

GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DA PRODUÇÃO DE IOGURTES COM DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Isis de Santana Oliveira¹
George de Souza Sustafa¹

Resumo

A produção de iogurtes gera grande quantidade de efluentes líquidos de elevada quantidade de matéria orgânica, que podem causar impactos ambientais se não tiverem tratamento adequado. O gerenciamento e tratamento destes efluentes líquidos por meio do dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), garante redução dos impactos ambientais. O dimensionamento da ETE, utilizando o método de lodo ativado convencional, apresenta uma eficiência média de 90% na remoção de DBO e DQO, e poderá remover diariamente 0,08 m³ de areia, cerca de 5.686,29 kg de DBO, e produzir 5,32 m³ de lodo seco a partir de vazão média calculada de 2.030 m³/dia de efluentes com 6.318,10 kg DBO/dia.

Palavras-chave: Produção de iogurtes; Efluentes líquidos; Matéria orgânica; Tratamento, ETE.

Abstract

Yogurt manufacturing generates a large amount of wastewater with a high amount of organic matter, which may generate environmental impacts if they do not have appropriate treatment of wastewater and discharge them directly into receiving water bodies without previous treatment. The management and treatment of this wastewater through the design of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) contributes to reducing environmental impacts. The WWTP design using a conventional activated sludge method, has an average efficiency of 90% on the removal of BOD and COD, and can daily remove 0.08 m³ of sand and about 5,686.29 kg of BOD and produce 5.32 m³ of dry sludge from an average inflow of 2,030 m³ per day of wastewater with 6,318.10 kg BOD per day.

Keywords: Yogurt manufacturing; Wastewater; Organic matter; Treatment; WWTP.

1 OBJETIVO

1.1 Objetivo geral

O estudo proposto neste trabalho tem a finalidade de apresentar soluções para o gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos provenientes da produção de iogurtes por meio do dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), garantindo benefícios à indústria e ao meio ambiente com a diminuição dos impactos ambientais.

¹Universidade Salvador – UNIFACS, Escola de Engenharia e TI. E-mail para contato: isis.oliveira.eq@gmail.com, mustafa@unifacs.br

XIV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2015.

<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>

1.2 Objetivos específicos

- Apresentar o processo de produção de iogurtes, os respectivos efluentes líquidos gerados e impactos ambientais causados pelo descarte inadequado destes efluentes;
- Dimensionar uma ETE para tratamento dos efluentes líquidos.

2 INTRODUÇÃO

Os processos industriais tradicionais emitem grandes quantidades de rejeitos industriais, caracterizados como perdas do processo, na forma de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões gasosas; que podem causar grandes impactos ambientais quando descartados no meio ambiente fora dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente. Os efluentes líquidos são um dos maiores poluidores dos corpos d'água e, diante da crescente preocupação mundial com a qualidade dos recursos hídricos e exigências do desenvolvimento sustentável, as empresas necessitam minimizar os impactos ambientais da sua produção. A implantação de uma ETE, possibilitará o tratamento dos efluentes gerados, adequando os despejos industriais dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental, que no caso dos efluentes de laticínios, terá a carga orgânica reduzida.

A indústria de alimentos é um dos setores que mais consomem água e gera efluentes líquidos por unidade de produção. O ramo de laticínios, um dos principais segmentos do setor, produz significante quantidade de efluentes líquidos, e com elevada quantidade de matéria orgânica. Estes efluentes são originados nas diversas etapas do processo produtivo, esgotos sanitários e área industrial. Estes efluentes contêm quantidades residuais de leite e derivados, detergentes, desinfetantes, areia, açúcar, pedaços de frutas e essências, correspondendo a efluentes de elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), além de contar com a presença de lipídios, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas em sua constituição (SILVA, Ana, 2010).

Dentre os principais produtos do setor lácteo, o iogurte pode ser considerado o produto fermentado mais importante no mercado brasileiro, depois do queijo. A produção de iogurte vem crescendo continuamente devido ao alto consumo por suas propriedades nutritivas e por ser um produto mais digerível que o leite pelo baixo teor de lactose, além da grande variedade nas linhas de produtos desenvolvidas a cada ano (IBGE, 2014). No Brasil, o consumo de iogurte per capita alcança uma margem de 7 kg/habitante/ano, que é baixo em relação a outros

países como a Argentina, que consome mais que o dobro (MILKPOINT, 2015). Isto mostra que o país apresenta um grande potencial de crescimento no mercado de iogurtes. Na sétima edição do Dairy Index da Tetra Pak®, o aumento do consumo global de produtos lácteos deverá ser de 36% até 2024, o que implica em maior processamento de leite, correspondendo a cerca de 710 milhões de toneladas de leite líquido processados (TETRA PAK, 2014).

Esse cenário alerta que com o aumento da demanda, a produção de lácteos, como o iogurte, irá se acelerar e haverá também um aumento na quantidade de efluentes líquidos gerados, justificando a implantação de unidades de tratamento desses efluentes para minimizar os impactos ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria de laticínios

Nos últimos 10 anos, a produção de leite no Brasil cresceu quase 50%, e segundo números divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a industrialização do leite foi 6,26 bilhões de litros em 2014, aumento de 4,9% de sobre o mesmo período de 2013. A maior parte da produção brasileira de laticínios está concentrada na região Sudeste, correspondendo aos maiores mercados consumidores e indústrias do ramo. O estado de Minas Gerais é responsável pela maior parcela, e correspondeu a cerca de 76% da produção da região Sudeste e 27,4% da produção nacional no 2º trimestre de 2014 (IBGE, 2014).

