

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO
GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

DELMAR HIRATA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS**

SÃO PAULO
2015

DELMAR HIRATA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS**

**EVALUATION OF THE POTENTIAL OF RECYCLING SEWAGE TREATMENT
PLANT SLUDGE IN OBTAINING MATERIALS CERAMIC**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade Nove de Julho
– UNINOVE, como requisito parcial para
obtenção do grau de **Mestre** em Gestão
Ambiental e Sustentabilidade.

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a CLAUDIA
TEREZINHA KNISS

SÃO PAULO

2015

Hirata, Delmar.

Avaliação do potencial de reciclagem de lodo de estação de tratamento de esgoto na obtenção de materiais cerâmicos. / Aladim Lopes Gonçalves. 2015.

128 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2015.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Claudia Terezinha Kniess.

1. Reciclagem. 2. Lodo de esgoto. 3. Inovação sustentável. 4. Patentes.

I. Baptista, Ana Maria Haddad.

II. Título

CDU 658.504.06

DELMAR HIRATA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Gestão Ambiental e Sustentabilidade, apresentada à Banca Examinadora formada por:

Prof. Dr Geraldo Martins – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof^a. Dr^a Cláudia Terezinha Kniess – Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Prof. Dr Alexandre de Oliveira e Aguiar - Universidade Nove de Julho - UNINOVE

São Paulo, 23 de fevereiro de 2015.

*Dedico este trabalho à minha esposa Fátima e
minha filha Ana Carolina pelo amor, e pela
compreensão nos momentos de ausência.*

Amo vocês.

*“Todos os seus sonhos podem se tornar realidade
se você tiver a coragem de persegui-los.”*

Walt Disney

*“Se, a princípio, a ideia não é absurda,
então não há esperança para ela.”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Cláudia Terezinha Kniess pela disponibilidade, compreensão, paciência, dedicação e colaboração que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS da Universidade Nove de Julho pela oportunidade de crescimento profissional ofertada.

Aos professores Alexandre de Oliveira e Aguiar, Geraldo Martins, grande entusiasta, pela participação como membros da banca examinadora deste trabalho.

Ao professor Fábio Shibao membro da Banca de Qualificação, pela colaboração, considerações e contribuições feitas.

Aos professores Claudia Echevengúá Teixeira, Mauro Ruiz e Marcelo Gabriel por compartilharem seus conhecimentos e incentivo para este trabalho.

Ao professor Luc Quoniam pelas valiosas dicas na utilização da ferramenta de busca de patentes

Aos meus amigos Eliane Sobral, Gláucia Goês Ferreira e Ronaldo Barbatto por partilharmos aprendizado e experiências durante o curso. Um obrigado a todos alunos da primeira turma do GeAS pelas risadas, discussões e colaborações que tornaram tão especial o esse curso.

Aos companheiros Anderson e Fábio pela realização dos ensaios laboratoriais.

A minha esposa Fátima. Obrigado por toda a força e por nunca me deixar desistir.

A minha filha Ana Carolina por encher de alegria minha vida.

A todas as pessoas que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

Obrigado!

RESUMO

A disposição final adequada do lodo de esgoto constitui um problema crescente enfrentado pelos prestadores de serviços de saneamento. A problemática inicia na sua geração, passando pelo tratamento, armazenamento e transporte até a alternativa de disposição final. A gestão do lodo é uma necessidade para a estação de tratamento de esgoto que visa a sua eficácia e colaboração com o desenvolvimento sustentável. Deste modo, para garantir que o sistema de tratamento tenha resultados satisfatórios, é necessário fazer a disposição final adequada do lodo de esgoto. Sob condições técnicas e ambientais adequadas, estes resíduos podem ser reaproveitados, diminuindo assim o consumo de recursos naturais. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica relacionada a utilização de lodo de estação de tratamento de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos. Pretende-se, com isso, contribuir com uma alternativa para a reciclagem do lodo e com isso reduzir o impacto ambiental proveniente do tratamento de esgoto promovendo assim o desenvolvimento sustentável do setor. Para a formulação das massas cerâmicas utilizou-se o planejamento experimental {3,2}, originando seis formulações dos três componentes (dois diferentes tipos de argilas e lodo de esgoto). Foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos-de-prova a seco e após a sinterização: retração linear, absorção de água, resistência mecânica a flexão. A patente é um registro de Propriedade Industrial e ao mesmo tempo contém informações que podem ser utilizadas para o desenvolvimento tecnológico. Para recuperar informações de patente sobre tratamento e reciclagem de lodo de esgoto, realizou-se busca na base dedados do *patentinpiration*, disponibilizada pela AULIVE. Foram utilizadas como palavras chaves para a busca as expressões “*Sewage Sludge*”, “*Recycle*”, “*Treatment*”, “*Ceramic Materials*”, entre outras. . Foram recuperados 1377 pedidos de patentes empregando as expressões “*Treatment*” e “*Sewage Sludge*”. Os materiais cerâmico sinterizado desenvolvido com adição de lodo de esgoto apresentaram valores das propriedades físicas que tornam possível a utilização deste resíduo como matéria-prima alternativa para a produção de produtos cerâmicos.

