

**CENTRO PAULA SOUZA**

GOVERNO DO ESTADO DE  
**SÃO PAULO**

**Faculdade de Tecnologia de Americana  
Curso Superior de Tecnologia em Logística**

**LOGÍSTICA VERDE  
“Reaproveitamento do Lodo de Esgoto na  
Fabricação de Tijolos”**

**CÁSSIA REGIANE DE CARVALHO REINHEL**

**Americana, SP  
2014**

**Faculdade de Tecnologia de Americana  
Curso Superior de Tecnologia em Logística**

**LOGÍSTICA VERDE  
“Reaproveitamento do Lodo de Esgoto na  
Fabricação de Tijolos”**

**CÁSSIA REGIANE DE CARVALHO REINHEL**

**cassiareinhel@gmail.com**

**Trabalho de Graduação apresentado ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, à Faculdade de Tecnologia de Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Logística.**

**Orientador: Professor Esp. Maricê Léo Sartori Balducci.**

Dedico este trabalho ao meu, em breve, marido Flávio Carmona, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais viva de verdade. Obrigada pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me trazer paz na loucura do dia-a-dia.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta Faculdade pela oportunidade de fazer o curso e a todo o corpo docente pela transmissão de conhecimento.

Ao meu orientador Professor Maricê Léo Sartori Balducci pelo suporte e apoio na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais por terem me trazido à vida.

Ao meu querido namorado pelo incentivo, compreensão e carinho em todos os momentos.

Às minhas amigas, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas e pelo carinho, apoio e incentivo constantes.

Aos meus amigos Lúcia e Guilherme pelos materiais emprestados e por partilharem comigo suas ideias, conhecimentos e experiências.

À minha chefe e amiga querida Gislaine, por permitir e compreender minhas ausências em prol da elaboração deste trabalho.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

*“O sucesso é uma consequência e não um objetivo”.*

*Gustave Flaubert*

## RESUMO

O presente estudo aborda a problemática enfrentada pelos prestadores de serviços de saneamento em relação à disposição final adequada do lodo de esgoto e revela a grande capacidade de absorção desse resíduo pela indústria cerâmica, como parte de sua matéria-prima. O reaproveitamento desse resíduo na construção civil é visto como um princípio da Logística Verde, trazendo um conceito sustentável para um universo que antes era visto apenas como um grande e oneroso problema ambiental. Embora o Brasil seja deficiente em leis específicas sobre o reaproveitamento do lodo de esgoto na construção civil alguns aspectos legais que norteiam o assunto discutido são abordados durante este estudo. As atividades logísticas são identificadas durante todo o processo de tratamento e disposição final do lodo e principalmente durante o transporte e armazenamento do resíduo, seja nas estações de tratamento ou nos locais onde o resíduo será reutilizado. De modo sucinto, o presente estudo também avalia as dosagens de incorporação de esgoto na fabricação de tijolos maciços a fim de se obter peças técnico e ambientalmente viáveis e com qualidade suficientes para atender às normas pertinentes, possibilitando assim sua comercialização.

Palavras-chave: Logística verde, lodo de esgoto, disposição final, tijolo, indústria cerâmica.

## **ABSTRACT**

This study addresses the problem faced by sanitation service providers regarding the proper disposal of sewage sludge, revealing the high absorption capacity that such material presents by the Ceramics industry, as part of its raw material. The reutilization of this waste in construction is seen as a Green Logistics principle, bringing a sustainable concept to a universe that was once only seen as a large and costly environmental problem. Even though Brazil still lacks specific laws for handling sewage sludge when it comes to reutilization, some aspects of such idea are discussed along the development of this research. Logistics activities are identified throughout the process of sludge disposal treatment, especially during the transportation and storage of the waste in treatment plants or in locations where the material will be reused. Very briefly, this study also evaluates the strengths of the incorporation of sewage at the production of technical and environmentally viable building bricks with enough quality to meet relevant standards, allowing therefore its free trading.

**Keywords: Green Logistics, sewage sludge, disposal, brick, ceramics industry.**

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>UGL</b>	Unidade de Gerenciamento de Lodo
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>SABESP</b>	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
<b>SANEPAR</b>	Companhia de Saneamento do Paraná
<b>ONU</b>	Organizações das Nações Unidas
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>M.S.</b>	Matéria Seca
<b>TON.</b>	Tonelada

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caminhão para transporte de caçambas do tipo <i>Brook</i> .....	18
Figura 2: Pá carregadeira de rodas e Retroescavadeira com caçamba frontal.....	19
Figura 3: Leito de secagem.....	20
Figura 4: <i>Bag</i> filtrante.....	20
Figura 5: Estrutura de armazenamento do lodo.....	21
Figura 6: Sistemas de transporte dutoviário.....	21
Figura 7: Carreta tipo <i>roll on</i> .....	22
Figura 8: Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final.....	26
Figura 9: Fluxograma de produção de tijolos com a incorporação de lodo.....	31
Figura 10: Tijolos fabricados com adição de lodo (1ª etapa de fabricação).....	34
Figura 11: Tijolos fabricados com adição de lodo (2ª etapa de fabricação).....	34
Figura 12: Modelo do termo de responsabilidade do transportador do lodo de esgoto ou produto derivado.....	36
Figura 13: Modelo do Formulário de Controle e Retirada do lodo.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de biossólidos e número de viagens para transporte de 6 ton. (m.s.) ..	22
Tabela 2: Conteúdo de sólido do biossólido e características de manuseio. ....	23
Tabela 3: Principais alternativas de disposição final do lodo, vantagens e desvantagens.....	24
Tabela 4: Quantidade de matéria-prima para fabricação de cerca de 12 tijolos. ....	33

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 1 – LOGÍSTICA .....	14
1.1 LOGÍSTICA .....	14
1.2 LOGÍSTICA VERDE .....	14
CAPÍTULO 2 – LODO DE ESGOTO: TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO .....	17
2.1 TRATAMENTO DO LODO .....	17
2.1.1 ADENSAMENTO .....	17
2.1.2 DESAGUAMENTO .....	17
2.1.3 ESTABILIZAÇÃO - HIGIENIZAÇÃO .....	17
2.2 MANUSEIO, ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DO LODO.....	18
2.2.1 MANUSEIO .....	18
2.2.2 ARMAZENAMENTO .....	19
2.2.3 TRANSPORTE .....	21
2.3 PRINCIPAIS METODOS DE DESCARTE DO LODO .....	23
2.3.1 ALTERNATIVAS DE REUSO .....	24
CAPÍTULO 3 – A INDÚSTRIA CERÂMICA E O REAPROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO.....	27
3.1 PROCESSO INDUSTRIAL .....	27
3.1.1 EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	27
3.1.2 CONFORMAÇÃO OU MOLDAGEM.....	28
3.1.3 SECAGEM .....	29
3.1.4 COZEDURA OU QUEIMA .....	30
3.2 A UTILIZAÇÃO DO LODO NA INDÚSTRIA CERÂMICA .....	30
3.2.1 FORMA DE INCORPORAÇÃO DO LODO.....	31
3.2.2 DOSAGEM DO LODO .....	32
3.3 ASPECTOS LEGAIS .....	35
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA.....	39
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS .....	43

## INTRODUÇÃO

Frente a uma situação cada vez mais crítica, a Terra deixa transparecer a sua fragilidade em virtude do desgaste sofrido por conta das ações irresponsáveis dos seres humanos. Além disso, o próprio crescimento populacional por si só já impõe ao meio ambiente um custo alto, proveniente dos resíduos sólidos gerados através das atividades humanas e lançados ao meio ambiente.

Há muito tempo já se discute os prejuízos causados à natureza, porém essa preocupação vem se intensificando. Principalmente no meio empresarial, embora as ações ecológicas onerem a cadeia de suprimentos da companhia, essas atitudes conferem à empresa uma imagem ambientalmente positiva, sendo bem aceita pela população, tornando essa ação numa estratégia competitiva. Entretanto, dificilmente os empresários adotam medidas sustentáveis e ambientalmente corretas espontaneamente, geralmente essas adoções ocorrem por pressão do governo, da sociedade ou do próprio mercado, seja pela concorrência ou por razões financeiras/econômicas.

No caso da utilização do lodo resultante do tratamento de esgoto na produção de tijolos é uma prática inteiramente espontânea por parte das organizações e é possível unir dois pontos importantes tanto para o meio ambiente como para os negócios. O meio ambiente sofrerá menos deixando de receber esse resíduo em aterros, mar ou quaisquer corpos hídricos, enquanto o empresário poderá adicionar uma parcela dessa matéria prima em seu processo fabril, sem custos de aquisição e economizando a argila, por exemplo, matéria-prima essa que tem um custo para a empresa. Além disso, economizando a argila o meio ambiente ganha mais uma vez, pois os recursos naturais se tornam menos explorados com essa prática.