A indústria de laticínios é responsável por processar um único insumo básico, o leite, e gerar uma gama de produtos lácteos. O leite bovino possui cerca de 87,4% de água, 4,7% de lactose, 3,9% de gordura, 3,3% de proteínas e 0,7% de minerais (TAMIME; ROBINSON, 2007). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, a densidade do leite é, em média, 1,032 g/ml, podendo variar entre 1,023 e 1,040 g/ml, sendo assim, 1 L de leite equivale a 1,032 kg (EMBRAPA, 2015). A composição do leite é variada, e depende da espécie, raça, metabolismo, alimentação, e tipo de criação do animal. A maior parte do leite empregado na fabricação de produtos lácteos é de origem bovina, porém encontra-se no mercado grande variedade de produtos produzidos com leite de outros mamíferos, como a cabra e ovelha e, em alguns países, a búfala e a camela (camelo fêmea), dentre outros animais (MAGANHA, 2008).

Os produtos lácteos podem ser classificados basicamente em lácteos fermentados e não-fermentados. Os produtos lácteos não fermentados são alimentos processados do leite, que passam por alguns processos de separação de conteúdos graxos, dessecação, pasteurização, adição de nutrientes etc.; mas não são expostos a um processo de fermentação. Estes produtos são empregados como alimentos básicos, tal como o leite e a manteiga. Os produtos lácteos fermentados são alimentos que, além do pré-tratamento do leite, sofrem processo fermentativo por ação de bactérias da família *Lactobacillales* (bactérias do ácido láctico). Dentre os produtos lácteos fermentados, destacam-se o iogurte e queijo.

3.2 Produção de iogurtes

Entende-se por iogurte o produto obtido pela fermentação do leite por ação de duas espécies de bactérias, a *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococos thermophilus*, sobre o leite integral, desnatado ou padronizado. A origem do iogurte ainda não é clara, alguns historiadores acreditam que o iogurte surgiu na Antiguidade, na região dos Bálcãs, onde o leite de animais era armazenado em recipientes de barro ou sacos feitos de pele de cabra, e quando expostos ao calor da temperatura ambiente ou exposição ao sol, bactérias ácidas fermentavam o leite e o transformavam em iogurte (SILVA; AMANDA, 2013).

O mercado de iogurtes vem crescendo significativamente nos últimos anos devido à grande procura por alimentos naturais, pois é visto como um alimento “naturalmente saudável”, rico em proteínas, vitaminas e minerais, com características nutricionais. O iogurte é um produto de refeição rápida e de fácil assimilação pelo organismo, e contém todos os constituintes nutricionais do leite, e possui baixo teor da lactose (açúcar do leite), que é reduzida durante a fermentação, revelando-se vantajoso para quem possui deficiência da enzima lactase e intolerância ao leite in natura (SILVA et al., 2010).

Tabela 1 - Classificação dos tipos de iogurte

Tipo de classificação	Tipo de iogurte	Descrição
De acordo com o processo de elaboração, consistência e textura	Iogurte tradicional (<i>set yogurt</i>)	O processo de fermentação ocorre dentro da própria embalagem, não sofre homogeneização e o resultado é um produto firme, mais ou menos consistente
	Iogurte batido (<i>stirred yogurt</i>)	O processo de fermentação ocorre em fermentadeiras ou incubadoras com posterior quebra do coágulo
	Iogurte líquido (<i>fluid yogurt</i>)	O processo de fermentação é realizado em tanques; é comercializado em embalagens plásticas tipo garrafa ou do tipo cartonadas
De acordo com a presença de flavorizantes	Iogurte natural	Ausência de flavorizantes
	Iogurte com frutas	Adição de frutas naturais ou polpas
	Iogurte com aromas	Presença de flavorizantes

