na entrada da unidade. As médias e resultados do teste para os dois processos de funcionamento estão descritos na Tabela 3.

#### **4.5.4.3 Voláteis**

Por meio da Tabela 3 observa-se que a CRG foi efetiva na remoção dos SV somente quando operou pelo processo anaeróbio. Sendo uma estimativa da fração orgânica dos sólidos (SPERLING, 1996), os valores médios das concentrações afluente e efluente e os resultados dos testes aplicados encontram-se na Tabela 3.

#### 4.6 Óleos e graxas

A remoção de óleos e graxas, que é o objetivo principal da CRG, foi alcançada. De maneira geral houve diferenças significativas na remoção desses compostos ao avaliarmos todo o período de funcionamento da caixa. A grande variação das concentrações de O&G que adentraram na CRG durante o período em que esta funcionou por aerobiose, representou um obstáculo para a análise estatística dos dados, em função do alto desvio padrão para esse ponto amostral, podendo ser visualizado nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG ao longo de todo período do monitoramento

<b>LOCAL</b>	<b>MÉDIAS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>DESVIO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
Entrada	358,0 a	532,0
Saída	91,6 b	56,3

Tabela 7 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG durante o processo aeróbio

<b>LOCAL</b>	<b>MÉDIAS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>DESVIO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
Entrada	611,1 a	669,3
Saída	83,2 b	52,1

Tabela 8 Concentração de O&G na entrada e saída da CRG durante o processo anaeróbio

<b>LOCAL</b>	<b>MÉDIAS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>DESVIO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
Entrada	104,89 a	96.82
Saída	99.89 a	62.15

Devido à falta de controle sobre as características do afluente, os dados apresentaram grandes desvios, o que afetou negativamente a consistência desse parâmetro.

Durante o período em que a CRG operou de forma aeróbia, o recolhimento da fração flotante pela manhã, antes do soprador ser acionado fez com que, durante as horas em que o sistema permaneceu ligado, nada acumulasse na superfície da unidade, levando à conclusão de que a potência aplicada pelo soprador foi superdimensionada, causando grande turbulência da massa líquida, impedindo a ascensão das partículas dispersas no líquido. Junqueira (2014) atribuiu a eficiente remoção de óleos e graxas no processo aeróbio à oxidação ocorrida no interior da CRG, obtendo valores médios de remoção de 52 % inferiores aos 74% obtidos neste trabalho.

#### **4.7 Detergentes**

Valores mais altos de concentração de detergentes foram verificados na saída da CRG, levando a crer que houve contaminação do líquido por produtos de empregados na limpeza da unidade. Foi observado fenômeno de formação de grande quantidade de espuma em alguns pontos da unidade, especialmente em pontos aerados devido à turbulência, como por exemplo, na entrada na CRG e na entrada da calha Parshall (Figura 13). Ondas de altas concentrações de surfactantes chegam eventualmente à unidade, provavelmente coincidindo com processos de limpeza dos recintos do RU.



Figura 12 Formação de espuma na entrada da CRG (a) e na entrada da calha Parshall (b)

As concentrações levemente mais altas na saída da CRG indicam a possibilidade de ter havido varredura desses compostos para fora da unidade, provavelmente associada aos picos de vazão observados.

#### 4.8 Lodo

A caracterização do lodo acumulado no fundo da CRG em relação à distribuição dos sólidos encontra-se descrita na Tabela 9. O lodo amostrado com o dispositivo de descarga de fundo da CRG apresentou elevadas concentrações de sólidos. A relação SV/ST calculada foi de 0,87 indicando a natureza predominantemente orgânica do material.

Tabela 9 Parâmetros do lodo amostrado na CRG nos três tratamentos: aeróbio (com soprador ligado e desligado) e anaeróbio

PARÂMETRO	TRATAMENTO	MÉDIA
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	Ligado	10298,1 a
	Desligado	3867,5 b
	Anaeróbio	52612,5 b
SF (mg.L <sup>-1</sup> )	Ligado	668,6 b
	Desligado	427,1 b
	Anaeróbio	5611,4 a
SV (mg.L <sup>-1</sup> )	Ligado	9596,9 b
	Desligado	3345,0 c
	Anaeróbio	43245,0 a
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Ligado	10223,0 b
	Desligado	11006,0 b
	Anaeróbio	36007,4 a
SS (mL.L <sup>-1</sup> )	Ligado	508,0 b
	Desligado	140,20 c
	Anaeróbio	1000,00 a

ST (sólidos totais), SF (sólidos fixos), SV (sólidos voláteis), SST (sólidos suspensos totais), SDT (sólidos dissolvidos totais), SS (sólidos sedimentáveis). Valores seguidos por diferentes letras minúsculas indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos com 5% de significância.