É claro que, embora a empresa economize com o reaproveitamento do lodo em sua fabricação, uma vez que poderá adquiri-lo sem custo, por outro lado a

movimentação e a armazenagem desse resíduo podem se tornar dispendiosas, portanto, serão assuntos também abordados ao longo desse projeto.

O **problema** que deu causa a esse trabalho é a atual taxa de geração de resíduos sólidos, frente ao crescente aumento populacional, e os custos e prejuízos causados à natureza para a disposição do lodo proveniente do tratamento do esgoto.

Frente a essa problemática o estudo realizado procura responder a seguinte **pergunta**: É possível e viável o lodo resultante do tratamento de esgoto ser reaproveitado na construção civil de forma a diminuir o impacto ambiental e agregar-lhe valor?

As hipóteses que norteiam este estudo são as seguintes:

- 1- Após tratamento adequado, é possível que o reaproveitamento do lodo na construção civil, seguindo medidas de segurança quanto à armazenagem e utilização do resíduo, não provoque prejuízos ambientais e ainda possibilite a economia de recursos naturais;
- 2- O transporte, armazenagem, movimentação e manuseio do resíduo são complexos e onerosos, tornando inviável seu reaproveitamento na construção civil;
- 3- Os materiais fabricados com o lodo de esgoto apresentam menor qualidade e por esse motivo não há interesse por parte dos fabricantes em sua utilização.

## **OBJETIVO GERAL**

Estudar a utilização do lodo resultante do tratamento de esgoto na indústria Cerâmica, o processo de armazenagem e movimentação do resíduo dentro das estações de tratamento e indústrias, a qualidade do produto fabricado com incorporação do resíduo, bem como, as vantagens e desvantagens da utilização desse resíduo.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Pesquisar sobre a introdução da Logística Verde em meio às organizações, visando conhecer a preocupação ambiental existente no meio industrial;
- b) Estudar sobre os resíduos sólidos, tratamento e destinação do lodo resultante do tratamento de esgoto e sua utilização na indústria cerâmica, buscando agregar valor ao resíduo e diminuir o impacto ambiental por ele provocado;
- c) Avaliar a viabilidade, vantagens e desvantagens da utilização do resíduo.

## **JUSTIFICATIVA**

Este projeto se justifica pela preocupação com o meio ambiente frente ao crescente volume de resíduos sólidos gerados com disposição final problemática. A ideia é encontrar uma reutilização adequada ao lodo proveniente do tratamento de esgoto que ao mesmo tempo diminua os prejuízos causados à natureza e agregue valor ao resíduo.

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento deste projeto foi utilizado o método hipotético-dedutivo, através de pesquisa bibliográfica sobre gestão ambiental, logística verde e reversa, resíduos sólidos, bioresíduos, tratamento e disposição final de lodos de esgoto e indústria cerâmica. Trata-se de pesquisa qualitativa, descritiva e explicativa, que visa aprofundar o conhecimento teórico para implementação de práticas viáveis.

## **CAPÍTULO 1 – LOGÍSTICA**

### **1.1 LOGÍSTICA**

O termo “logística” vem do grego logos e significa discurso, razão, racionalidade, mais especificamente de logistiki, relativo a organização financeira. Na Grécia antiga, império Romano e Bizantino, os oficiais militares com o título de Logistikas eram responsáveis pelos assuntos financeiros e distribuição de suprimentos. Posteriormente a palavra logística passou a ser usada para descrever a gestão do fluxo de materiais numa organização, desde a matéria-prima até os produtos acabados. Segundo a Associação Brasileira de Logística - ASLOG, atual ABRALOG – Associação Brasileira de Logística, fusão da ASLOG – Associação Brasileira de Logística e ABML – Associação Brasileira de Movimentação e Logística, o conceito de logística é definido por:

Processo de planejar, implementar e controlar eficientemente, ao custo correto, o fluxo e armazenagem de matéria-prima, estoque durante a produção e produtos acabados, desde do ponto de origem até o consumidor final, visando atender os requisitos do cliente (GODOY, 2013, p. 16, apud LONDON, 2011).

O objetivo principal da logística é coordenar suas atividades de forma a atender as expectativas do cliente a um custo mínimo. Entretanto esse custo tem, há algum tempo, deixado de ser puramente monetário, pois com o aumento da preocupação com o meio ambiente as empresas têm se atentado aos custos externos da logística, equilibrando-a em três grandes pilares: econômico/financeiro, social e meio ambiente em um processo sustentável (QUIUMENTO, 2013).

### **1.2 LOGÍSTICA VERDE**

A Logística Verde (ou Logística Ecológica) estuda meios de planejar e diminuir impactos ambientais da logística comum. É uma forma de logística que é calculada para ser ambientalmente amigável, bem como socialmente, além de economicamente funcional. Com foco no desenvolvimento sustentável adiciona a todas as atividades logísticas uma preocupação ecológica, como por exemplo, fabricar garrafas plásticas mais finas utilizando menos matéria prima ou dar preferência ao transporte em lotes cheios (DONATO, 2013).

O Prof. Vitório Donato, em entrevista ao Site da Logística, definiu logística verde da seguinte forma:

É a área da logística que se preocupa com os aspectos e impactos da atividade logística sobre o seu entorno (comunidade e meio ambiente). Este é o termo usado para definir um instrumento de gestão que irá mensurar os aspectos e impactos da atividade logística e desta forma criar mecanismos para: conter o aumento abusivo de emissão de resíduos ao meio ambiente, o armazenamento desprotegido de materiais, seu mau uso e/ou ausência de reaproveitamento. Lembrando que estamos em um ambiente com recursos finitos (DONATO, 2013).

A Logística Verde tem como finalidade coordenar as atividades dentro de uma cadeia de suprimentos de tal forma que as necessidades de todos os envolvidos sejam atendidas com o “menor custo” para o meio ambiente. Os custos “verdes” estão relacionados às alterações climáticas, poluição do ar, deposição de resíduos (incluindo os resíduos de embalagens), degradação de solo, ruído, vibração e acidentes associados à logística (QUIUMENTO, 2013).

A agressão ao meio ambiente tem crescido absurdamente e os impactos causados trazem grande preocupação, alertando a população para uma problemática onde apenas reciclar não resolve, conscientizando que evitar o consumo ou consumir de maneira consciente tem um efeito mais abrangente, sendo possível tomar atitudes preventivas individuais ou coletivas simples, que somadas apresentam grande repercussão ao meio ambiente (DONATO, 2013).

As empresas estão sendo cada vez mais pressionadas a inserir em seu processo atitudes ambientalmente corretas, seja por força de lei ou até mesmo pela pressão social, uma vez que a sociedade está cada vez menos propensa a aceitar e absorver o custo irreparável de danos causados por ações advindas de uma logística sem a adoção de políticas com considerações ambientais, o que pode inclusive levar a companhia à falência (COELHO, 2012).

Alguns locais onde é possível que essas considerações ambientais sejam aplicadas dentro de uma empresa são: na redução do desperdício de água pelo uso de métodos simples de reciclagem de água; evitando a poluição dos cursos de água com o escoamento das áreas de distribuição de combustível usando tanques interceptores; impedindo o lançamento de resíduos sólidos ao meio ambiente;

cuidados na gestão e monitoramento de produtos químicos perigosos nas áreas de processamento de cargas; mantendo pilhas de paletes arrumados e estes conservados; melhorando a gestão da produção, recolhimento e eliminação de resíduos (QUIUMENTO, 2013).

De uma forma geral os consumidores estão muitas vezes dispostos a pagar mais por produtos com rotulagem que indica que a empresa atua com responsabilidade ambiental e social no desenvolvimento do produto, o que torna a Logística Verde atraente do ponto de vista empresarial, pois além de ser uma responsabilidade ética a prática também pode ser encarada como uma estratégia competitiva para a empresa (COELHO, 2012).

A Logística Verde ensina que é possível ter uma cadeia de suprimentos enxuta e ecologicamente correta ao mesmo tempo, pois se de um lado existem maiores gastos com cuidados e proteção de emissão de poluentes, por exemplo, do outro é possível reaproveitar embalagens com o mesmo tipo de produto, economizando na compra de mais embalagens e/ou com a lavagem das embalagens utilizadas, considerando que serão reaproveitadas para o mesmo produto, atitudes altamente positivas para o meio ambiente. Portanto mesmo que haja aumento nos custos em um determinado setor haverá economia de recursos com a adoção de outras medidas.