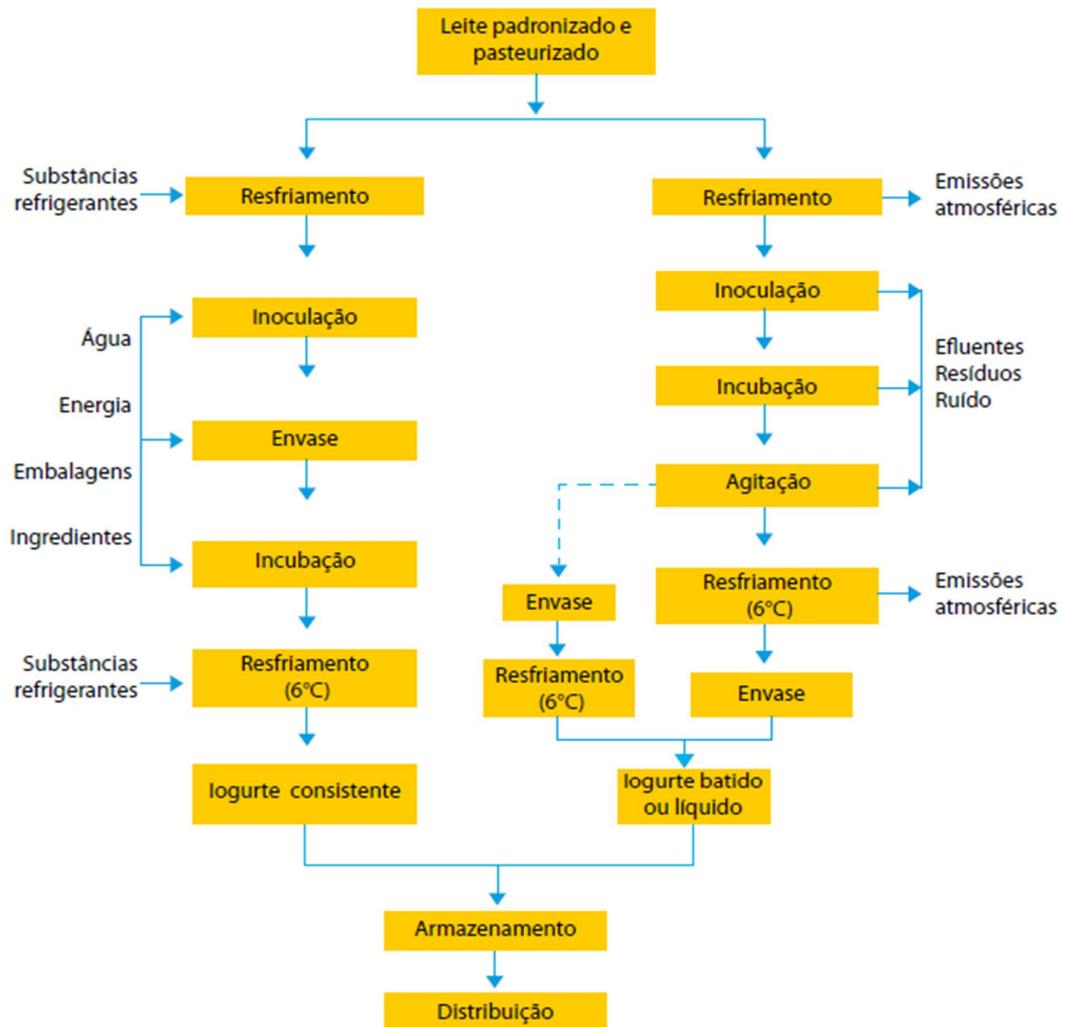
Fonte: Adaptado de Tamime e Robinson (2007).

O iogurte é um produto de grande flexibilidade, e por isso os fabricantes podem criar produtos que atendam às diferentes necessidades dos consumidores, podendo apresentar características probióticas, diferentes teores de gordura, além de diversos sabores. As variações entre os diferentes tipos de iogurtes encontrados no mercado são decorrentes de algumas diferenciações ocorridas nas etapas do processo de fabricação, que conferem características diferenciadas para cada tipo. A classificação dos tipos de iogurte pode ser definida como apresentada na Tabela 2, conforme Tamime e Robinson (2007).

3.2.1 Processo de produção

O processo de produção de iogurte tem evoluído ao longo dos séculos. Os equipamentos necessários para a fabricação de iogurtes variam em relação ao tipo de iogurte produzido, escala de produção e o nível de tecnologia aplicada. O iogurte pode ser produzido em pequena, média e em grande escala, sendo a última referente à produção industrial (TAMIME; ROBINSON, 2007). Atualmente, há produtores de pequeno, médio e grande porte que empregam diferentes tipos de processos produtivos e equipamentos, de acordo com seu perfil e demanda de mercado.

Figura 1 - Fluxograma geral de produção de iogurte



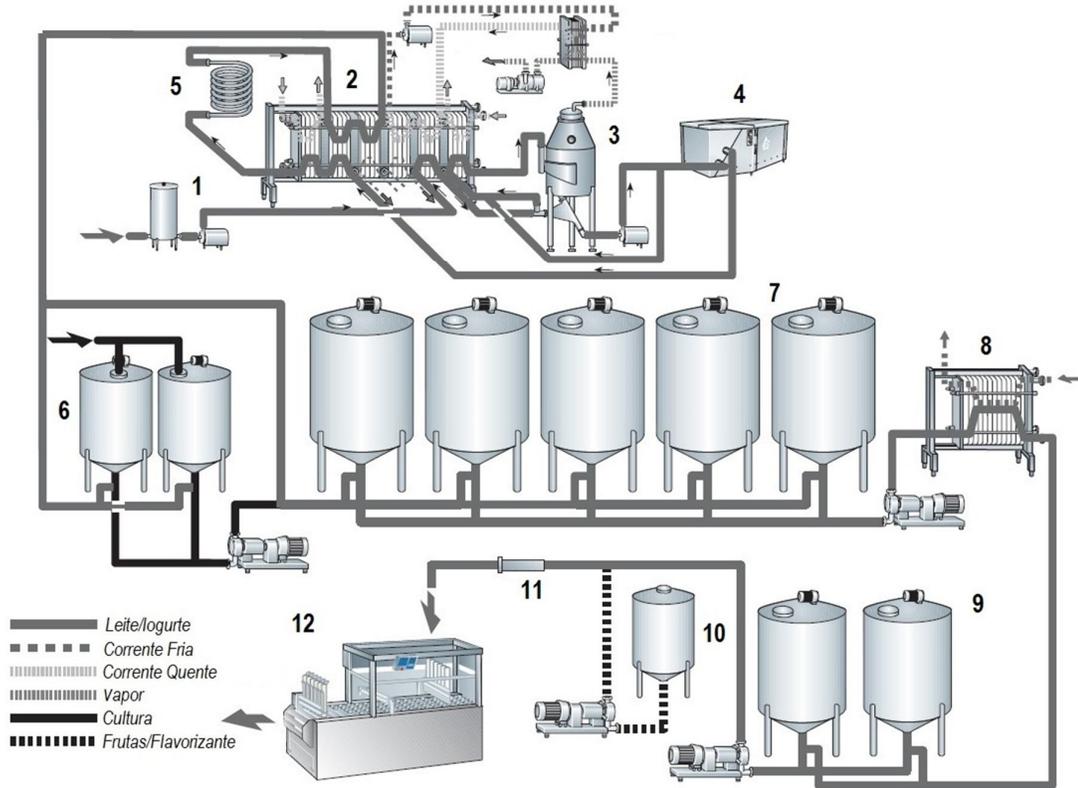
Fonte: Maganha (2008)