Palavras-chave: Reciclagem. lodo de esgoto. inovação sustentável. patentes.

ABSTRACT

The final disposal of sewage sludge is a growing problem faced by service providers sanitation. The cycle of sludge is one of the biggest challenges of designers in the sanitation sector. Since its generation, including the treatment, storage and transportation to the alternative of disposal, the sludge must be taken into consideration in the *design* of a sewage treatment plant. The management of sludge is a need for sewage treatment plant that aims its effectiveness and contributing to sustainable development. Thus, to ensure that the treatment system has satisfactory results, it is necessary to make the final disposal of sewage sludge. Under suitable environmental conditions and techniques, these residues can be employed, thereby reducing the consumption of natural resources and the need for handling, storage and disposal of refuse, having as a consequence, reducing the risks generated. This work intends to evaluate aspects related to sustainability and innovation in the recycling of sewage sludge in obtaining new materials. For the formulation of the ceramic material used the experimental design {3,2}, yielding six formulations of the three components (two different types of clay and sewage sludge). Technological tests were performed in dry pieces and after sintering: linear shrinkage, water absorption, mechanical resistance to bending. The patent is an industrial property registration and at the same time contains information that can be used for technological development. To retrieve patent information processing and recycling of sewage sludge was held in Patentinspiration search database, available from AULIVE. Were used as key words to search the terms "Sewage Sludge", "Recycle", "Treatment", "Ceramic Materials" among others. 1.377 patent applications were recovered using the terms "treatment" and "Sewage Sludge". The sintered ceramic materials developed with the addition of sewage sludge, the present physical property values which make it possible to use this residue as an alternative raw material for the production of ceramic products.

Key-word: Recycling, sewage sludge, sustainable innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Custo da disposição do lodo de esgoto no continente europeu.	2
Figura 2: Disposição de lodo no Brasil	6
Figura 3: Classificação Internacional de Patentes - IPC	21
Figura 4: Detalhamento das seções da classificação - IPC.....	22
Figura 5: Sistemas de Lagoas de Estabilização.....	27
Figura 6: Sistema de Lagoas Aeradas	29
Figura 7: Sistema de Lodos Ativados.....	30
Figura 8: Unidades de processamento de lodo	38
Figura 9: Distribuição geográfica da indústria cerâmica brasileira.	45
Figura 10: Relações entre minerais primários formadores de rocha e os argilominerais.	50
Figura 11: Processo de Fabricação de Materiais de Revestimento por Via Seca	53
Figura 12: Processo de Fabricação de Materiais de Revestimento por Via Seca	54
Figura 13: Fluxograma da metodologia empregada.....	64
Figura 14: Detalhe do secador térmico e do lodo.....	65
Figura 15: Lodo desidratado.....	65
Figura 16: Argila 1	67
Figura 17: Argila 2	67
Figura 18: Espaço Simplex para três componentes	68
Figura 19: Diagrama triaxial de matérias-primas apresentando a região restrita de pseudocomponentes e os pontos obtidos com o simplex	70
Figura 20: Moinho	71
Figura 21: Prensa.....	72
Figura 22: Corpos de prova produzidos	72
Figura 23: <i>Print screen</i> da licença do software.....	75
Figura 24: Ferramenta PatentInspiration.....	76
Figura 25: Difrátograma de raios X do lodo de esgoto.	78
Figura 26: Difrátogramas de raios X da argila 1.	80
Figura 27: Difrátogramas de raios X da Arg 2.	81
Figura 28: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RLS.	84

Figura 29: Superfície de resposta para RLS obtida por meio do modelo Linear.	84
Figura 30: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RMFS.	85
Figura 31: Superfície de resposta para RMFS obtida por meio do modelo Linear. ...	85
Figura 32: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RLS.	86
Figura 33: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RMFS.	87
Figura 34: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RLQ.	90
Figura 35: Superfície de resposta para RLQ obtida por meio do modelo Linear.	91
Figura 36: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de ABSQ.	92
Figura 37: Superfície de resposta para ABSQ obtida por meio do modelo Linear. ...	92
Figura 38: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RMFQ.	93
Figura 39: Superfície de resposta para RMFQ obtida por meio do modelo Linear.	94
Figura 40: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RLQ.	95
Figura 41: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade ABSQ.	96
Figura 42: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RMFQ.	96
Figura 43: Estratégia de pesquisa.	97
Figura 44: Publicações de Patentes nos últimos 50 anos.	98
Figura 45: Países com maior quantidade de patentes publicadas.	98
Figura 46: Distribuição das requisições de patentes.	99
Figura 47: Requerentes nos últimos 20 anos.	100
Figura 48: Classificação de Patentes.	101
Figura 49: Publicações de Patentes nos últimos 40 anos.	102
Figura 50: País requerentes de patentes.	102
Figura 51: Maiores requerentes de patentes.	103
Figura 52: Principais classificações IPC.	104
Figura 53: Distribuição de depósito de patentes nos últimos 50 anos.	104
Figura 54: Países com maiores solicitação de depósitos de patentes.	105