É grande a abrangência dessa forma de logística, tendo uma perspectiva voltada para todo o processo, seja ele produtivo (empresa) ou de consumo (população em geral). Na Logística Verde não há apenas a preocupação ambiental no pós-consumo ou pós-venda, como no caso da Logística Reversa, mas implica em soluções muitas vezes simples, porém contínuas, que devem existir desde a fonte, no início de qualquer processo, com o intuito de causar o menor prejuízo possível ao meio ambiente durante todo o ciclo.

## **CAPÍTULO 2 – LODO DE ESGOTO: TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO**

### **2.1 TRATAMENTO DO LODO**

No Brasil, os tratamentos de esgoto usualmente empregados produzem lodos de características e composições diferentes que devem ser submetidos a processos específicos antes da disposição final ou reuso. Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização, dependendo do destino final (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001 apud GODOY, 2013).

#### **2.1.1 ADENSAMENTO**

Nesse processo o volume do lodo é reduzido, retirando parte da água e conseqüentemente aumentando o teor de sólido, beneficiando as atividades dos demais equipamentos utilizados no tratamento. Assim é possível reduzir o volume dos digestores, o tamanho das bombas, o consumo de produtos químicos no desaguamento, o consumo de energia no aquecimento dos digestores etc. (ANDREOLI et.al., 2006 apud Godoy, 2013). Os equipamentos utilizados dependem do tipo de adensamento, sendo que os mais utilizados são por gravidade e por flotação.

#### **2.1.2 DESAGUAMENTO**

Consiste em uma operação mecânica que reduz o volume do lodo por meio da redução do teor de água (ANDREOLI et.al., 2006 apud Godoy, 2013). Essa redução de volume diminui significativamente os custos com transporte e a produção de chorume, melhora as condições de manejo, aumento o poder calorífico (para disposição em cimenteiras) e também permite a incineração do lodo, caso essa seja uma opção. O desaguamento pode ser realizado por método de secagem natural ou mecânico.

#### **2.1.3 ESTABILIZAÇÃO - HIGIENIZAÇÃO**

Estabilizar o lodo tem por finalidade bloquear a atividade biológica no lodo através da adição de um composto químico que inibe a ação metabólica dos organismos, reduzindo a quantidade de patógenos, eliminando os maus odores e impedindo o prosseguimento da putrefação da matéria orgânica. Os métodos mais empregados são: estabilização com cal, compostagem, digestão aeróbia e anaeróbia (ANDREOLI et. al., 2006).

A estabilização química e a higienização do lodo de esgoto tem a finalidade de garantir um nível de patogenicidade que isente a população e o meio ambiente de riscos, convertendo o lodo em um produto apropriado para recobrimento de aterros sanitários ou para aplicação em solo agrícola, entre outras aplicações.

## 2.2 MANUSEIO, ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DO LODO

### 2.2.1 MANUSEIO

Após o processo de higienização do lodo ele provavelmente deverá ser deslocado ainda dentro da ETE, para estocagem ou mesmo para o transporte até o destino final, a esse procedimento daremos o nome de manuseio.

O manuseio dentro da ETE geralmente é realizado através de esteiras transportadoras ou caçambas do tipo “*Brook*”, que são acopladas a caminhões com dispositivo hidráulico de carga e descarga, tornando o manuseio muito prático, todavia o manuseio pode ser totalmente ausente dentro de uma ETE se o sistema adotado for o transporte dutoviário, elevando a segurança do processo.



Figura 1: Caminhão para transporte de caçambas do tipo *Brook*.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).

## 2.2.2 ARMAZENAMENTO

A área de armazenamento deverá ser dimensionada de acordo com o tempo de estocagem e a demanda prevista, bem como, com as características mecânicas do lodo.

Equipamentos como pás carregadeiras de rodas ou retroescavadeiras dotadas de caçambas frontais poderão ser utilizados dentro da área de armazenagem para manuseio e carregamento do resíduo em caminhões.



Figura 2: Pá carregadeira de rodas e Retroescavadeira com caçamba frontal.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).

O leito de secagem do lodo (Figura 3) também pode ser considerado um local de armazenagem, pois o resíduo permanecerá por vários dias nesse local até que ocorra a evaporação da água e ele adquira uma característica viável para o transporte, entretanto é uma alternativa desinteressante devido ao espaço necessário e ao tempo do processo diante aos equipamentos disponíveis no mercado que permitem uma secagem infinitamente mais rápida e eficiente, como no caso da centrífuga.

Outra forma de armazenagem seria em *bags* (Figura 4), grandes bolsas com tramas especiais (micro poros), que permitem drenar o lodo expelindo sua umidade residual e conseqüentemente diminuindo seu volume, ao passo que não absorve umidade exterior, ou seja, podem ser colocados a céu aberto, pois as chuvas não representarão um potencial invasivo, levando ao reencharcamento do lodo.



Figura 3: Leito de secagem.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).



Figura 4: *Bag* filtrante.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).

Em geral a área de estocagem deve ser impermeabilizada para evitar contaminação do solo e subsolo, assim como para facilitar as operações de carregamento. Estas áreas devem ser preferencialmente cobertas para evitar encharcamento do lodo e diminuir o problema de odor (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Na Figura 5 vemos uma estrutura básica para um pátio de armazenamento.



Figura 5: Estrutura de armazenamento do lodo.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).

### 2.2.3 TRANSPORTE

Dentro da ETE a movimentação mais eficiente e segura é por meio de bombas, também conhecida no meio logístico por transporte dutoviário. Nesse sistema o lodo é removido do fundo do decantador por meio de raspadores giratórios e enviado por gravidade através de tubulação até o poço de coleta do resíduo, sendo a partir desse ponto bombeado até o biodigestor, onde o resíduo permanecerá por aproximadamente 45 dias em um processo de adensamento e estabilização.

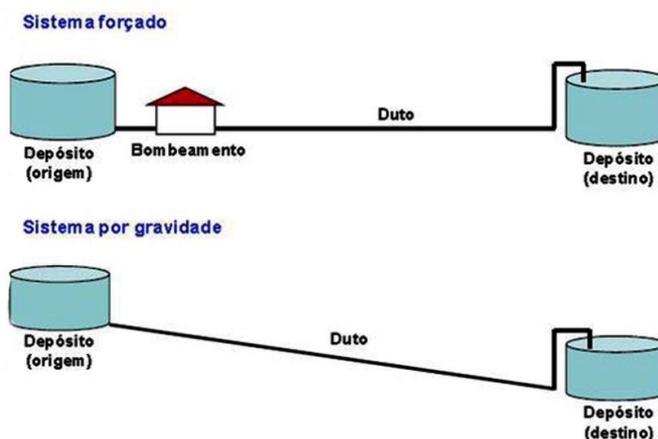


Figura 6: Sistemas de transporte dutoviário.  
Fonte: COSTA et.al. (2009) apud Godoy (2013).

Após estabilizados os níveis de patogenicidade o lodo é enviado, novamente através de tubulação, à centrífuga que processará a secagem do lodo, depositando-o em uma espécie de caçamba que será coletada por uma carreta tipo *roll-on* (Figura 7). Esse sistema apresenta baixo risco de contaminação, pois não requer o manuseio do lodo.



Figura 7: Carreta tipo *roll on*.  
Fonte: GOOGLE IMAGENS (2014).

O transporte é o item que exerce maior influência sobre os custos de reciclagem, em função do teor de umidade, pois quanto mais úmido o resíduo estiver mais volume ele terá e conseqüentemente maior será o valor e as dificuldades de deslocamento.

A tabela abaixo demonstra quantos caminhões são necessários para o transporte de 6 toneladas de lodo (matéria seca) em relação ao tipo de biossólido e o teor de umidade contido no mesmo.

Tabela 1: Quantidade de biossólidos e número de viagens para transporte de 6 ton. (m.s.)

<b>Tipo de biossólidos</b>	<b>Teor de umidade (médio)</b>	<b>Quantidade de biossólido úmido (toneladas)</b>	<b>Número de caminhões Caçamba (12 ton.)</b>
Lodo Bruto	98,00%	300	25
Lodo Adensado	92,00%	75	6,25
Prensa Desaguadora	85,00%	40	3,3
Centrífuga	70,00%	20	1,67
Filtro Prensa	60,00%	15	1,25
Secagem térmica	10,00%	6,67	0,56

Fonte: ANDREOLI; VON SPERLING e FERNANDES (2001).