O lodo recolhido durante a operação em sistema anaeróbio apresentou elevadas concentrações quanto aos parâmetros SF, SV, SST e SS. Indicando que a deposição do lodo foi prejudicada pela grande turbulência causada pela dispersão de ar na massa líquida com altas taxas de aplicação.

A alta densidade de potência aplicada fez com que uma parcela do material particulado permanecesse dispersa na massa líquida, o que é também demonstrado pela ineficiência da CRG em remover SS do efluente durante a aplicação do ar difuso.

O sistema era desligado por 30 minutos antes de se coletar amostras de lodo. Com esse reduzido tempo, as concentrações das amostras desse tratamento

foram influenciadas pela formação de caminhos preferenciais na camada de lodo, permitindo a passagem de líquido que foi contabilizado como amostra. Isso é um indício de que a inclinação do fundo da CRG é insuficiente para permitir o escoamento contínuo do lodo acumulado. O aumento da inclinação do fundo talvez torne o processo de descarga de fundo mais eficiente, tanto para amostragem quanto para limpeza da unidade.

#### 4.9 Qualidade dos óleos e gorduras e viabilidade da produção de biodiesel

Os processos de cozimento causam profundas alterações da qualidade dos óleos e gorduras, em particular o processo de fritura por imersão, realizado em altas temperaturas, cuja utilização foi verificada como sendo **percursora** significativa de reações oxidativas e/ou hidrolíticas acelerando a degradação desses compostos.

Durante o processo anaeróbico a camada superficial da espuma isola as camadas inferiores evitando seu contato com o ar atmosférico em detrimento de sua própria degradação. Como a deposição de material flotante ocorre de baixo pra cima a superfície da espuma contém os resíduos lipídicos mais antigos. Pode-se inferir que verticalmente ao longo da seção transversal da camada de espuma acumulada na unidade ocorre a separação de dois ambientes distintos: um superficial, em contato direto com o ar atmosférico e, portanto mais sujeito às reações oxidativas e um compreendido pelo extrato inferior, isolado do ar atmosférico pelo extrato superior, porém sujeito às reações hidrolíticas devido ao contato mais prolongado com a fase aquosa.

**[G6] Comentário:** Verificar.

<http://www.priberam.pt/dlpo/percursosor>

#### 4.9.1 Índice de acidez

A quantidade de ácidos graxos livres, medida por meio do índice de acidez, é o principal indicativo do grau de degradação em que se encontram os óleos ou gorduras. Observou-se que quando o processo de fritura por imersão foi utilizado no RU, no dia anterior à amostragem do material retido na CRG, o índice de acidez aumentou substancialmente, como pode ser verificado na Tabela 10.

Tabela 10 Índices de acidez das amostras

TRATAMENTO	DP (mgNaOH.g <sup>-1</sup> )	MÉDIA (mgNaOH.g <sup>-1</sup> )
Com fritura	12,67	29,75 a
Sem fritura	3,98	18,50 b

Esses resultados confirmam as afirmações de Atadashi (2012), Canakci e Gerpen (2003), Encinar et al. (2011) e Tomasevic e Siler-Marinkovic (2003) em relação ao aumento do índice de acidez devido aos processos de cozimento com altas temperaturas e ao contato da água contida no alimento com o óleo de fritura. Junqueira (2014) encontrou valores médios de 90,65 mgNaOH/g trabalhando na mesma unidade no ano anterior, em sua metodologia não constou, entretanto, a remoção da espuma pela manhã o que causou a elevação do índice de acidez devido ao maior tempo de exposição dos OGR aos agentes degradantes.

Os resultados indicam também que para a produção de biodiesel, essa matéria-prima deve ser submetida a uma preparação anterior com a neutralização por base (saponificação) ou ácido (esterificação), por estar bem acima dos 0,701 mgNaOH/g de óleo (ou 0,5 %) recomendados por Haas e Foglia (2006).