Figura 55: Países com maiores depósitos de patentes.....	105
Figura 56: Principais classificações IPC.....	106
Figura 57: Maiores requerentes de patentes.....	107
Figura 58: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 40 anos.....	107
Figura 59: Países com maior número de depósitos de patentes.....	108
Figura 60: Distribuição dos depósitos de patentes.....	108
Figura 61: Principais classificações IPC.....	109
Figura 62: Maiores Requerentes de patentes	110
Figura 63: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 20 anos.....	110
Figura 64: Países com maior número de depósitos de patentes.....	111
Figura 65: Distribuição dos depósitos de patentes.....	111
Figura 66: Principais classificações IPC.....	112
Figura 67: Maiores Requerentes de patentes	113
Figura 68: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 20 anos.....	113
Figura 69: Distribuição dos depósitos de patentes.....	114
Figura 70: Principais classificações IPC.....	114
Figura 71: Maiores Requerentes de patentes	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais métodos de disposição de lodos de esgoto em diversos países.	4
Tabela 2: Projeção da evolução do lodo e disposição no continente europeu.	35
Tabela 3: Classificação dos revestimentos mecânicos, segundo a ABNT – NBR 13817.	47
Tabela 4: Classificação do produto cerâmico e o uso recomendado.	48
Tabela 5: Coordenadas dos componentes no arranjo simplex {3,2} e os percentuais dos pseudocomponentes.	69
Tabela 6: Formulações das massas cerâmicas obtidas por meio do delineamento L-simplex {3,2}.	69
Tabela 7: Análise química em óxidos do lodo de esgoto em estudo.	77
Tabela 8: Fases cristalinas do lodo de esgoto	79
Tabela 9: Análise química das matérias-primas argilosas brutas.	79
Tabela 10: Fase cristalina da Argila 1	80
Tabela 11: Fase cristalina da Arg 2.	81
Tabela 12: Composição das misturas cerâmicas e as medidas de RLS e RMFS.	82
Tabela 13: Resultados estatísticos para a análise de variância do modelo de regressão para RLS.	82
Tabela 14: Principais resultados estatísticos para a análise de variância do modelo de regressão para RMFS.	83
Tabela 15: Composição das misturas cerâmicas e as correspondentes medidas de RLQ, ABSQ e RMFQ.	88
Tabela 16: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para RLQ (intervalo de confiança 30%).	88
Tabela 17: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para ABSQ (intervalo de confiança 7%).	88
Tabela 18: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para RMFQ (intervalo de confiança 35%).	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Característica e tipo de resíduos	32
Quadro 2: Tendências do gerenciamento do lodo nos EUA e na Europa.	36
Quadro 3: Estratégias de Tratamento e Aproveitamento do Lodo	41
Quadro 4: Instituições ligadas ao setor de cerâmica.....	45
Quadro 5: Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.	46
Quadro 6: Divisão do setor cerâmico	47
Quadro 7: Síntese das patentes.....	116
Quadro 8: Resumo da pesquisa na base de dados da AULIVE.....	117

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Absorção de Água
ABSQ	Absorção de Água - Queimado
ARG	Argila
DBO	Demanda Química de Oxigênio
DOC	<i>Department of Commerce</i>
DRX	Difração de raios X
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FRX	Fluorescência de raios X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPC	<i>International Patent Classification</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PINTEC	Pesquisa de Inovação Tecnológica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RL	Retração Linear
RLQ	Retração Linear - Queimado
RLS	Retração Linear - Seco
RMF	Resistência Mecânica à Flexão
RMFQ	Resistência Mecânica à Flexão - Queimado
RMFS	Resistência Mecânica à Flexão - Seco
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA.....	5
1.2.	OBJETIVOS.....	8
1.2.1.	Objetivo Geral.....	8
1.2.2.	Objetivos Específicos	8
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	8
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1.	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	11
2.1.1.	Conceito de Desenvolvimento Sustentável	11
2.2.	INOVAÇÃO	13
2.2.1.	Conceito de Inovação.....	13
2.2.2.	Tipos de Inovação	14
2.2.3.	Inovação Sustentável	17
2.3.	PROPRIEDADE INTELECTUAL.....	19
2.3.1.	Propriedade Industrial.....	19
2.3.2.	Patente como fonte de informação.....	20
2.3.3.	Classificação Internacional de Patentes - IPC.....	21
2.4.	PARTICULARIDADES DO TRATAMENTO DE ESGOTO	22
2.4.1.	Esgoto.....	22
2.4.2.	Tratamento de Esgoto.....	23
2.4.3.	Classificação do Sistema de Tratamento.....	23
2.4.4.	Processo de Tratamento de Esgotos	25
2.4.5.	Técnicas de Tratamento de Esgotos	25
2.4.5.1.	Disposição no Solo.....	26
2.4.5.2.	Lagoas de Estabilização sem Aeração.....	27
2.4.5.3.	Sistemas Anaeróbios Simplificados.....	28
2.4.5.4.	Lagoas de estabilização aeradas	28