Além do volume, a distância, o tipo de veículo, as condições das estradas e o modo de carregamento do produto influenciam o custo de transporte. O veículo pode influenciar o custo sobre dois aspectos: tipo do veículo (caçamba móvel, caçamba fixa, graneleiros etc.) e capacidade de transporte. Quanto maior o volume transportado por viagem, menor o custo unitário de transporte, mas com a necessidade de estradas em boas condições de tráfego, o que nem sempre ocorre no meio rural (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A Tabela 2 relaciona o tipo de resíduo ao tipo de transporte a ser empregado.

Tabela 2: Conteúdo de sólido do biossólido e características de manuseio.

<b>Tipo de biossólido</b>	<b>Conteúdo típico de sólidos (%)</b>	<b>Tipo de transporte</b>
Líquido	1 a 10	Gravidade, bombeamento, canalizações, caminhão tanque
Torta ("úmido")	10 a 30	Caminhão caçamba, broocks, container
"Seco"	50 a 90	Caminhão graneleiro

Fonte: USEPA (1993) apud ANDREOLI; VON SPERLING e FERNANDES (2001).

### **2.3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE DESCARTE DO LODO**

A destinação adequada do lodo é fundamental para o sucesso de um sistema de esgotamento sanitário. Devido ao apelo ecológico que nos dias de hoje é bastante significativo, sem contar a necessária preocupação ambiental, o descarte correto do lodo de esgoto passou a ser levado a sério no Brasil, embora ainda não esteja sendo totalmente praticado pelas empresas gerenciadoras de saneamento básico. Entretanto conquistas já foram alcançadas, como por exemplo, a descontinuidade do despejo do rejeito nos oceanos e a busca por alternativas de aplicação do lodo na geração de novos produtos.

Atualmente as formas mais utilizadas para a disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterros sanitários, incineração e uso agrícola. A Tabela 3 demonstra e resume as alternativas de disposições finais mais utilizadas no mundo:

Tabela 3: Principais alternativas de disposição final do lodo, vantagens e desvantagens.

<b>Alternativa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>
Descarga oceânica	Descarte no mar, após pré-condicionamento, através de emissários oceânicos ou navios lameiros.	Baixo custo	Poluição das águas, fauna e flora oceânica.
Incineração	Processo de decomposição térmica via oxidação, onde os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio e converte-se em dióxido de carbono e água, uma parcela dos sólidos fixos é transformada em cinzas.	Esterilização e redução drástica de volume	Custos elevados, disposição das cinzas e poluição atmosférica.
Aterro Sanitário	Disposição em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento, quando então são seladas.	Baixo custo	Necessidade de grandes áreas, localização próxima a centros urbanos, características especiais de solo, isolamento ambiental, produção de gases e percolado, dificuldade de reintegração da área após desativação.
<i>Landfarming</i> – Disposição Superficial no solo	Áreas de disposição de resíduos onde seus substratos orgânicos são degradados biologicamente na camada superior do solo e a parte inorgânica é transformada ou fixada nesta mesma camada do solo.	Degradação microbiana de baixo custo, disposição de grandes volumes por unidade de área	Acumulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo, possibilidade de contaminação de lençol freático, liberação de odores e tração de vetores, dificuldade de reintegração da área após desativação.
Recuperação de área degradada	Disposição de altas doses de lodo em locais drasticamente alterados, como áreas de mineração, onde o solo não oferece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo.	Taxas elevadas de aplicação, resultados positivos sobre a recuperação do solo e flora	Odores, limitações de composição e uso, contaminação do lençol freático, fauna e flora.
Reciclagem Agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas.	Efeitos positivos sobre o solo, grande disponibilidade de áreas, solução a longo prazo, potencial como fertilizante, resposta positiva das culturas ao uso.	Limitações referentes a composição e taxas de aplicação, contaminação do solo com metais, odores, contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos.

Fonte: ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001) adaptada.

### 2.3.1 ALTERNATIVAS DE REUSO

Frente ao aumento considerável do número de domicílios, em consequência ao crescimento populacional, o volume do lodo de esgoto produzido tem sofrido inevitável impacto e com expectativas claras de aumento progressivo. Portanto, sua

disposição final não deve e nem pode ser uma etapa cujo planejamento seja incauto ou carente.

O processo de destinação do lodo de esgoto compreende um custo elevado além de envolver uma série de problemas de nível ambiental. Além disso, com a crescente formação de áreas metropolitanas, o que conseqüentemente restringe as áreas disponíveis para a formação de aterros, somada a tentativa de evitar o aumento das áreas utilizadas como aterros sanitários com o intuito de diminuir o impacto ambiental, esse resíduo passou a ser estudado como alternativa de aplicação em alguns segmentos. Dessa forma o lodo de esgoto deixaria de ser apenas um problema de descarte para se tornar um produto capaz de reduzir a utilização de recursos naturais em processos produtivos, beneficiar solos degradados, entre outras aplicações que conferem valor ao resíduo que antes somente gerava custos para ser dispensado.

A avaliação das possíveis alternativas para reutilização do lodo de esgoto é complexa por envolver aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001 apud GODOY, 2013). Dentre os métodos mais experimentados podemos citar:

- Reaproveitamento Agrícola
  - Fertilizante orgânico e compostagem;
  - Recuperação de solos degradados.
- Reaproveitamento Industrial
  - Fabricação de tijolos e cerâmicas;
  - Produção de agregado leve para construção civil;
  - Produção de cimento.

A Figura 8 apresenta um fluxograma dos processos para disposição final cuja aplicação pretende se beneficiar das propriedades do lodo, conhecido como uso benéfico.

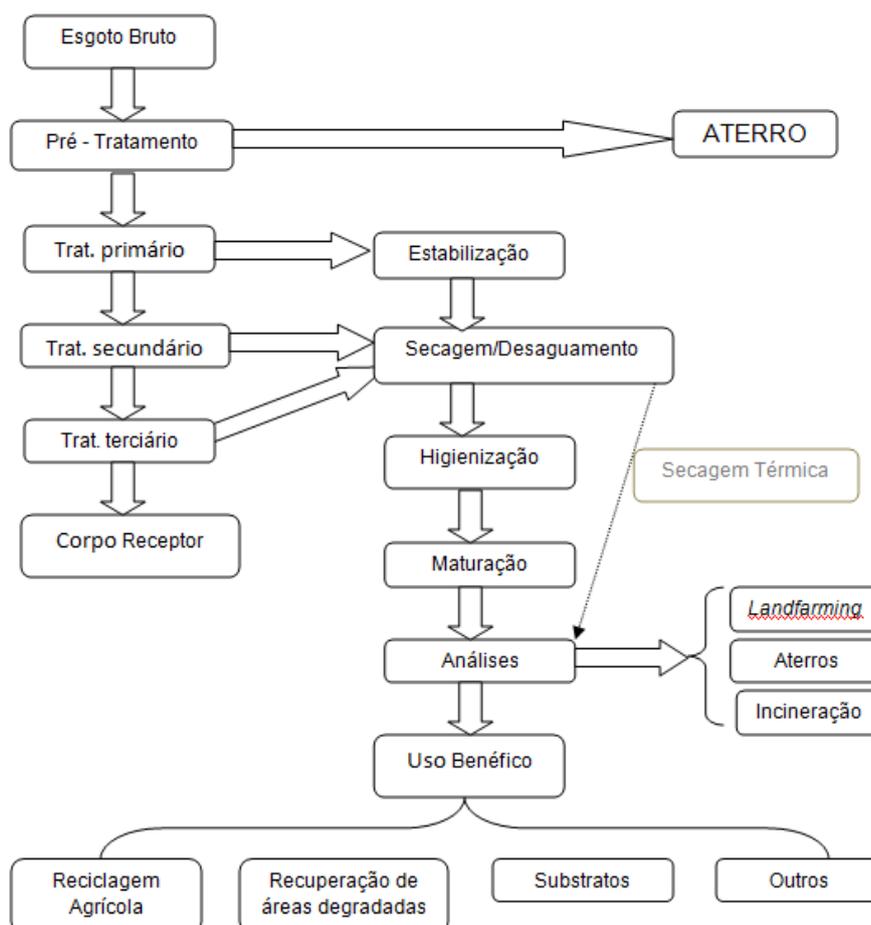


Figura 8: Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final.

Fonte: ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES (2001).

O esgoto passa por várias fases de tratamento e o lodo resultante desse processo geralmente é retirado entre a primeira e segunda fase. O lodo de esgoto também é submetido a tratamento específico, assim como estudado no início deste capítulo. No fluxo acima (Figura 8) compreendemos que tanto para a disposição final em aterros, sobre o solo (*landfarming*) ou incineração, bem como para o reuso do resíduo é necessário que haja o tratamento adequado.