#### 4.9.2 Índice de saponificação

Outro indicativo do grau de degradação de óleos e gorduras é o índice de saponificação. Esse índice representa a fração de compostos saponificáveis presentes, sendo o valor da massa (em mg) de hidróxido de potássio necessária para saponificar um grama de óleo. Os resultados encontrados estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 Médias, desvios e resultados do teste Scott Knot (1974) para os índices de saponificação das amostras

TRATAMENTO	MÉDIA (mgKOH.g <sup>-1</sup> )	DESVIO (mgKOH.g <sup>-1</sup> )
Com fritura	258,0 a	85,3
Sem fritura	259,0 a	65,1

Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos “com fritura” e “sem fritura” pelo teste estatístico utilizado. Os valores do índice saponificação são superiores aos encontrados por Oliveira (2012) quando avaliou resíduos gordurosos retirados de quatro caixas de gordura, sendo uma delas em um restaurante universitário. Este autor encontrou valores entre 151,9 a 215,8 mg.KOH.g<sup>-1</sup>, semelhantes aos 208 mg KOH.g<sup>-1</sup> médios encontrados por Junqueira (2014). Os mais altos índices obtidos neste trabalho indicam maiores teores de material saponificável na espuma recolhida da CRG o que indica que a matéria-prima obtida por meio da raspagem frequente é mais rica em ácidos graxos, sendo mais apropriada à produção de biodiesel.

### 4.9.3 Índice de refração

A medida do índice de refração é diretamente relacionada à quantidade de insaturações das moléculas de ácidos graxos, embora seja também afetada por outras características físico-químicas do material analisado. As médias e desvios observados encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 Índices de refração das amostras

TRATAMENTO	MÉDIA	DESVIO
Com fritura	1,4798 a	0,0317
Sem fritura	1,4705 a	0,0014

Os valores médios foram de 1,4752, correspondem a 73,8 % Brix, semelhantes aos 70% encontrados por Junqueira (2014) trabalhando com resíduos da mesma natureza. Devido à quantidade de fatores que afetam esse índice, seria interessante a sua avaliação juntamente com outros parâmetros em condições experimentais controladas, a fim de identificar a real representatividade da variação nos valores para esse material específico.

### 4.9.4 Índice de peróxidos

O índice de peróxido é um importante indicativo da degradação oxidativa e mede a extensão da peroxidação lipídica. Um valor mais alto indica maior formação de hidroperóxidos por meio do mecanismo de peroxidação em cadeia (QI; LEE, 2014). Os valores obtidos podem ser verificados na Tabela 13.

Tabela 13 Índices de peróxidos das amostras

TRATAMENTO	MÉDIA (meq.kg <sup>-1</sup> )	DESVIO (meq.kg <sup>-1</sup> )
Com fritura	25,40 a	5,27
Sem fritura	19,41 b	4,76

Esses valores são inferiores aos 61,95 meq.kg<sup>-1</sup> encontrados por Junqueira (2014) na mesma unidade. Em seu trabalho, a espuma foi mantida na superfície da CRG ao longo de todo o período de coletas de cada processo, o que provavelmente aumentou o nível de degradação dos OGR, em função do elevado tempo de exposição aos agentes degradantes.

#### 4.10 Quantificação dos OGR

Com a pesagem do material raspado na CRG e decantado, foram obtidos valores de massa de OGR por refeição servida no período antecedente desde a última raspagem. Nos 78 dias em que a quantificação foi feita foram servidas 100.299 refeições no restaurante e recolhidos 246 kg de OGR na CRG. Relacionando esses dois valores obtém-se um valor médio de 2,453 gramas de OGR por refeição. Essa estimativa pode ser aplicada ao dimensionamento de outras unidades de mesma natureza ou ainda auxiliar no gerenciamento dos processos de recolhimento e destinação no material acumulado.

O acúmulo de material flotante ocorreu somente nos períodos em que o sistema de flotação por ar difuso estava desligado. A forma como o processo de flotação foi conduzido durante esse monitoramento não se mostrou eficiente no que tange os objetivos primários desse processo. A redução da densidade de potência no interior da unidade provavelmente traria consequências positivas na diminuição da turbulência, possibilitando a remoção das frações flotante e sedimentável com maior eficiência.