2.4.5.5.	Lodos ativados	29	
2.4.5.6.	Filtros biológicos.....	30	
2.4.5.7.	Biofiltro aerado submerso.....	30	
2.5.	LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	31	
2.5.1.	Caracterização do lodo.....	31	
2.5.2.	Gerenciamento do Lodo	33	
2.5.3.	Tratamento do lodo	37	
2.5.4.	Alternativas de Disposição Final do Lodo.....	40	
2.5.5.	Legislação Vigente	43	
2.6.	MATERIAIS CERÂMICOS	44	
2.6.1.	Definição	44	
2.6.2.	Indústria Cerâmica no Brasil	44	
2.6.3.	Classificação dos Produtos Cerâmicos	46	
2.6.4.	Matérias-Primas	48	
2.6.4.1.	Matérias-Primas Plásticas	48	
2.6.4.2.	Matérias-Primas Não Plásticas.....	51	
2.6.5.	Processamento Cerâmico	52	
2.6.5.1.	Moagem	55	
2.6.5.2.	Prensagem	56	
2.6.5.3.	Secagem	56	
2.6.5.4.	Sinterização.....	56	
2.6.6.	Caracterização dos Materiais Cerâmicos	57	
2.6.6.1.	Fluorescência de Raios-X (FRX)	57	
2.6.6.2.	Difração de Raios-X (DRX)	58	
2.6.6.3.	Superfície Específica.....	58	
2.6.6.4.	Retração Linear	59	
2.6.6.5.	Absorção de Água	59	
2.6.6.6.	Porosidade.....	59	
2.6.6.7.	Massa Específica Aparente	60	
2.6.6.8.	Resistência Mecânica	61	
2.7.	UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS	61	
3.	METODOLOGIA	64	
3.1.	MATÉRIAS-PRIMAS.....	65	
3.1.1.	Lodo de Esgoto.....	65	

3.1.2.	Matérias-Primas Cerâmicas.....	66
3.1.3.	Caracterização das Matérias-Primas	66
3.2.	FORMULAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS	67
3.2.1.	Planejamento Experimental por Delineamento de Misturas.....	67
3.3.	PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS CERÂMICOS	70
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS	73
3.4.1.	Retração Linear	73
3.4.2.	Absorção de Água	73
3.4.3.	Resistência Mecânica a Flexão	74
3.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS E OBTENÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS.....	74
3.6.	LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES PATENTÁRIAS	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	77
4.1.1	Lodo de Esgoto	77
4.1.2	Matérias-Primas Argilosas	79
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS DESENVOLVIDOS 81	
4.2.1	Caracterização dos Materiais Cerâmicos a Seco	81
4.2.1.1	Determinação dos Parâmetros Estatísticos e Análise dos Modelos de Regressão para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco	81
4.2.1.2	Análise das Superfícies de Resposta para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco	83
4.2.1.3	Gráficos de Resposta de Componentes Individuais para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco.....	86
4.2.2	Caracterização dos Materiais Cerâmicos Sinterizados	87
4.2.2.1	Determinação dos Parâmetros Estatísticos e Análise dos Modelos de Regressão para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos Sinterizados.....	87
4.2.2.2	Análise das Superfícies de Resposta para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos Sinterizados	90
4.3	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PATENTÁRIAS	97
5.	CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA.....	118
6.	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIAS.....	121

1. INTRODUÇÃO

Um dos agentes poluidores dos recursos hídricos nas áreas urbanas são os esgotos, que muitas vezes são lançados diretamente nos corpos de água. No Brasil, durante muitos anos, o tratamento do esgoto foi implantado sem considerar o destino final do lodo produzido.

A falta de condições adequadas de saneamento pode contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além da degradação dos corpos d'água (COSTA; COSTA, 2011). A disposição do lodo de esgoto é um problema comum em muitas comunidades brasileiras.

Por outro lado, a crescente demanda social pela melhoria e manutenção das condições ambientais tem exigido do setor público e da iniciativa privada novas iniciativas capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

No setor de saneamento, a ampliação dos serviços de tratamento de esgoto domésticos é uma atividade prioritária para resgatar parte da dívida ambiental contraída por políticas governamentais reducionistas, que dissociaram os serviços de saneamento em atividades não integradas (ANDREOLI; PEGORINI, 1998). Um exemplo é o lançamento diário de aproximadamente 10 bilhões de litros de esgoto, coletados, mas não tratados, nos corpos d'água brasileiros (IBGE, 2010).