A seleção da matéria prima é a primeira etapa da produção de iogurte. As principais matérias primas para a produção de iogurtes são o leite, o leite em pó, açúcar e frutas. O leite deve ter as suas características controladas, com baixa contagem de bactérias, não deve conter enzimas e substâncias que atrapalhem a ação dos microrganismos fermentadores, como inibidores de enzimas, contaminantes e antibióticos (SILVA *et al*, 2010). Na Figura 1 é apresentado um fluxograma geral e simplificado da produção de iogurte. As etapas básicas de processamento do leite podem sofrer pequenas variações de acordo com o tipo de iogurte a ser fabricado, e são descritas a seguir (DANONE, 2015):

- I. *Mistura* – O leite é padronizado no teor de gordura desejável e são adicionados os ingredientes para produção de iogurte.
- II. *Homogeneização* – Os produtos com gordura passam por um homogeneizador, sob alta pressão, para serem homogeneizados e reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura, obtendo um produto de consistência lisa e cremosa.
- III. *Pasteurização* – Toda a mistura é aquecida no pasteurizador a uma temperatura suficiente para eliminar todas as bactérias indesejáveis e seguir para a fermentação.
- IV. *Fermentação* – O leite é coagulado. A lactose é transformada em ácido láctico (agente da coagulação do leite), por ação de duas bactérias: *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*. A fermentação ocorre a uma temperatura de 42 a 43°C durante aproximadamente 4 horas.
- V. *Resfriamento* – Quando o produto atinge a acidez desejada ele é resfriado e enviado a outro tanque hermético.
- VI. *Adição de base frutas* – O produto recebe a polpa de frutas ou pedaços de frutas.
- VII. *Embalagem e conservação* – O iogurte é envasado em recipientes esterilizados. A temperatura ideal para conservação do iogurte varia de 1 a 10°C e seu tempo de validade é de cerca de 35 dias.

Antes da pasteurização e padronização, o leite que chega na unidade de processamento passa por um eliminador de ar e um filtro para remoção de ar e impurezas (TAMIME; ROBINSON, 2007). A Figura 2 representa um diagrama de fluxo do processamento do leite para fabricação de iogurte batido em escala industrial. O fluxo entre os equipamentos numerados de 1 a 5 corresponde ao pré-tratamento geral do leite, que é comum a produção de qualquer um dos tipos de iogurte para padronização e pasteurização (TAMIME, 2006).

Figura 2 - Diagrama de linha de produção de iogurte batido (*stirred yoghurt*)



1-Tanque equilíbrio; 2-Trocador de placas; 3-Evaporador; 4-Homogeneizador; 5-Serpentina; 6-Tanques de cultivo; 7-Tanques de incubação/fermentação; 8-Refrigerador de placas; 9-Tanques de amortecimento; 10-Tanque de frutas/flavorizante; 11-Agitador em linha; 12-Máquina de envaze.

Fonte: Tamime (2006)

3.3 Efluentes líquidos

Segundo Maganha (2008), o consumo médio de água no setor de laticínios está entre 1,0 e 6,0 litros de água/kg de leite recebido. Na produção de leite e iogurtes, esse consumo pode variar entre 0,6 a 4,1 litros de água/litro de leite processado, incluindo água de resfriamento, o que gera cerca de 3L de efluente/kg de leite processado. Parte desta água consumida é utilizada no processamento (resfriamento, geração de vapor etc.), e a maior parte é utilizada na limpeza de superfícies que entram em contato com o iogurte, como tanques de fermentação, máquinas de envasamento, etc. Estes efluentes apresentam alto teor de orgânicos, nitrogênio e fósforo (principalmente em função do uso de produtos para limpeza e desinfecção), grandes variações no pH (residuais de soluções ácidas e alcalinas das operações de limpeza), e variações na temperatura provocadas por etapas específicas do processamento (MAGANHA, 2008).

Esses efluentes líquidos apenas podem ser descartados no meio ambiente após sofrerem tratamento adequado para se encaixarem dentro dos padrões estabelecidos pela

legislação ambiental vigente. A maior preocupação é decorrente da alta concentração de matéria orgânica, com elevada DBO e DQO, que são parâmetros para a quantificação do potencial poluidor dos efluentes industriais. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior será o consumo de oxigênio para oxidação da matéria orgânica e menor será a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água, o que pode causar impactos ambientais que comprometem a vida aquática.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 430/2011, estabelece padrões e limites de lançamento de efluentes. As principais condições para lançamento de efluentes no corpo receptor previstas são:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) Óleos e graxas:
 1. Óleos minerais: até 20 mg/L;
 2. Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) Ausência de materiais flutuantes;
- g) DBO 5 dias a 20°C: remoção mínima de 60% de DBO.

Essa resolução, contudo, não faz referência ao parâmetro de DQO, estabelecendo apenas a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Os limites de DQO são estabelecidos em algumas legislações ambientais estaduais (BADO; PERCIO; LINDINO, 2013). No estado de Minas Gerais, onde se concentra a maior parcela de estabelecimentos do setor, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº 1/2008 estabelece alguns critérios de lançamento de efluentes no que diz respeito ao teor de DQO presente, e admite que os efluentes lançados podem possuir um teor de DQO de até 180 mg/L ou:

- a) Tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais; e

- b) Tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75% para os demais sistemas.