#### 4.10.1 Presença de emulsões e desemulsificação

A desemulsificação do extrato 2 foi feita em estufa a 80°C com aplicação de vácuo. Isso fez com que a água livre contida na emulsão entrasse em ebulição. Essa aceleração da secagem pode ter auxiliado a separação do óleo aprisionado na emulsão, fazendo com que este fosse liberado.

Souza (2003) avaliou o processo de desemulsificação de gorduras residuais variando a temperatura e a quantidade do eletrólito NaCl e concluiu que a desemulsificação foi mais eficiente em temperaturas mais altas (85 °C) e ainda que a adição do eletrólito tem papel fundamental na redução da espessura da dupla camada, tornando as partículas mais suscetíveis à floculação ou coagulação e, conseqüentemente, à coalescência por conta do movimento *browniano*.

Foi observado que o aquecimento a 80°C foi suficiente para que grande parte do material lipídico aprisionado nas emulsões fosse liberado, apresentando aspecto opaco (Figura 14), o qual foi quantificado através do índice de refração e comparado à fração não emulsificada.

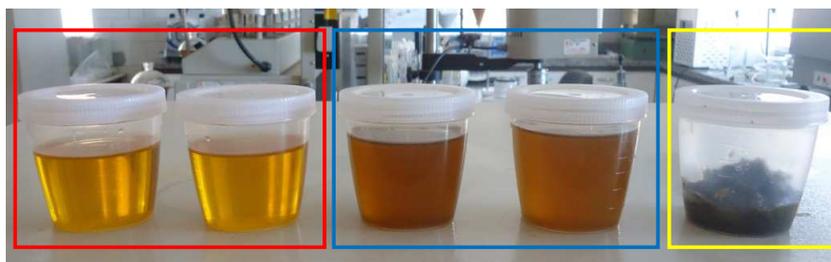


Figura 13 Extrato 1 após secagem (vermelho) e gordura liberada com a desemulsificação do Extrato 2, liquefeita devido ao aquecimento (azul), borra removida da emulsão (amarelo)

## 4.11 Caracterização dos extratos

[G7] Comentário: Inserir texto.

### 4.11.1 Teor de água

Pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C foram obtidos valores apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 Teores de água dos dois extratos de OGR obtidos pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C

EXTRATO	U (%)
1	0,338
2	52,039

Nota-se claramente a grande quantidade de água removida do extrato 2, indicando a presença de emulsões a partir da associação de óleos e gorduras com água, provavelmente mediada por moléculas surfactantes como os detergentes provenientes dos produtos de limpeza empregados na rotina do RU. A desemulsificação se faz necessária para o aproveitamento do material lipídico nos processos de produção de biodiesel.

### 4.11.2 Índice de acidez

Os índices de acidez obtidos nas análises dos 2 extratos apresentam-se na Tabela 15.

Tabela 15 Índices de acidez dos extratos 1 e 2 da espuma da CRG separados gravitacionalmente

AMOSTRA	IA (mgNaOH.g <sup>-1</sup> )
Extrato 1	82,9
Extrato 2	143,7

A comparação entre os dois tratamentos mostra que o nível de degradação dos OGR do Extrato 2 supera o do extrato 1, apresentando uma elevação de 73,23 %. O contato prolongado com a água da emulsão pode ter levado o material a um processo de degradação hidrolítica, elevando seu índice de acidez. O extrato 1 apresentou índices elevados em relação às médias obtidas nas coletas sequenciais por se tratar de uma amostra composta em 6 dias de retenção na CRG, não sendo composta pelas amostras recolhidas ao longo do monitoramento. O motivo principal dessas coletas e análises foi a comparação entre os extratos.

#### 4.11.3 Análises de composição da borra

As análises de composição feitas na borra da fração emulsificada dos OGR após emulsificação detectaram a presença de grande quantidade de Potássio (K) e Nitrogênio (N) como pode ser visto na Tabela 15. A presença do Potássio é atribuída aos detergentes industriais utilizados nos processos de limpeza do RU, que são os responsáveis pela expressiva formação das emulsões verificadas.