## **CAPÍTULO 3 – A INDÚSTRIA CERÂMICA E O REAPROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO**

### **3.1 PROCESSO INDUSTRIAL**

Cerâmica é o nome dado à pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozimento de argilas ou misturas argilosas.

A argila é a principal matéria-prima utilizada na fabricação de uma série de produtos cerâmicos, devido a sua plasticidade enquanto úmida e extrema dureza depois de cozida. Quimicamente as argilas são constituídas por partículas cristalinas de pequenas dimensões, formadas por argilominerais (silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio). (VERÇOSA, 1994 apud DUARTE, 2008).

Segundo Souza Santos (1989) além dos argilominerais, outros elementos, como matéria orgânica e sais solúveis, também constituem a argila, além de partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, podendo conter ainda minerais não-cristalinos ou amorfos.

No caso da cerâmica vermelha se utiliza geralmente apenas argila como matéria-prima, sendo que dois ou mais tipos de argila com características diferentes entram na sua composição (ANDREOLI et. al., 2006).

O processo na indústria cerâmica ocorre em quatro fases sequenciais: extração e preparação da matéria prima, conformação ou moldagem da massa cerâmica, secagem e cozedura ou queima.

#### **3.1.1 EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA**

As indústrias cerâmicas estão geralmente concentradas próximas às jazidas de argila, em busca de diminuir os custos com transporte.

A extração da argila ocorre a céu aberto, por meio de retroescavadeiras ou equipamentos semelhantes e a preparação da matéria-prima pode ser realizada das seguintes formas:

- a) Seleção: os lotes de argilas são separados de acordo com sua qualidade (composição granulométrica, plasticidade, umidade, pureza, etc.);
- b) Apodrecimento ou sazramento: as argilas seguem para depósitos ao ar livre, onde são revolvidas e passam por um período de descanso. Esta etapa visa à fermentação das partículas orgânicas existentes no barro, aumentando a plasticidade e auxiliando na correção do efeito das pressões sobre as argilas;
- c) Maceração ou destorroamento: pode ser feito por processos rudimentares misturando a argila por meio de pás e picaretas; em processos mais modernos podem ser empregados britadores, moinhos desintegrados e pulverizados, gerando materiais com granulometria cada vez mais finas. A obtenção de menores partículas confere maior plasticidade e melhor contato entre os componentes;
- d) Correção: é feita para dar a argila a formulação ou constituição adequada à fabricação do produto final;
- e) Amassamento: Nesse processo é adicionado água à matéria-prima tornando-a uma pasta homogênea, podendo ser realizado manualmente ou por meio de equipamentos mecânicos.

### **3.1.2 CONFORMAÇÃO OU MOLDAGEM**

É o momento em que a cerâmica ganhará a forma desejada. Essa operação poderá ser realizada através de quatro processos, dependendo das características da matéria-prima, do formato e constituição do produto final e ainda do forno a ser utilizado.

Entretanto (segundo Verçosa, 1994 apud Duarte, 2008) para o produto estudado o tipo de moldagem mais indicado é com Pasta Plástica Consistente, cujo processo ocorre por meio de extrusão e corte com guilhotina.

Por este método são conformadas peças de seção transversal regular, tais como tijolos vazados (ou furados), blocos, tubos, telhas, lajes e lajotas. A extrusão consiste em fazer passar uma coluna de argila compactada, por meio de um dispositivo propulsor, através de um bocal ou matriz (boquilha) com o formato desejado. O mecanismo propulsor pode ser de cilindros, de pistão ou de hélices, sendo este último o mais utilizado (ANDREOLI et. al., 2006).

### **3.1.3 SECAGEM**

O processo de secagem tem a finalidade de diminuir a umidade presente nas peças cerâmicas, principalmente após sua conformação. A umidade de extrusão dos produtos cerâmicos normalmente oscila entre 20 e 30%, devendo ficar abaixo de 5% após a secagem.

As peças cerâmicas são consideradas tecnicamente secas quando sua umidade residual estiver entre 1 e 2% (ANDREOLI et. al., 2006).

A secagem é bastante delicada e complexa no processo de fabricação de materiais cerâmicos, pois é comum ocorrerem defeitos que serão perceptíveis somente após a queima. Através do controle da taxa de secagem é possível prevenir rachaduras, fissuras e deformações.

Esta etapa reduz a porosidade e o aparecimento das tensões internas; conseqüentemente reduz o fendilhamento resultante da saída abrupta e desuniforme da umidade do interior da massa. Há quatro processos básicos de secagem (VERÇOSA, 1994 apud DUARTE, 2008).

a) Natural: consiste na disposição das peças cerâmicas em telheiros com ou sem cobertura. Processo mais comum e demorado exigindo grandes superfícies;

- b) Por ar quente úmido: as peças são colocadas em secadores e recebem ar quente com muita umidade, com a finalidade de retirar a água absorvida; em seguida recebe apenas o ar quente para retirar a água de capilaridade;
- c) De túnel: as peças são colocadas sobre vagonetes e conduzidas lentamente por um corredor desde o extremo mais frio e úmido até o mais quente e seco. A temperatura varia gradualmente sem provocar choque térmico;
- d) Por radiação infravermelha: pouco usada devido ao alto custo.

#### **3.1.4 COZEDURA OU QUEIMA**

Nessa etapa o barro é colocado em fornos de alta temperatura e consiste na oxidação da matéria orgânica e desidratação química (a partir de 600°C), calcinação e também vitrificação (a partir de 950°C).

O resultado desse processo é influenciado pela temperatura alcançada, a velocidade de aquecimento, atmosfera ambiente, pressão e umidade. O cozimento pode ser contínuo ou intermitente e pode ser realizado por meio da queima de diferentes tipos de combustíveis, tais como lenha, pó de serra, briquetes de cana, carvão, óleo, gás ou mesmo energia elétrica.

Um dos principais cuidados na queima é a uniformidade da distribuição de calor no forno, evitando que peças adquiram propriedades diferentes após a queima (ANDREOLI et. al., 2006).

Após o cozimento é muito importante adotar cuidados para que não haja um resfriamento brusco da peça, a fim de evitar o fendilhamento da mesma.

#### **3.2 A UTILIZAÇÃO DO LODO NA INDÚSTRIA CERÂMICA**

A reciclagem de resíduos é uma prática que vem sendo utilizada de maneira crescente na área da construção civil, surgindo de forma efetiva na década de 80

nos países industrializados. Definida como o conjunto de atividades que tornam possível o reaproveitamento ou utilização dos resíduos sólidos provenientes da própria construção civil ou de outras atividades, até então consideradas inúteis e problemáticas, a reciclagem pode ser considerada como uma prática ambientalmente correta, diminuindo o consumo de recursos naturais, seja na forma de matérias-primas ou de energia, transformando resíduos em recursos e reduzindo, assim, os custos e danos ambientais decorrentes de práticas inadequadas de disposição final (ANDREOLI et. al., 2006).

A caracterização do lodo de esgoto demonstra a possibilidade de incorporação deste resíduo na massa cerâmica podendo ser incorporado juntamente com argila como matéria-prima, ao passo que haverá uma diminuição da extração de argila no meio ambiente.

O lodo de esgoto apresenta componentes interessantes (argilo-minerais) e prejudiciais (material orgânico e umidade elevada) à massa cerâmica em quantidades excessivas. Portanto, é importante observar que a adição deste resíduo demandará um ajuste tanto na formação da massa cerâmica quanto no processo de produção (ANDREOLI et. al., 2006).

### 3.2.1 FORMA DE INCORPORAÇÃO DO LODO

O lodo é incorporado à massa cerâmica no momento da mistura das argilas, pois desse modo é possível corrigir a umidade. É importante ressaltar que quanto mais uniforme a mistura dos componentes, maior será a qualidade dos produtos.

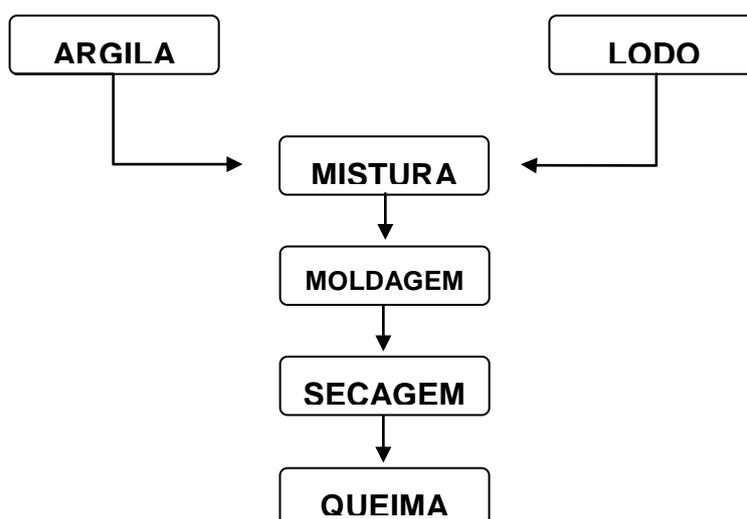


Figura 9: Fluxograma de produção de tijolos com a incorporação de lodo.