4 AUDITORIA HÍDRICA

Para apresentar soluções para o gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos de produção de iogurtes, é necessária a realização de uma auditoria hídrica para identificação, quantificação e qualificação destes efluentes. A quantificação e qualificação desses efluentes variam de acordo com a qualidade do leite utilizado, das operações de processamento e tecnologia utilizada para a higienização das instalações e equipamentos.

Tradicionalmente, a qualificação de efluentes de indústrias de laticínios é feita por meio da análise de DQO, feita no laboratório da ETE através de amostras coletadas do efluente, pois o tratamento é feito com base na quantidade de carga orgânica do efluente, para redução da mesma. A Tabela 4 apresenta as características físico-químicas médias de efluentes líquidos da produção de leite pasteurizado e iogurte. A quantificação dos efluentes do processo é feita em relação a vazão total de efluentes que chega à ETE. A quantificação do efluente é geralmente feita com medidores colocados na Calha Parshall — equipamento aplicado na medição contínua de vazão em ETE's — na entrada da ETE.

Tabela 2 - Características físico-químicas médias de efluentes líquidos de indústrias de leite pasteurizado e iogurte

Parâmetros	Valores	Unidade
DBO ₅	3.420	mg/L de efluente
DQO	4.430	mg/L de efluente
Sólidos em suspensão totais SST	420	mg/L de efluente
Sólidos totais ST	3.300	mg/L de efluente
Sólidos sedimentáveis	1	mg/L de efluente
Nitrogênio total	86,2	mg/L de efluente
Fósforo total	14,2	mg/L de efluente
Óleos e graxas	575	mg/L de efluente
Temperatura	31	°C
Carga específica de DBO ₅	14,02	Kg de DBO ₅ /t de leite

Fonte: CETESB (1990) citado por Gomes (2006).

Além dos efluentes provenientes do processamento e da limpeza, outros efluentes típicos de processos industriais podem ser encontrados na produção de iogurte, e devem ser

considerados na auditoria hídrica. Mustafa (1988) apresenta a relação e descrição resumida dos efluentes típicos mais comuns encontrados em processos industriais. A qualificação e quantificação dos efluentes líquidos pode ser estimada através de um balanço de massa que considera os índices típicos de geração de rejeitos industriais e a taxa de geração de efluentes em uma unidade industrial de produção de iogurte que, de acordo com Maganha (2008), representa cerca de 3L de efluente/L de leite processado. Para esta quantificação, foi considerada uma unidade de produção hipotética com capacidade de 1000 t/dia de produção de iogurte, que processa diariamente 1000 m³ de leite, e consome cerca de 3000 m³ de água/dia.

A Tabela 5 apresenta a relação dos efluentes líquidos da produção de iogurtes de uma planta hipotética e quantificação estimada destes efluentes. De acordo com Mustafa (1998), os efluentes líquidos podem ser classificados de acordo com suas características físico-químicas em inorgânicos (características inorgânicas) ou orgânicos (contaminados com compostos orgânicos), e de acordo com o regime de fluxo em contínuo (continuamente gerados) ou intermitente (gerados em operações pontuais ou anormais).

Tabela 3 - Relação dos principais efluentes líquidos de uma planta de produção de iogurtes

Efluentes	Classificação	Origem	Geração (L/t de produto)
Purga de torre de resfriamento	Inorgânico/ Contínuo	Torre de resfriamento	250
Purga de caldeira	Inorgânico/ Contínuo	Sistema de geração de vapor	175
Efluente de troca iônica	Inorgânico/ Contínuo	Tratamento de água (desmineralização)	30
Drenagem de água de processo	Orgânico/ Contínuo	Processamento e limpeza	1.275
Drenagem de tanque	Orgânico/ Contínuo	Tanques de armazenamento	25
Vazamento de água	Inorgânico/ Intermitente	Flanges, válvulas e tubulações	300
Água de selagem de bomba	Orgânico/ Intermitente	Bombas	600
Chuva coletada na área industrial ⁽¹⁾	Orgânico / Intermitente	Área industrial	270
Condensado de purgador	Inorgânico/ Contínuo	Purgadores das tubulações	10
Esgoto sanitário ⁽²⁾	Orgânico/ Contínuo	Sanitários, refeitório e demais áreas administrativas	65
TOTAL			3000

Fonte: Elaboração própria

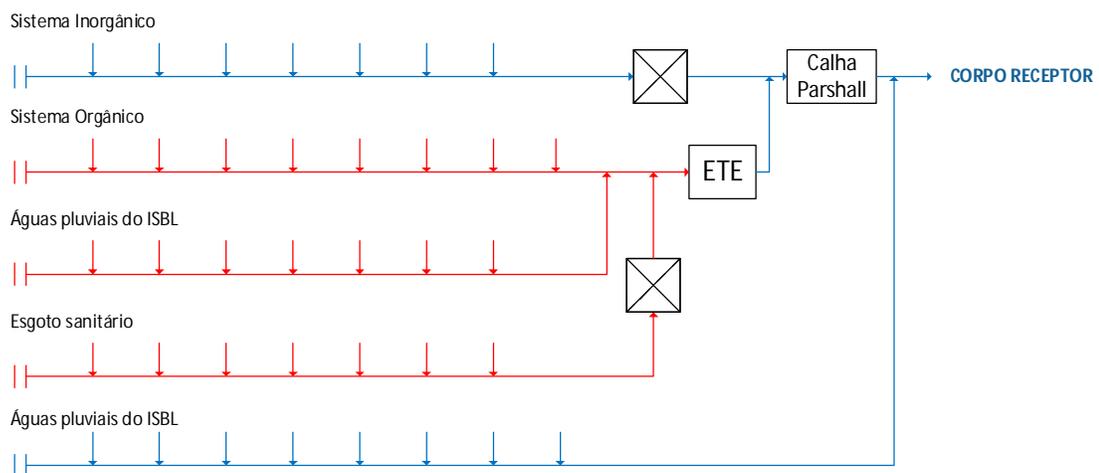
⁽¹⁾ A área industrial considerada foi de 60.000 m²; e o índice pluviométrico médio de 2000 mm/ano.