Saneamento básico é, antes de tudo, uma questão de saúde pública e quando o destino final do lodo produzido não é devidamente equacionado, anulam-se parcialmente os benefícios da coleta e tratamento dos efluentes (ANDREOLI; PEGORINI, 1998).

A disposição final adequada dos resíduos é uma etapa problemática no processo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), pois seu planejamento tem sido negligenciado e apresenta um custo que pode alcançar aproximadamente 60% do orçamento operacional de um sistema de tratamento. A gestão dos resíduos pode significar um mercado com boas perspectivas potenciais nas áreas de projeto, planejamento e gestão de serviços, equipamentos e insumos (ANDREOLI; PEGORINI, 1998; MIKI; ANDRIGUETI; ALEM SOBRINHO, 2001).

Na Figura 1 são demonstrados o custo de disposição do lodo de esgoto na Europa, apurado no ano de 2010 pela European Commission.

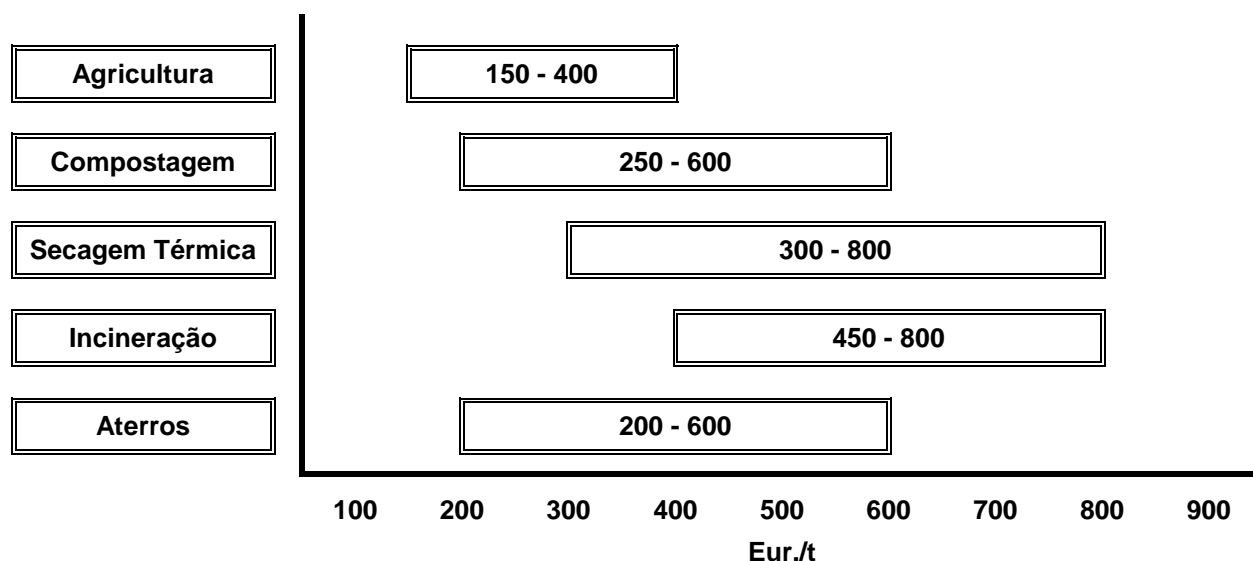


Figura 1: Custo da disposição do lodo de esgoto no continente europeu.

Fonte: European Commission, (2010)

Estudos feitos em vários países indicam o volume de lodo produzido em uma ETE representa de 1 a 2% do volume do esgoto tratado, entretanto seu tratamento e disposição final chega a atingir entre 30 e 60% do custo operacional da ETE. Processos como adensamento, estabilização, desaguamento, entre outras, são comuns no manejo do lodo e sua aplicação está diretamente relacionada ao destino final escolhido. A produção de lodo está intimamente ligada ao sucesso operacional de uma ETE (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001; LUDUVIC, 1998).

No Brasil, segundo o IBGE (2010), aproximadamente 44% dos domicílios dispõe de coleta de esgoto e somente 69% do esgoto coletado sofre algum processo de tratamento. O aumento da produção de lodo de esgoto é, portanto, um problema crescente.

A gestão do lodo de esgotos é um assunto sensível, não respeitando barreiras geográficas como limites entre estados ou mesmo entre países. Os projetos deverão abordar de forma clara e objetiva o manejo do lodo produzido, não se limitando a apenas ao dimensionamento da unidade de tratamento de lodo no interior da ETE, mas avaliando também as alternativas de disposição e indicando a melhor disposição para o lodo produzido.