Como é possível perceber no fluxo apresentado acima, o processo de fabricação de tijolos não é alterado com a adição do lodo. O lodo é misturado junto as argilas, sendo apenas necessário reduzir a quantidade dessas argilas (conforme Tabela 4) para que o lodo possa ser incorporado sem alteração de volume da massa. Após a mistura o processo de fabricação dos tijolos segue normalmente.

### **3.2.2 DOSAGEM DO LODO**

Pesquisas realizadas por diversas instituições e com lodos de diferentes origens e composições, apontam a umidade como fator mais limitante ao emprego destes resíduos em dosagens expressivas na massa cerâmica. A maioria destas pesquisas realizadas sobre adição de lodo na massa cerâmica refere-se ao lodo seco a 110°C, quando se perde toda a umidade, permitindo a aplicação de dosagens muitas vezes superiores a 30 ou mesmo 40% (ANDREOLI et. al., 2006).

A aplicação de lodo com elevada umidade e em altas dosagens pode levar a uma massa cerâmica com consistência muito mole, trazendo problemas no processo operacional, pois sua moldagem será praticamente impossível. Entretanto essa característica de alta umidade geralmente é de lodos provenientes do tratamento de água, já para os lodos de esgoto, quando tratados antes da incorporação na massa cerâmica levando a uma redução em sua umidade, o problema gerado pela aplicação de uma dosagem alta desse resíduo é a perda ao fogo, ou seja, a partir da extrusão os blocos tornam-se secos e quebradiços, o que compromete expressivamente sua resistência e qualidade, impedindo sua comercialização.

Estudos realizados pela SANEPAR no Paraná (ANDREOLI et. al., 2006), onde foram avaliadas 5 concentrações diferentes (de 2,2 a 36%) de lodo de esgoto na fabricação de blocos cerâmicos, concluiu que a melhor dosagem do resíduo foi a de 2,2% para que a qualidade do material fosse mantida.

Nas condições normais de produção o lodo de esgoto apresenta aproximadamente 45% de sólidos (120% de umidade), sendo classificado como

plástico. A umidade ideal para extrusão da massa cerâmica utilizada na confecção de tijolos está entre 10 e 30% (ANDREOLI et. al., 2006).

No estudo da SANEPAR foram avaliadas amostras de lodo em condições normais, ou seja, sem tratamento posterior a sua geração, e também amostras de lodo tratado com o intuito de reduzir sua umidade, visando maximizar a dosagem aplicada na produção da cerâmica.

Em um estudo realizado por DUARTE (2008), a incorporação do lodo de esgoto na fabricação de tijolos cerâmicos fora testada nas seguintes proporções:

Tabela 4: Quantidade de matéria-prima para fabricação de cerca de 12 tijolos.

Tijolo com % de lodo	Quantidade de matéria-prima (kg)			Umidade (%)
	Argila A	Argila B	Lodo	
Testemunha 1ª fabricação	15,0	10,0	0,00	30,46
Testemunha 2ª fabricação	15,0	10,0	0,00	33,01
5%	14,25	9,50	1,25	23,59
10%	13,50	9,0	2,5	30,77
15%	12,75	8,50	3,75	28,28
20%	12,00	8,00	5,00	30,52
25%	11,25	7,50	6,25	25,94
30%	10,50	7,00	7,50	30,72
35%	9,75	6,50	8,75	34,71
40%	9,00	6,00	10,00	31,17

Fonte: DUARTE (2008).

Os testes foram realizados em duas etapas com dosagens de lodo diferentes em cada umas delas, entretanto em ambas as etapas havia um tijolo-testemunha, isento de parcela de lodo para a comparação com as demais unidades de tijolos. Na Figura 10 a primeira etapa do teste apresenta os tijolos com a incorporação de 10, 20, 30 e 40% de lodo e a Figura 11 traz as características finais dos tijolos com a adição de 5, 15, 25 e 35% de lodo de esgoto.



Figura 10: Tijolos fabricados com adição de lodo (1ª etapa de fabricação).  
 FONTE: DUARTE (2008).

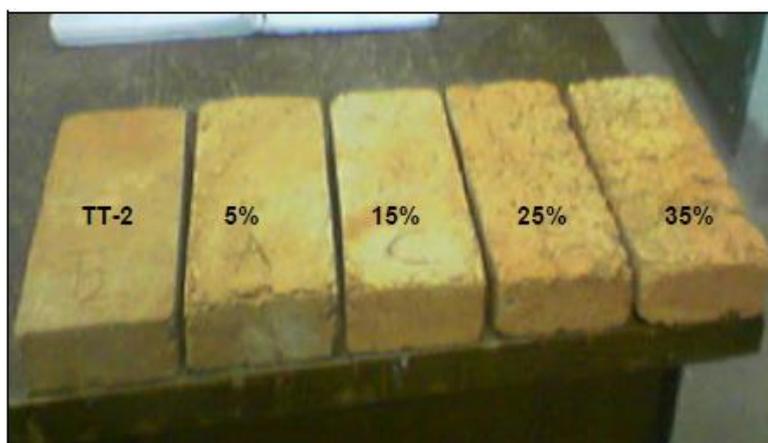


Figura 11: Tijolos fabricados com adição de lodo (2ª etapa de fabricação).  
 FONTE: DUARTE (2008).

Através dos testes realizados nesse estudo, com a fabricação de tijolos com diversas dosagens de lodo, é possível destacar as seguintes conclusões dentre as apresentadas pela discente:

1. Não houve qualquer alteração no odor dos tijolos, mesmo em altas dosagens de lodo;
2. Os tijolos fabricados com 25% de lodo apresentaram fissuras, cantos frágeis e falhas nas arestas. Os tijolos fabricados com a dosagem de 35% ficaram muito quebradiços, sem qualquer resistência mecânica e os tijolos com dosagem de 40% se fragmentaram durante a retirada do forno;
3. A absorção de água está significativa e diretamente ligada ao aumento da dosagem de lodo: os tijolos fabricados com lodo, em todas as dosagens, absorveram mais água do que o tijolo-testemunha, destacando a dosagem de 25% que absorveu, em média, cerca de 160% a mais do que o tijolo-testemunha na sua etapa de fabricação;
4. A resistência à compressão foi significativamente diminuída com a adição de lodo: os tijolos com 5% de lodo perderam, em média, cerca de 45% da resistência obtida pelo tijolo-testemunha; os tijolos fabricados com 15 e 20% perderam na faixa de 70% da resistência máxima, contudo ainda atingiram a resistência mínima necessária;
5. As dosagens mais altas, de

25 e 30%, perderam cerca de 90% da resistência do tijolo-testemunha e, portanto, não são tecnicamente aceitáveis (DUARTE, 2008, p. 102,103).

E finalmente, considerando as condições dessa pesquisa, concluiu-se que para atender aos requisitos técnicos e ambientais a dosagem de 20% de lodo de esgoto é o limite máximo para a incorporação na massa cerâmica.

### **3.3 ASPECTOS LEGAIS**

Diante da situação problemática de disposição final do lodo, frente ao crescente aumento da geração de resíduos, é necessária a regulamentação de normas específicas, bem como, o cumprimento dessas normas e a fiscalização eficiente de todo o processo a fim de garantir a segurança global no gerenciamento desse resíduo.

Não há no Brasil lei específica para o gerenciamento do lodo para reuso na construção civil, entretanto existe a Resolução CONAMA nº 375/2006 que mais se aproxima do assunto estudado. Nessa Resolução o Conselho Nacional de Meio Ambiente dispõe sobre o uso agrícola do lodo de esgoto, e embora o enfoque da resolução seja o reuso agrícola, estabelece procedimentos aplicáveis a qualquer finalidade do resíduo, como no caso do transporte.