**[L8] Comentário:** A próxima tabela é a 16, favor verificar.

Tabela 16 Resultado da análise de composição da borra obtida após desmulsificação dos OGR por aquecimento e métodos analíticos empregados nas análises

ELEMENTO	QUANTIDADE	MÉTODO ANALÍTICO
N (%)	1,05	N total Kjeldahl
P (%)	0,06	Colorimetria
K(%)	1,00	Emissão atômica
Ca(%)	0,012	Absorção atômica
Mg(%)	0,1139	Absorção atômica
S(%)	0,125	Turbidimetria
B (ppm)	0,022	Colorimetria
Cu (ppm)	0,0875	Absorção atômica
Mn (ppm)	0,0127	Absorção atômica
Zn (ppm)	0,0444	Absorção atômica
Fe (ppm)	0,7683	Absorção atômica

#### 4.12 Ensaio de produção

A produção de biodiesel utilizando OGR recolhido em CRGs apresenta grande potencial, principalmente mediante purificação e tratamento prévio para remoção dos AGL, água e outras impurezas. Nesse caso, face aos elevados índices de acidez encontrados, conclui-se que uma fração significativa do material deixaria de ser convertido em biodiesel caso esse tratamento prévio seja a neutralização por saponificação. A esterificação dos AGL via catálise ácida promove um melhor aproveitamento da matéria-prima e se mostrou eficaz na redução do índice de acidez dos OGR utilizados.

##### 4.12.1 Esterificação ácida

O ensaio de produção de biodiesel foi feito em duas etapas distintas. Na primeira foram convertidos os AGL, por meio de reações de esterificação

catalisada por ácido sulfúrico. Os resultados dos dois processos de conversão de AGL em ésteres metílicos via esterificação ácida encontram-se ilustrados na Figura 14:

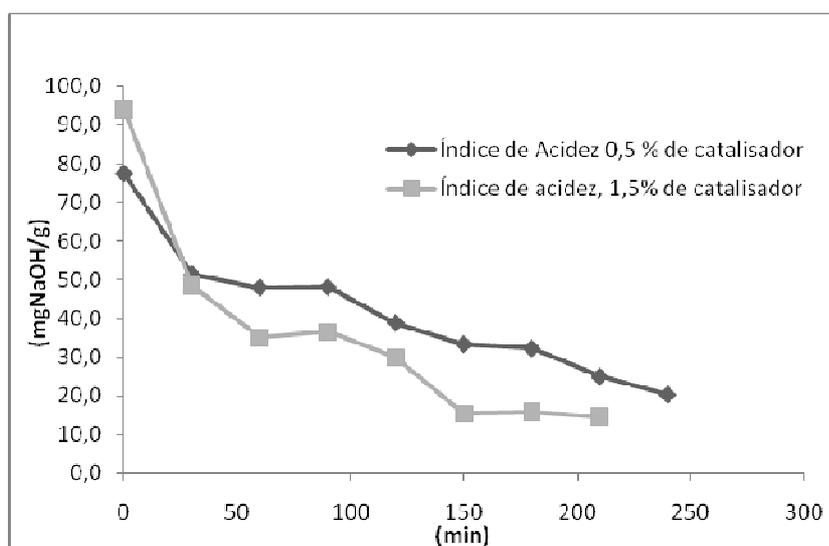


Figura 14 Curvas de decaimento do IA ao longo do tempo de reação

No primeiro ensaio, em que foi utilizado 1,5% v/v de ácido sulfúrico/óleo obteve-se um rendimento de 84,48% na conversão de AGL e no segundo ensaio em que utilizou-se 0,5% do catalisador obteve-se rendimento de 73,93 %. A acidez remanescente pode ser atribuída ao catalisador ácido que não participa efetivamente da reação de esterificação e é detectado pelo método titulométrico utilizado na medição do índice de acidez.

Imediatamente após a adição do ácido sulfúrico ocorreu o escurecimento da amostra que se intensificou com o passar do tempo de reação (Figura 15), provavelmente devido à sua reação com o metanol.