As razões apresentadas indicam que a disposição final do lodo de esgoto é um problema de grandes proporções e com tendências ao agravamento. Isto indica a necessidade do conhecimento do problema e da definição de alternativas de

gestão ambientalmente e economicamente adequadas, pois a ausência destas definições questiona a própria existência e a operação dos sistemas de tratamento de esgoto.

A utilização de resíduos sólidos do saneamento básico como matéria-prima alternativa representa uma solução ambiental e economicamente adequada para a disposição final destes resíduos, contribuindo ainda para a sustentabilidade dos sistemas de água e esgoto. A disposição desses resíduos é uma operação complexa que geralmente ultrapassa os limites das estações e exigem a interface com outras áreas de conhecimento. No Brasil, grande parte destes resíduos é lançada indiscriminadamente em rios, mas com adequação da legislação ambiental, as operadoras vêm sendo obrigadas a destinar adequadamente estes resíduos (ARAÚJO *et al.*, 2008).

A União Europeia tem estimulado a reciclagem e formulou uma diretiva adotada pelos países membros que proíbe a disposição de resíduos recicláveis em aterros sanitários desde o ano de 2002. Nos Estados Unidos o mesmo princípio foi estabelecido para o ano 2004 e no Brasil a liberalidade no uso dos aterros sanitários está com os dias contados com a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305), que restringiu a utilização dos aterros sanitários apenas para resíduos últimos, ou seja, aqueles que não são passíveis de nenhuma forma de reuso ou reciclagem (LEE; SANTOS, 2011).

Nesse sentido, as alternativas de reciclagem de lodo assumem importância estratégica tanto como forma de reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais, como evitar opções de destino final mais impactante ao meio ambiente e a população, e de custos mais elevados. A reciclagem e a reutilização de resíduos pela indústria vêm se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade do setor, atenuando o impacto ambiental gerado ou reduzindo os custos.

Conforme a NBR – 10.004 (2004), os lodos gerados em ETE's são classificados como resíduos sólidos, devendo, portanto, ser devidamente tratados e dispostos sem que provoquem danos ao meio ambiente.

Existe uma série de variáveis que devem ser analisados em conjunto pela comunidade a fim de selecionar o método de processamento mais apropriado para a reciclagem do lodo em uma determinada região. Esses fatores precisam ser

definidos e priorizados para que a comunidade possa alcançar a melhor solução para o programa de reciclagem do lodo.

A escolha por qualquer uma das alternativas de disposição final do lodo é fruto da situação local de tecnologia e recursos disponíveis. A Tabela 1 apresenta os principais métodos de disposição de lodo de esgoto em vários países.

Tabela 1: Principais métodos de disposição de lodos de esgoto em diversos países.

País	Método de disposição (como % do total produzido)			
	Agricultura	Aterros	Incineração	Outros
Japão ⁽¹⁾	14	6	80	0
EUA ⁽¹⁾	20	30	30	20
Áustria ⁽²⁾	18	1	47	34
França ⁽²⁾	62	16	20	3
Alemanha ⁽²⁾	30	3	38	29
Itália ⁽²⁾	32	37	8	22
Portugal ⁽²⁾	50	20	30	0
Espanha ⁽²⁾	65	20	10	0
Brasil ⁽³⁾	14	45	2	39

Fontes: (1) Geyer, (2001); (2) European Commission; (2010); (3) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2010).

A utilização de lodos de estações de tratamento de esgotos como matéria-prima na indústria cerâmica é uma prática que vem sendo adotada em vários países como a Alemanha, Espanha, Japão entre outros e apresenta uma série de vantagens em relação a outros tipos de uso, pois as operações inerentes à indústria cerâmica (fornos operando em altas temperaturas) fazem com que os riscos sanitários sejam reduzidos ao máximo (ARAÚJO *et al.*, 2008; INGUNZA, *et al.*, 2006).

As principais vantagens do uso de lodos como matéria-prima da indústria cerâmica são: (ARAÚJO *et al.*, 2008):

- a) Destinação ambientalmente segura para os resíduos potencialmente perigosos;
- b) Aumento da vida útil das jazidas de argila;
- c) Redução dos custos de recomposição de áreas com vegetação nativa;

- d) Menor gasto de energia, transporte e fabricação; e
- e) Menor utilização dos recursos naturais.

A utilização de resíduos sólidos do saneamento básico como matéria-prima alternativa representa uma solução ambiental e economicamente adequada para a disposição final destes resíduos, contribuindo ainda para a sustentabilidade dos sistemas de água e esgoto (ARAÚJO *et al.*, 2008).

A reciclagem do lodo de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de novos materiais pode dar origem às chamadas “inovações sustentáveis”.