⁽²⁾ Foi considerado uma fábrica com 540 funcionários, a uma geração de 120 L de esgoto/dia/funcionário.

Segundo Gomes (2006), as águas provenientes dos sistemas de geração de vapor e resfriamento/refrigeração, são usadas em sistemas de recirculação, e por isso não participam da quantificação dos efluentes líquidos gerados na planta de iogurtes. A maior parte do volume da água de processo deve-se aos processos de limpeza. O soro, gerado durante o processamento do leite, pode ser aproveitado como matéria-prima para a fabricação de alguns produtos lácteos, porém, quando não aproveitado, o soro é descartado como efluente industrial, contribuindo para a elevada carga orgânica do efluentes líquidos.

5 GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

Figura 3 - Sistemas de efluentes líquidos



Fonte: Elaboração própria

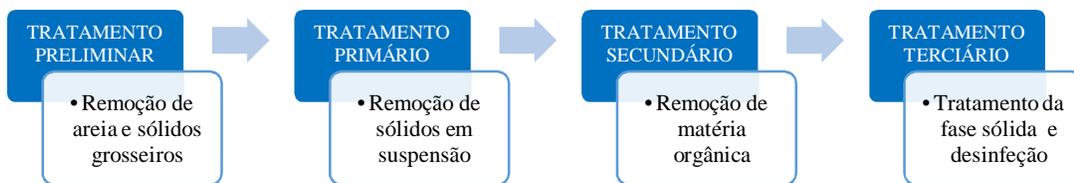
Tradicionalmente, as indústrias de laticínios apenas consideram três tipos de efluentes e os dividem em dois sistemas distintos que são: o sistema de efluentes do processo, que engloba toda a água utilizada no processamento e limpeza; e outro sistema independente para esgoto sanitário e águas pluviais, este é encaminhado à rede municipal de tratamento de esgoto (GOMES, 2006). Porém, além destes, devem ser considerados os demais efluentes identificados na auditoria hídrica. O gerenciamento eficaz destes efluentes pode garantir uma redução de custos, no que diz respeito a tecnologia de tratamento empregada, já que alguns efluentes não necessitam serem enviados à ETE para tratamento, como é o caso dos efluentes de características inorgânicas. Um diferente arranjo dos sistemas de efluentes é apresentado na Figura 3.

Os sistemas de efluentes inorgânicos e águas pluviais do ISBL, são compostos basicamente de água, este tipo de efluente pode ser despejado nos corpos receptores sem necessidade de tratamento prévio, passando apenas por alguns processos físicos para remoção de sólidos e correção de pH (MUSTAFA, 1988). Desta forma, apenas os efluentes com características orgânicas (drenagem de água de processo e tanques, água de selagem de bomba, esgoto sanitário e chuva coletada na área industrial, que para este projeto foi estimada como sendo 40% do total de águas pluviais) serão enviados à ETE.

A escolha do tratamento de efluentes está relacionada às condições mínimas estabelecidas pela legislação vigente para a qualidade da água dos corpos receptores, em função de sua utilização. Tradicionalmente, os métodos utilizados em ETE's incorporam tratamentos físico-químicos e biológicos, e geralmente seguem as sequências básicas de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário, Figura 4.

O método mais empregado para tratamento secundário é o de lodo ativado convencional, que possui eficiência entre 85 a 95% em remoção de DBO (ALMEIDA; PELETEIRO, 2014), o que garante o cumprimento das normas de despejo de efluentes em corpos receptores, que exige remoção mínima de 60% de DBO. Este sistema é composto basicamente por tanque de aeração, o decantador secundário e recirculação de lodo.