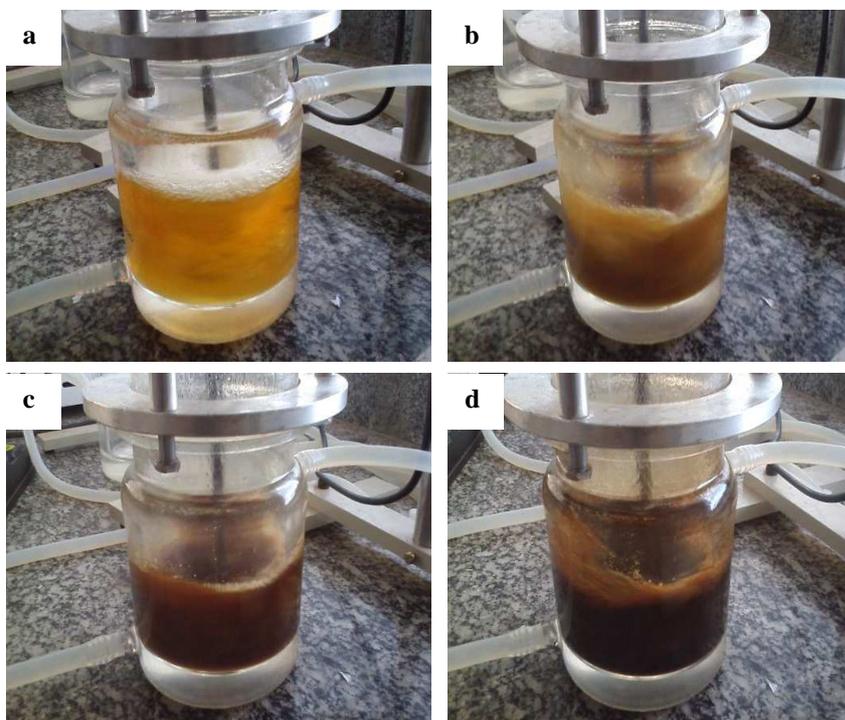


Figura 15 Aspecto do produto da esterificação no reator antes da adição do catalisador (a), com 30 min de reação (b) com 2 h de reação (c) e com 4 h de reação (d)

A esterificação com catálise ácida se mostrou um tratamento adequado para reduzir a acidez dos OGR. A principal vantagem é que nesse processo os AGL, que inibem a separação da glicerina após a transesterificação alcalina, são convertidos em biodiesel. Uma desvantagem desse processo é a necessidade da remoção da água produzida durante a reação. A água representa um entrave na reação de transesterificação subsequente. Diante de um material com altos índices de acidez é importante que os AGL sejam utilizados como matéria-prima para a síntese de biodiesel.

#### **4.12.2 Transesterificação alcalina**

A transesterificação foi ineficiente com a adição de 2 % m/m de catalisador metilato de sódio a 30%. A quantidade de catalisador foi então aumentada gradativamente até que se obtivesse separação da glicerina. Com a adição de 15 % de catalisador houve conversão em ésteres metílicos. Foi observada a formação de sabões na interface ésteres-glicerina, provavelmente em virtude da água remanescente da reação de esterificação juntamente com a elevada concentração de catalisador básico, o que impediu uma separação eficiente das fases. O produto final encontra-se ilustrado na Figura 16.



Figura 16 Separação das fases após transesterificação e presença de sabões na interface ésteres-glicerina

A formação dos sabões pode ser atribuída à presença de AGL que não foram esterificados no pré-tratamento, sugerindo a necessidade de uma esterificação ácida mais eficiente ou a utilização de quantidades menores de álcali na transesterificação. Uma parte do metilato de sódio utilizado é consumida na neutralização do ácido sulfúrico remanescente da esterificação ácida, o que explica a necessidade da aplicação adicional de álcali para catalisar

**[G9] Comentário:** Favor analisar. Incoerência textual.

a transesterificação dos OGR em relação à quantidade utilizada na conversão de óleos e gorduras refinados. O cálculo da quantidade adicional de álcali necessária para a neutralização do ácido remanescente da esterificação é fundamental para uma transesterificação satisfatória.

## 5 CONCLUSÕES

A CRG foi eficiente na remoção de sólidos totais operando tanto via processo anaeróbio quanto aeróbio.

Houve remoção significativa de sólidos voláteis e sedimentáveis enquanto a CRG operou anaerobicamente.

Operando de forma aeróbia, a CRG atuou significativamente na remoção de sólidos dissolvidos e óleos e graxas do efluente do RU.