A mencionada Resolução, em sua seção VIII, define que a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) é a responsável pelo carregamento e transporte do lodo de esgoto, respeitadas as especificações contidas em seu Anexo VII. Estabelece também que o local de estocagem não pode possuir declividade superior a 5% e sua localização deve respeitar uma distância mínima de rios, poços, minas e cursos d'água, canais, lagos e residências, conforme disposto em seu art. 15, ficando terminantemente proibida a estocagem diretamente sobre o solo. O período de estocagem do lodo dentro da propriedade onde o resíduo será reutilizado não deve ultrapassar 15 dias.

O Anexo VII estabelece as recomendações quanto ao transporte do lodo:

1. O lodo de esgoto ou produto derivado somente será carregado e retirado da ETE ou UGL mediante a apresentação pelo motorista do

caminhão, do Termo de Responsabilidade (nº 1 carregamento) e do Formulário de Controle de Retirada. 2. O motorista deve estar devidamente cadastrado e credenciado na empresa geradora do lodo de esgoto ou produto derivado. 3. Para o transporte deverão ser utilizados caminhões com carrocerias totalmente vedadas, tais como os caminhões basculantes, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex. 4. É proibido qualquer tipo de coroamento nos caminhões (altura da carga ultrapassando a altura da carroceria). 5. Os caminhões devem possuir algum tipo de sistema de comunicação para uso imediato em caso de ocorrência de sinistro. 6. Em caso de sinistro em vias públicas, com derramamento de lodo de esgoto, todos os procedimentos para limpeza são de responsabilidade da empresa transportadora do lodo de esgoto ou produto derivado. 7. Todos trabalhadores em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado deverão sempre utilizar luvas de proteção plásticas ou de couro. Também é requerido o uso de calçado adequado, sapatos ou botas de couro ou plástico, sendo proibido o uso de sandálias e outros calçados abertos. 8. Ao término dos serviços, lavar com água e sabão as luvas, os calçados e as mãos. 9. Devera ser observada a limpeza dos pneus na saída dos caminhões da ETE ou UGL.

Abaixo os modelos de documentos exigidos para o transporte do lodo, conforme estabelecido no Anexo VII da Resolução CONAMA nº 375/2006, onde a Figura 12 representa o formulário do Termo de Responsabilidade do Transportador, também conhecido como manifesto de carga e a Figura 13 representa o modelo do formulário do Controle de Retirada do Lodo.

**Termo de Responsabilidade do Transportador do lodo de esgoto ou produto derivado**

\_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 200\_\_\_\_.  
 Eu, \_\_\_\_\_, portador do documento de identidade nº \_\_\_\_\_, declaro ter sido contratado pela empresa \_\_\_\_\_ para realizar o transporte do produto lodo de esgoto ou produto derivado entre a Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento ou UGL \_\_\_\_\_ e a propriedade do usuário-aplicador situada \_\_\_\_\_

Declaro que farei o transporte, em conformidade com as recomendações da Companhia de Saneamento \_\_\_\_\_, utilizando caminhões com carrocerias totalmente vedadas, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.

Informo estar ciente de que o produto somente poderá ser entregue na propriedade definida no Projeto Agrônomo nº \_\_\_\_\_, sendo que qualquer problema que venha a ocorrer durante o transporte ou em decorrência dele será de minha inteira responsabilidade.

Figura 12: Modelo do termo de responsabilidade do transportador do lodo de esgoto ou produto derivado.

Fonte: CONAMA, 2006.

<b>Controle de Retirada do lodo de esgoto ou produto derivado</b>		
		Projeto nº
Logotipo Cia. de Saneamento	<b>Controle de Retirada do lodo de esgoto por Terceiros</b>	Documento
		Revisão/Data
Data: ____/____/____ Nº. _____ Destino: _____ Cidade: _____ Volume Retirado: _____ m <sup>3</sup> Local de Retirada: Aterro <input type="checkbox"/> Pátio Prensa <input type="checkbox"/> Motorista: _____ RG: _____ Transportadora: _____ Placa do Veículo: _____  Motorista declara estar ciente das precauções para o transporte de lodo de esgoto ou produto derivado descritas no verso:  <div style="text-align: center;">Assinatura do motorista transportador</div> Via da portaria <b>Ao sair, é obrigatória a entrega deste boleto preenchido na portaria da ETE ou UGL.</b>		
Logotipo Companhia de Saneamento	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO _____ Data: ____/____/____ Volume de lodo de esgoto ou produto derivado retirado: _____ m <sup>3</sup>	
<b>Precauções para o transporte do lodo de esgoto ou produto derivado.</b> 1. O caminhão ou camioneta deverá ter trava de carroceria e a carroceria deverá ser totalmente vedada. 2. A carroceria deverá estar coberta com lona plástica. 3. O veículo deverá ter durante a viagem, uma pá e/ou enxada e um cone de sinalização. 4. Para contato direto com o lodo de esgoto ou produto derivado, usar luvas, e após este contato lavar as mãos e o calçado com água e sabão.  ETE ou UGL: _____ Endereço da ETE ou UGL: _____ Via do motorista transportador		

Figura 13: Modelo do Formulário de Controle e Retirada do lodo.  
 Fonte: CONAMA, 2006.

A mais recente conquista na legislação ambiental brasileira foi em 2010, com a sanção da lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considerada uma revolução no que diz respeito às políticas ambientais no país.

A PNRS preconiza a redução, ou seja, a não geração de resíduos através de medidas que visem o tratamento e reutilização dos mesmos e estabelece a seguinte ordem de prioridade de acordo com o Art. 9º do Capítulo I:

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Onde os resíduos são materiais ou substâncias reaproveitáveis e/ou recicláveis e os rejeitos são aqueles não passíveis de reaproveitamento.

Quanto à classificação dos resíduos sólidos a PNRS em seu Art. 13 classifica como perigosos àqueles resíduos que:

...em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

Diante disso e da patogenicidade apresentada pelo lodo de esgoto, conclui-se que se trata de um resíduo perigoso e indo um pouco além, podemos melhor classificá-lo de acordo com a descrição das classes de riscos de produtos perigosos definida pela Organização das Nações Unidas (ONU), enquadrando o resíduo na Classe 6 – Produtos tóxicos e produtos infectantes; Subclasse 6.2 – Substâncias Infectantes, cuja definição é: “Substâncias infectantes: são substâncias que contém ou possam conter patógenos capazes de provocar doenças infecciosas em seres humanos ou em animais”.

A Política Nacional de Resíduos estabelece também que tanto o poder público quanto o setor empresarial e a sociedade em geral, são responsáveis pela efetividade da Lei, assegurando que suas diretrizes sejam cumpridas.

A PNRS decide que o gerador de resíduos não será eximido de culpa e responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos, ainda que terceirize os serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento e destinação final.

Esta Lei também proíbe a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos ainda que para tratamento, reforma, reuso, reutilização ou recuperação,

mas por outro lado, no Art. 44 dispõe sobre a possibilidade da instituição de normas a fim de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, a:

I - indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional.

A Lei 12.305/2010 também estabelece prazos para adequações e regularizações de processos, como por exemplo, o prazo de 4 anos para a implantação da disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, prazo esse que vencerá em agosto de 2014 mas que, entretanto, muitas ETE's e UGL's não conseguirão atender, haja vista a falta de planejamento, estrutura e gerenciamento adequados.

Embora a sanção da Lei de Resíduos Sólidos tenha sido uma conquista nacional, o Brasil ainda é muito carente em relação a políticas e normas que regulamente e principalmente fiscalize as ações ambientais, sobretudo, políticas específicas aos assuntos relacionados ao reaproveitamento de resíduos, em especial o lodo proveniente do tratamento de esgoto, que representa grandes prejuízos ao meio ambiente e população em geral.

### **3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA**

O lodo de esgoto é um item que envolve altos custos à Estação de Tratamento, além de ter uma disposição final problemática. Esses custos estão diretamente relacionados ao tipo de disposição final escolhida.

O reuso do lodo como matéria-prima, que é a disposição final estudada nesse trabalho, tem se destacado frente ao crescimento da produção de lodo em virtude do aumento populacional e conseqüente aumento do despejo de esgoto, ao passo que as áreas de disposição final (aterros sanitários) ficam cada vez mais escassas, além de provocarem prejuízos à natureza.

Essa alternativa é, além de ecológica, muito interessante sob o aspecto econômico. A seguir conheceremos uma avaliação realizada pela SABESP, que

embora seja em relação ao lodo proveniente do tratamento de água é possível verificar a variação dos custos que envolvem as disposições finais.