Inovação é qualquer tipo de mudança na prática industrial que melhore a produtividade, a competitividade ou o atendimento de demandas de mercado (BETZ, 1987). Schumpeter (1934) ao analisar as inovações do sistema econômico citou que “produzir significa combinar materiais e forças ao nosso alcance” para produzir outras coisas, ou os mesmos objetos, por método diferente, combinando esses materiais e forças diversamente. Lembra que o fenômeno característico do desenvolvimento emerge quando as novas combinações surgem descontinuamente.

Barbieri, *et al.* (2010) definiu inovação sustentável como a introdução (produção, assimilação ou exploração) de produtos, processos produtivos, métodos de gestão ou negócios, que sejam novos ou significativamente melhorados para a organização em questão, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais, quando comparados com alternativas pertinentes, não apenas reduzindo impactos negativos, mas avançando em benefícios líquidos.

Nesse sentido, este trabalho busca avaliar os aspectos relacionados à valorização do lodo de ETE como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos.

1.1. PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

As estações de tratamento de esgotos produzem vários tipos de resíduos nas etapas de tratamento, sendo que o lodo requer maior atenção do ponto de vista de disposição final. A elevação da taxa de atendimento de coleta e tratamento de esgoto e o crescente aumento de demanda populacional, dificulta o equilíbrio na geração de lodo, reciclagem/reuso e disposição final, gerando uma gestão inadequada do lodo.

Os resíduos de saneamento necessitam ser dispostos em locais adequados, para não contaminar o meio, necessitando de grandes áreas de disposição em função do grande volume gerado, pois, sua decomposição ou percolação pode causar impactos ao meio ambiente (MENEZES *et al.*, 2010).

A Pesquisa Nacional de Saneamento 2010 avaliou que a disposição mais comum no Brasil é o aterro sanitário (37,1%), se considerado os aterros não controlados (8%) chega-se a aproximadamente 45%. Outro dado relevante é os 13,4% de lodo que são lançados em rios, desperdiçando todo benefício e investimento no tratamento de esgoto. A Figura 2 representa os dados consolidados da pesquisa.

As empresas, de modo geral, procuram reduzir a geração de resíduos, transformando seus resíduos em matéria-prima para novos produtos, se adequando as exigências legais ambientais, reduzindo seus impactos e custos com resíduos (ISINNO; RIZZO; SANTOS, 2011)

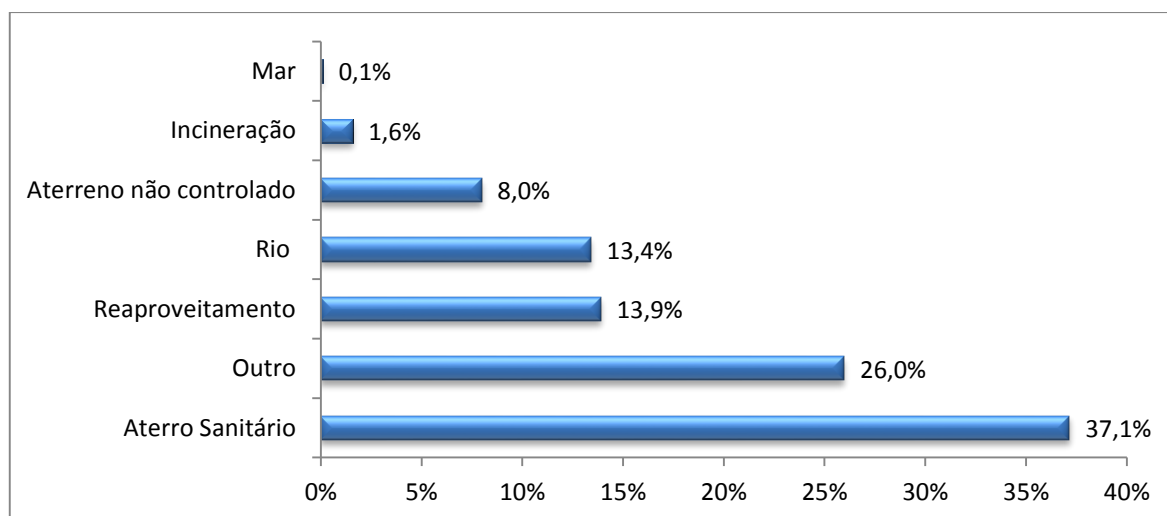


Figura 2: Disposição de lodo no Brasil

Fonte: Adaptado Pesquisa Nacional de Saneamento Básico(2010)

O uso de resíduos industriais pela indústria cerâmica, em função de sua grande produção, possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos e a sua capacidade de neutralizar e estabilizar vários resíduos tóxicos. (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

O segmento de revestimentos cerâmicos se caracteriza por um grande consumo de rochas e minerais industriais para a composição das massas

cerâmicas. Considerando que, para a produção de cada metro quadrado de revestimento cerâmico é necessário entre 15 a 20 kg de matérias-primas minerais, a produção brasileira de 2006 requereu, aproximadamente, 10,4 Gton de matérias-primas. Estima-se que, deste montante, tem-se uma perda de 6% no processo produtivo (BERNI; BAJAY; GORLA, 2010)

Segundo Mayerhoff (2008) p.8 “A patente constitui um direito temporário de exclusividade na exploração de uma nova tecnologia concedido pelo Estado. Esta concessão exige, como contrapartida do titular, a disponibilização da informação necessária para a obtenção da tecnologia objeto da proteção. Assim sendo, o patenteamento resulta na revelação de invenções que poderiam, de outra forma, ser mantidas em segredo.”