Houve variações significativas nas concentrações de oxigênio dissolvido durante o funcionamento nos dois processos de operação, sendo observada uma redução acentuada dessas concentrações para o processo anaeróbio.

Somente durante o processo anaeróbio houve acúmulo de material flutuante na superfície da CRG.

A realização de processos de fritura por imersão no RU causou alterações dos índices de acidez e índice de peróxido dos OGR recolhidos.

A reação de esterificação ácida se mostrou adequada para reduzir o teor de AGL do material lipídico acumulado na CRG, embora haja a necessidade de remover a água produzida e a neutralização do catalisador ácido remanescente da reação, de modo a não incutirem efeitos inibitórios na transesterificação subsequente.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A CRG da UFLA apresentou expressivo desempenho na remoção de frações sólidas e de óleos e graxas do efluente operando por processo anaeróbio, reduzindo os custos operacionais do sistema de coleta de esgotos; das estações elevatórias de esgoto e da ETE/UFLA e melhorando a qualidade do tratamento final dos efluentes gerados, porém sua eficiência pode ser ainda aumentada, principalmente o processo de flotação por ar disperso. A variação da taxa de aplicação de ar na massa líquida pode levar a diferentes eficiências na remoção de OGR por flotação. Essa variação poderia ser obtida por meio de inversor de frequência e pode ser objeto de futuros estudos a serem conduzidos na CRG/UFLA.

Um sistema de coletas mais representativo poderia ser obtido variando os volumes das alíquotas em função da vazão que passa pela unidade no momento da amostragem, pois a vazão e as características do efluente são muito variáveis. É interessante que uma alíquota recolhida durante um período de grande vazão seja proporcionalmente representada na amostra composta.

Em estudos posteriores podem ser avaliados separadamente os efeitos da oxidação, hidrólise e suas interações com a temperatura no processo de degradação dos compostos lipídicos presentes em escumas de CRGs.

Uma estrutura piloto de produção de biodiesel por hidroesterificação está sendo implantada no Laboratório de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel com potencial para ser uma importante plataforma de pesquisas sobre essa rota produtiva, possibilitando que estudantes de diversas áreas possam atuar diretamente nas diversas etapas da cadeia produtiva de biodiesel.

Ensaio deverão continuar sendo realizados nas dependências do G-óleo para elevar os níveis de eficiência na conversão dos OGR a ésteres alquílicos de ácidos graxos.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **AOCS METHODS**. Disponível em: <[HTTP://SEARCH.AOCS.ORG/METHODS/INDEX.CFM](http://search.aocs.org/methods/index.cfm)>. Acesso em: 18 ago. 2014.
- ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Effects of free long-chain fatty acids on thermophilic anaerobic digestion. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 37. n. 6, p. 808-812, 1992.
- ATADASHI, I. M. et al. Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks." **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Philadelphia, v. 16, p. 11, 2012.
- BARBOSA, R. L. et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, 2008.
- CANAKCI, M.; GERPEN, J. V. A Pilot Plant to Produce Biodiesel from High Free Fatty Acid Feedstocks. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 46, n. 4, p. 945-954, 2003.
- CANAKCI, M. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 1, p. 183-190, 2007.
- COSTA NETO, P. R.; FREITAS, R. J. S. Purificação de óleo de fritura. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 163-170, 1996.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1862-1866, 2007.
- DIAZ-FELIX, W. et al. Pretreatment of yellow grease for efficient production of fatty acid methyl esters. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, n. 4, p. 558-563, 2009.
- ENCINAR, J. M. et al. Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, p. 10907-10914, 2011.
- FEDDERN, V. et al. Animal fat wastes for biodiesel production. **Biodiesel – Feedstocks and Processing Technologies**, Rijeka, v. -, p. 45-47, 2011.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35. n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- HAAS, M. J.; FOGLIA, T. A. Matérias-primas alternativas e tecnologias para a produção de biodiesel. In: KNOTHE, G. et al. **Manual de biodiesel**. São Paulo: E. Blucher, 2006.
- HAO, L. T.; YUEFENG, F. X.; YEN-CHIH, C. Use of Bio-Amp, a commercial bio-additive for the treatment of grease trap wastewater containing fat, oil, and grease. **Bioresource Technology**, Essex, v. 124, p. 52-58, 2012.
- HENDERSON, C. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 81, n. 1, p. 107-112, 1973.
- JUNQUEIRA, W. B. C. **Desempenho de caixa de gordura empregada no tratamento preliminar dos efluentes de restaurante universitário**. 2014. 218 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- KNOTHE, G. et al. **Manual do biodiesel**. São Paulo: E. Blügher, 2006.
- KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. A comparison of used cooking oils: a very heterogeneous feedstock for biodiesel. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 23, p. 5796-5801, 2009.
- KOSTER, I. W.; CRAMER, A. Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 53. n. 2, p. 403-409, 1987.
- KWIATKOWSKI, M. P. et al. Free fatty acids degradation in grease trap purification using ozone bubbling and sonication. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH PRESSURE LOW TEMPERATURE PLASMA CHEMISTRY, 13., 2013, Hakone. **Proceedings...** Hakone: [s. n.], 2013. v. 61, n. 2.
- MARON, S. H. **Fundamentals of physical chemistry**. New York: Macmillan, 1974.
- NAKHLA, G. et al. Anaerobic treatability of high oil and grease rendering wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 102, n. 2/3, p. 243-255, 2003.