Figura 4 - Sequências básicas de tratamento de efluentes

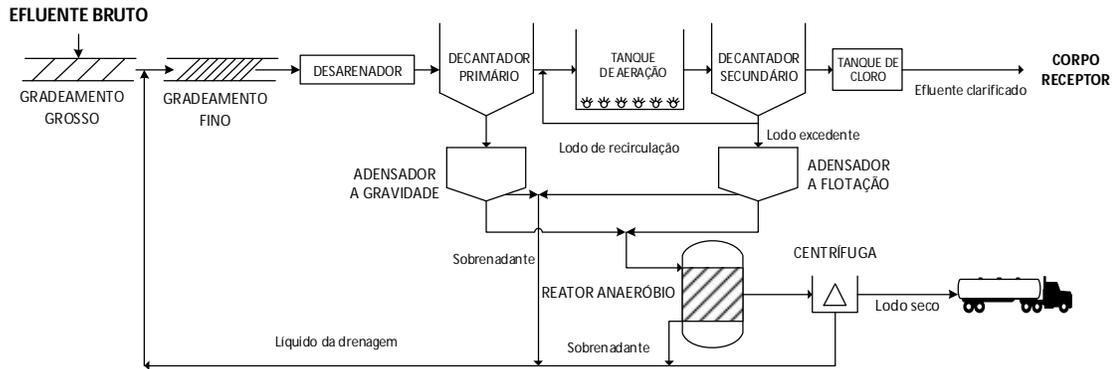


Fonte: Elaboração própria

5.1 Dimensionamento da ETE com sistema de lodo ativado convencional

Para dimensionamento da ETE, serão utilizadas as recomendações da Norma ABNT NBR 12.209/2011, que estabelece critérios e condições recomendadas para elaboração de projeto hidráulico e de processo de ETE, e os cálculos de projeto serão feitos com base nos dados e metodologia apresentados por Crespo (2003). As unidades dimensionadas para a ETE com sistema de lodos ativados convencional são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Desenho esquemático da ETE com sistema de lodo ativado convencional



Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Norma ABNT NBR 12.209/2011, o dimensionamento das unidades de tratamento de uma ETE deve ser feito com base nos parâmetros de vazões afluentes máxima e média, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais em suspensão (SST), apresentados anteriormente na Tabela 4. A vazão média estimada foi de 2.030 m³/dia, e a vazão máxima foi considerada como sendo 30% acima da vazão média, correspondendo a 2.639 m³/dia. A Tabela 6 apresenta resultados dos parâmetros básicos de projeto de um sistema de lodo ativado calculados para efluentes da produção de iogurtes. Para atender as solicitações do processo, são necessárias algumas estruturas de apoio operacional aos tanques de aeração, como uma Estação elevatória de recirculação de lodo; Estação elevatória de lodo excedente; Calha Parshal para lodo de recirculação e excedente.

Tabela 4 - Dimensionamento da ETE – Parâmetros básicos calculados

GRADEAMENTO	
Gradeamento grosso	Grades verticais e barras com abertura livre entre 5 a 15 cm
Gradeamento fino	Grades verticais e barras com abertura livre entre 1 a 5 cm
DESARENADOR - Retangular (2 unidades)	
Área de cada desarenador	2,20 m ²
Profundidade total	1,46 m
Volume de areia	0,08 m ³ /dia
Retenção de sólidos em suspensão	110,84 kg SST/dia
Eliminação da DBO	Desprezível

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 - Dimensionamento da ETE – Parâmetros básicos calculados (cont.)

DECANTADOR PRIMÁRIO - Circular (2 unidades)	
Volume de cada decantador	175,93 m ³
Área do decantador	14,66 m ²
Diâmetro do decantador	8 m
Profundidade	3,5 m
Tempo de detenção	2, 9 < t < 3,2 h
Carga hidráulica sobre o vertedor efluente	101,51 m ³ /m.dia
Sólidos em suspensão retidos	598, 56 kg SST/dia
Lodo retido por decantador	0,41 m ³ /h
Profundidade do cone invertido	0,33 m
Volume para acumulação de lodo	5,60 m ³
ADENSADOR A GRAVIDADE	
Área do adensador	4 m ²
Volume do adensador	14,73 m ³
Sólidos contidos no lodo efluente (85% de recuperação)	508,77 kg SS/dia
Lodo efluente do adensador	8,23 m ³ /dia
Tempo de detenção	18 h
Água de diluição	59 m ² /dia
TANQUE DE AERAÇÃO – Quadrado (2 unidades)	
Volume de cada tanque	9,827 m ³
Oxigênio	8.529,4 kg O ₂ /dia
Potência instalada	366, 6 cv
Área total	2.468 m ²
Nº de Aeradores/ Potencia individual	18 aeradores/ 20 cv de potência cada
Área de influência de cada aerador	137, 11 m ²
Potência total do equipamento	268,45 kW
Lodo excedente	2.250,82 kg SS/dia
Carga orgânica removida no processo (90%)	5.686,29 kg DBO/dia
ADENSADOR A FLOTAÇÃO	
Área do adensador	47, 40 m ²
Vazão de lodo encaminhada ao digestor	44,13 m ³ /dia
Sólidos enviados ao digestor	2.250,82 kg SS/dia
Fluxo de ar	18, m ³
Profundidade do adensador	3 m

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 - Dimensionamento da ETE – Parâmetros básicos calculados (cont.)

DECANTADOR SECUNDÁRIO – Circular (2 unidades)	
Volume do decantador	146, 24 m ³
Área do decantador	36, 25 m ²
Diâmetro do decantador	7 m
Profundidade	3,8 m
Comprimento mínimo do vertedor efluente	3,5 m
Tempo de detenção	3,46 h
DIGESTOR ANAERÓBIO – (4 unidades)	
Volume de cada digestor	572,08 m ³
Diâmetro	10 m
Profundidade	7 m
Potência de homogeneização para cada digestor	3,89 cv
Total de sólidos em suspensão no lodo digerido efluente	1.750,43 kg SS/dia
Vazão do lodo digerido	32,60 m ³ /dia
Produção de gás	420 m ³ /dia
DESAGUAMENTO DO LODO	
Consumo diário de polímeros	13,30 kg/dia
Produção do lodo desaguado (lodo seco)	1.676,21 kg/dia
Carga de lodo seco	5,32 m ³ /dia

Fonte: Elaboração própria

Para dimensionamento do digestor anaeróbio, foram considerados três digestores primários convencionais com homogeneização e sem aquecimento mecânico e um digestor secundário sem homogeneização. Entre as diversas possíveis soluções para a destinação do lodo seco, podem-se destacar o envio para aterros sanitários; a incineração e usos agrícolas diversos.