A SABESP verificou que o custo para a disposição final dos lodos de ETA em aterros sanitários pode variar, dependendo da região e distância. Uma faixa média, encontrada para a Região Metropolitana de São Paulo, é de R\$50,00 a 100,00/tonelada. Para a ETA Taiapuê, os preços para transporte e disposição final variam entre R\$49,00 a R\$76,00 por tonelada. Em um acordo entre a ETA Cubatão e a Cerâmica Mônaco, o preço que será pago para transporte e incorporação é de R\$35,00/tonelada. Ou seja, este custo será de 29 a 54% do custo previsto para transporte e disposição final em aterro sanitário previsto para a ETA Taiapuê (DAVID, et. al., 2002 apud ANDREOLI et. al., 2006).

É possível perceber que através de um planejamento logístico, como o transporte de material seco, e acordos entre estações de tratamento e indústrias que desejam utilizar o resíduo como matéria-prima na fabricação de seus artefatos, os custos com o transporte podem não sobrecarregar apenas uma das partes envolvidas ou ainda representar ganho financeiro para ambos os lados, conforme o exemplo acima, sobre o acordo realizado entre a ETA Cubatão e a Cerâmica Mônaco. Naquele caso a Estação de Tratamento de Água teve um custo bem menor com o transporte para a Cerâmica do que teria com o transporte e disposição no aterro sanitário, ao passo que a Cerâmica estava ganhando para incorporar o lodo em seu processo fabril.

Outro ponto que representa uma economia para a empresa que pretende agregar o resíduo na fabricação de tijolos cerâmicos é a economia com a extração e compra de argilas. Além disso, a empresa se coloca num patamar sustentável, podendo se beneficiar com a propagação de sua imagem diante aos seus clientes, sendo essa iniciativa bastante promissora para os empreendedores com visão sustentável.

As indústrias dedicadas à reutilização de resíduos podem ainda obterem incentivos fiscais, financeiros e se beneficiarem com créditos concedidos pelo governo de acordo com Lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse estudo foi possível tomar conhecimento das dificuldades em administrar a geração e o gerenciamento dos resíduos sólidos, diante do crescimento populacional e frente à falta de estrutura e investimentos das estações de tratamento, colocando o país em uma grave situação que requer urgentemente alternativas seguras para o descarte do lodo de esgoto.

Medidas sustentáveis deixaram de ser uma opção, tornando-se, juntamente com as medidas ambientais e legais, uma necessidade e obrigação mundial, onde cada cidadão e organismo governamental deve ter a consciência que suas ações ou negligências contemporâneas acarretarão impactos à natureza que serão sentidos tanto nos dias atuais como também daqui a muitos anos, pelas próximas gerações.

A logística verde discorre sobre a responsabilidade que todos devem ter dentro de um ciclo, desde o início até o final de um processo, seja ele qual for. No caso dos resíduos sólidos os impactos à natureza poderão ser reduzidos a partir de uma geração consciente, e em se tratando dos efluentes líquidos o meio ambiente poderá ser menos agredido se houver uma preocupação da população em relação às substâncias despejadas na rede coletora de esgoto.

A reciclagem de resíduos sólidos, o seu reaproveitamento, bem como, o armazenamento e disposição final ambientalmente adequados caracterizam práticas também preconizadas pela logística verde.

A logística verde pode ser reconhecida ainda no reaproveitamento da água drenada do lodo de esgoto, onde o transporte dutoviário é parte fundamental para a eficiência na devolução dessa água ao processo. Além do reaproveitamento da água a opção pelo transporte dutoviário é uma alternativa logística mais eficiente e menos poluente. Utilizando esse modal evita-se, por exemplo, contaminar o meio ambiente com poluentes advindos da utilização de veículos automotores, evita-se o desgaste de pneus, de equipamentos hidráulicos e mecânicos e economiza-se combustível.

Muitas vezes práticas simples ou pequenas podem ser introduzidas no processo geral e fazerem a diferença no resultado final. O lodo de esgoto utilizado na fabricação de tijolos, ainda que em quantidades mínimas, resultará em ganho para o meio ambiente, dando ao resíduo um destino ambientalmente correto e economizando os recursos naturais com redução da retirada de argila das jazidas. Além disso, é importante que haja o reconhecimento de que o resíduo sólido reutilizável e reciclável é um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Este estudo permitiu comprovar que o reaproveitamento do lodo resultante do tratamento de esgoto na construção civil, além de diminuir o impacto ambiental provocado pela disposição inadequada do resíduo ao meio ambiente ainda transforma o resíduo problemático em um subproduto com valor agregado, além de garantir uma economia de recursos naturais explorados da natureza, nesse caso a argila. Os custos com o transporte, armazenagem, movimentação e manuseio do resíduo são de fato complexos e onerosos, entretanto não se confirma a hipótese de que isso inviabilizaria o reaproveitamento do resíduo na construção civil, desde que exista um planejamento logístico adequado.

Os tijolos fabricados com a incorporação de lodo de esgoto não têm ainda uma comercialização efetiva, entretanto de acordo com testes já realizados, dependendo da dosagem de lodo utilizada em sua fabricação, obtêm-se tijolos que, embora apresentem qualidade inferior aos tijolos sem adição de lodo, enquadram-se nas especificações técnicas e ambientais das normas pertinentes, podendo ser tranquilamente comercializados.

Portanto, alternativas viáveis para a minimização dos impactos ao meio ambiente existem, sendo o reaproveitamento do lodo de esgoto na construção civil uma dessas alternativas, entretanto são necessários mais esforços do poder público, estações de tratamento e indústrias do segmento para que essa seja uma realidade praticável no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V. et. al. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 283-352.

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 315,316, 362-366.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3ª ed. atual e ampliada. São Paulo: Saraiva, 2011. p. 103-118.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375 de 29 ago 2006**. Brasília: Governo Federal, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 16 mai 2014. 21h35.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 20 mai 2013. 13h20.

COELHO, L. C. **A Logística Verde e o Custo Logístico**. Disponível em: <<http://www.logisticadescomplicada.com/a-logistica-verde-e-o-custo-logistico/>>. Acesso em: 07 set. 2013. 23h56.

\_\_\_\_\_. **O que é Logística Verde?** Disponível em: <<http://www.logisticadescomplicada.com/o-que-e-logistica-verde/>>. Acesso em: 07 set 2013. 23h40.

DUARTE, A. da C. L. **Incorporação de Lodo de Esgoto na Massa Cerâmica para a Fabricação de Tijolos Maciços: Uma Alternativa para a Disposição Final do Resíduo**. 2008. 109f. Dissertação (Mestrado). UFRN/Natal/RN. 2008.

GODOY, L. C. de. **A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto**. 2013. 72f. Monografia (Conclusão de Curso em Logística). FATEC/Americana/SP. 2013.

GONÇALVES, R. C. **Você sabe o que é Logística Verde?** Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/administracao-e-negocios/voce-sabe-o-que-e-logistica-verde/14276/>>. Acesso em: 07 set. 2013. 23h30.

LEGGERINI, M. R. C. **Materiais, Técnicas e Estruturas I**. Disponível em: <[http://www.feng.pucrs.br/professores/mregina/ARQUITETURA\\_-\\_Materiais\\_Tecnicas\\_e\\_Estruturas\\_I/estruturas\\_i\\_capitulo\\_II\\_materiais\\_ceramicos.pdf](http://www.feng.pucrs.br/professores/mregina/ARQUITETURA_-_Materiais_Tecnicas_e_Estruturas_I/estruturas_i_capitulo_II_materiais_ceramicos.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2014. 9h10.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. p. 2-7.

MOURA, L. A. A. de. **Qualidade e Gestão Ambiental: Sustentabilidade e Implantação da ISO 14.001**. 5ª ed. rev. e atual. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2008. p. 57-66.

OLIVEIRA, B. F. de, SILVA, M. A., FREITAS, M. S. de. **Secagem de Materiais Cerâmicos**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/33645084/Secagem-dos-Materiais-Ceramicos>>. Acesso em: 14 abr. 2014. 22h05.

QUIUMENTO, F. **Logística Verde: Uma nova visão para a Logística com atividade humana integrada ao ambiente**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/medioquestoesambientais/logistica-verde>>. Acesso em: 08 set. 2013. 14h38.

\_\_\_\_\_. **Logística Verde: Uma nova visão para a Logística com atividade humana integrada ao ambiente**. Disponível em: <<http://knowledgeispowerquiumento.wordpress.com/article/logistica-verde-2tlel7k7dcy4s-90/>>. Acesso em: 08 set. 2013. 14h47.

SITE DA LOGÍSTICA. **Logística Verde: Entrevista com o Prof. Vítório Donato**. Disponível em: <<http://www.sitedalogistica.com.br/products/logistica-verde-entrevista-com-o-prof-vitorio-donato/>>. Acesso em: 08 set. 2013. 14h30.