OLIVEIRA, J. P. D. **Estudo da geração de biodiesel a partir de resíduos oleosos do saneamento ambiental**. 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

OLKIEWICZ, M. et al. Evaluation of different sludges from WWTP as a potential source for biodiesel production. **Procedia Engineering**, Philadelphia, v. 42, p. 634-643, 2012.

PARK, J. Y. et al. Production and characterization of biodiesel from trap grease. **Korean Journal Chemical Engineering**, Heidelberg, v. 27, p. 1791-1795, 2010.

QI, D. H. et al. Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 51, n. 12, p. 2985-2992, 2010.

QI, D. H.; LEE, C. F. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, Taiwan, v. 45, n. 2, p. 504-507, 2014.

RIEGER, M. M. Teste de estabilidade para macroemulsões. **Cosmetics e Toiletries**, Carol Stream, v. 8, n. p. 46-53, 1996. (Edição em Português).

RUBIO, J.; SOUZA, M. L.; SMITH, R. W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. **Minerals Engineering**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 139-155, 2002.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais**. 2009. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SIDDIQUEE, M. N.; ROHANI, S. Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludges: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Philadelphia, v. 15, n. 2, p. 1067-1072, 2011.

SOLARI, J. A.; GOCHIN, R. J. Fundamental aspects of microbubble flotation processes. In: LASKOWSKI, J. S.; RALSTON, J. **Developments in mineral processing**. Amsterdam: Elsevier, 1992. v. 12, p. 395-418. Chap. 13.

- SOUZA, M. A. **Desemulsificação e purificação de resíduos gordurosos provenientes de esgotos domésticos**. 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.
- SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1996.
- STOLL, U. G. H. Management strategies for oil and grease residues. **Waste Management & Research**, London, v. 15, n. 1, p. 23-32, 1997.
- TCHOBANOGULUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- TOMASEVIC, A. V.; SILER-MARINKOVIC, S. S. Methanolysis of used frying oil. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 1-6, 2003.
- WAKELIN, N. G.; FORSTER, C. F. The aerobic treatment of grease-containing fast food restaurant wastewaters. **Process Safety and Environmental Protection**, Rugby, v. 76, n. 1, p. 55-61, 1998.
- WANG, P. et al. Physical and chemical characteristics of particulate matter from biodiesel exhaust emission using non-thermal plasma technology. **Energy & Fuels**, Washington, v. 24, n. 5, p. 3195-3198, 2010.
- WANG, Y.; OU, P. L. S.; ZHANG, Z. Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 48, n. 1, p. 184-188, 2007.
- WILLIAMS, J. B. et al. Fat, oil and grease deposits in sewers: characterisation of deposits and formation mechanisms. **Water Research**, New York, v. 46, n. 19, p. 6319-6328, 2012.
- WONG, N. H.; LAW, P. L.; LAI, S. H. Field tests on a grease trap effluent filter. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, v. 4, n. 3, p. 345 -350, 2007.
- YANG, B.; CHEN, G.; CHEN, G. Submerged membrane bioreactor in treatment of simulated restaurant wastewater. **Separation and Purification Technology**, Philadelphia, v. 88, p. 184-190, 2012.