6 CONCLUSÕES

O processo de tratamento de efluentes da unidade de produção de iogurtes hipotética avaliado, utilizando lodo ativado convencional, apresenta-se como método satisfatório, por apresentar eficiência média de 90% na remoção de DBO e DQO, que atende satisfatoriamente a legislação vigente estabelecida pelo CONAMA, que exige remoção mínima de 60% de DBO. O arranjo da rede de sistemas de efluentes propostos apresentou-se de forma eficiente como alternativa de gerenciamento efluentes, pois só são enviados à ETE para tratamento os efluentes com características orgânicas, que necessitam de tratamento antes de lançados no corpo receptor. Isso reduz os custos de tratamento pois reduz a quantidade de efluentes que são enviados à ETE.

Durante o dimensionamento da ETE, alguns equipamentos foram projetados em duplicata, operando em paralelo, para evitar parada total da unidade ao prever possíveis paradas de manutenção do equipamento. As duas unidades de desarenação removem diariamente 0,08 m³ de areia, com 2,20 m² de área cada. Cada decantador primário, com volume de 175,9 m³, retém 0,41 m³ de lodo/h, garantindo a remoção de 598,56 kg de sólidos em suspensão por dia. Os dois tanques de aeração removem diariamente cerca de 5.686,29 kg de matéria orgânica, expressa em DBO, utilizando 8.529,4 kg O₂/dia. No decantador secundário, parte do lodo sedimentado é recirculado para o tanque de aeração para aumento da eficiência, enquanto a fase líquida é enviada a tanques de cloro para clarificação, antes de ser despejado no corpo receptor. O digestor anaeróbico digere 32,60 m³ de lodo por dia, com 1.750,43 kg de sólidos resultantes no lodo, produzindo diariamente 420 m² de gás por dia, podendo ser explorado para produção de energia elétrica. A quantidade de lodo seco produzida diariamente é de 5,32 m³. A disposição final do lodo desidratado pode ser feita em um caminhão com carga de 6 m³, em apenas uma viagem.

Como forma de redução no consumo de água, a adoção de algumas estratégias de gestão de recursos atua positivamente na redução da geração de efluentes líquidos e outras perdas do processo. Entre algumas estratégias, podem ser adotadas algumas atitudes de mudança dentro da planta industrial com melhorias dos procedimentos operacionais como a realização de balanços materiais para quantificação de perdas e identificação dos locais de sua ocorrência, otimizar as operações de limpeza para redução da geração de efluentes e realizar manutenção preventiva para máquinas, equipamentos e instalações. Adequar processos ao conceito de tecnologias limpas garante a redução de impactos ambientais e redução de custos devido, além de alguns aspectos relacionados a garantia de certificações e qualidade ambiental de seus produtos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. L. R.; PELETEIRO, C. S. **Dimensionamento, análise e comparação da viabilidade econômica de uma estação de tratamento de esgotos utilizando os processos de lodos ativados convencional e aeração prolongada**. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) UFRJ, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011.

CRESPO, P. G. **Manual de Projeto de Estações de Tratamento de Esgotos**. Volume 1. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2003.

DANONE. **Tudo sobre o iogurte**: Processo de Fabricação do Iogurte. Disponível em: <<http://www.danone.com.br/tudo-sobre-iogurte/processo-de-producao/>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

EMBRAPA. **Agronegócio do leite**: Densidade Relativa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html>. Acesso em: 08 abr. 2015.

GOMES, A. L. **Análise técnica e econômica de filtro anaeróbio utilizado para o tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de laticínios – Estudo de caso**. 2006. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), UFMG. Belo Horizonte, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE**: Estatística da Produção Pecuária - Dezembro de 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201403_publ_completa.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos série P+L**. CETESB; São Paulo, 2008.

MILKPOINT. **61% dos brasileiros consomem mais iogurte hoje do que há 3 anos**. Disponível em: <<http://m.milkpoint.com.br/cadeia-do-leite/giro-lacteo/61-dos-brasileiros-consoem-mais-iogurte-hoje-do-que-ha-3-anos-93507n.aspx>>. Acesso em: 06 jun. 2015.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – CERH-MG. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01**, de 05 de maio de 2008.

MUSTAFA, G. S. **Reutilização de efluentes líquidos em indústria petroquímica**. Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Química. UFBA. Salvador, 1998.

NBR 12.209:2011, **Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**, 2. ed. ABNT.

SILVA, A. I. D. et al. **Produção de iogurte**. Projecto FEUP. Universidade do Porto, 2010.

SILVA, Ana. C. F. M. **Tratamento de resíduos líquidos de laticínios em Reator Anaeróbio Compartimentado seguido de Leitões Cultivados**. 166p. Tese (Doutorado), FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas-SP, 2010.

SILVA, Amanda. M. T. **Desenvolvimento de iogurte mais saudável com o uso de fibra solúvel e fermento *bifidobacterium lactis* e fibra solúvel**. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais - UFCG. Pombal - PB, 2013.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Yoghurt Science and Technology**. Woodhead Publishing. Series in Food Science, Technology and Nutrition. Third Edition. Cambridge, 2007.

TAMIME, A. Y. **Fermented Milks**. Blackwell Science Ltd. Dairy Science and Technology Consultant. Ayr - UK, 2006.

TETRA PAK. **TetraPak Dairy Index**. Edição 7. Suíça, 2014.