As patentes são fontes importantes de informações uma vez que os resultados tecnológicos apresentados para realização do pedido de patenteamento raramente são replicados em outras publicações (QUONIAM; KNISS; MAZIERI, 2014).

É importante salientar que o incremento do poder computacional, da internet e dos dados abertos tornou-se possível utilizar grandes bases públicas de dados como fonte de conhecimento e informação e que “Dentre as demais vantagens do uso deste tipo de informação, destaca-se a facilidade de acesso às bases de dados disponibilizadas gratuitamente por meio da Internet, facilidade muitas vezes ignorada, tanto no meio acadêmico quanto no ambiente industrial de pesquisa e desenvolvimento.” (MAYERHOFF, 2008).

As bases de dados de vários escritórios responsáveis por pedidos de patentes são de livre acesso do público pela internet e mantêm um bancos de dados com descrições completas das invenções apresentadas para depósito (QUONIAM; KNISS; MAZIERI, 2014).

Este trabalho traz uma linha de raciocínio que inicia nos conceitos de desenvolvimento sustentável, inovação e inovação sustentável. Passando pela caracterização do lodo e do setor cerâmico. Finaliza na busca de informações patentárias de tratamento, disposição e reciclagem do lodo de esgoto.

De acordo com este contexto, o presente trabalho visa responder a seguinte questão de pesquisa: Qual a viabilidade técnica da utilização do lodo de estação de tratamento de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica relacionada a utilização de lodo de estação de tratamento de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos. Pretende-se, com isso, contribuir com uma alternativa para a reciclagem do lodo e com isso reduzir o impacto ambiental proveniente do tratamento de esgoto promovendo assim o desenvolvimento sustentável do setor.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto são:

- a) Realizar um levantamento das alternativas de disposição e reciclagem de lodo de ETE descritas na literatura;
- b) Caracterizar as propriedades físico-químicas e mineralógicas do lodo de ETE;
- c) Utilizar a técnica de delineamento de misturas para obter formulações de massas cerâmicas com adição do subproduto;
- d) Realizar a caracterização física dos materiais cerâmicos processados a seco e após a sinterização;
- e) Obter superfícies de resposta para as propriedades tecnológicas de interesse e testar sua validade por meio da análise de variância dos modelos de regressão propostos;
- f) Analisar as alternativas tecnológicas de reciclagem de lodo de ETE no mundo por meio de informações patentárias.

1.3. JUSTIFICATIVA

A avaliação de alternativas para o tratamento e destinos final do lodo envolve aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais.

Santos (2007), estimou a produção de lodo na ordem de 750 mil ton/ano para 2015, somente para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Segundo Andreoli

et al. (2001), o gerenciamento do lodo é estimado entre 20 a 60% do custo operacional da ETE.

Do esgoto coletado, aproximadamente 38% é tratado (IBGE, 2010). Considerando o grande volume de esgoto que ainda necessita de tratamento, a tendência é que o volume de lodo gerado pelo tratamento de esgotos cresça ainda mais.

Este cenário permite vislumbrar a crescente necessidade de se buscar destinações adequadas para o lodo, como o reaproveitamento em outros materiais.

Se por um lado, o lodo de esgoto apresenta em sua composição elementos de grande valor (micro e macro nutrientes e matéria orgânica), outros componentes são perigosos e indesejáveis, tais como: metais pesados, patógenos e poluentes orgânicos. O grande desafio é como inserir esta matéria-prima nos processos industriais de forma sustentável, (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Segundo Junior e Romanel (2013) diversos segmentos da construção civil vêm adotando alternativas sustentáveis em seus projetos, como prédios com monitoramento do consumo de recursos, evitando desperdícios, emprego de sistemas naturais para o conforto ambiental, novas tecnologias para o reuso e reciclagem de resíduos sólidos e líquidos, dentre outras.

Ainda segundo o mesmos autores, para diminuir o consumo de recursos naturais e o consequente impacto ambiental, a indústria da construção civil vem incentivando um mercado crescente, e cada vez mais competitivo, de produtos sustentáveis.

Rocha e Palma (2012) observaram que a indústria cerâmica, assim como demais setores industriais, tem vivenciado uma competitividade cada vez mais acirrada. Este fator leva as indústrias a buscarem redução de custos, inclusive com insumos e matérias-primas, desenvolver a capacidade de inovar, gerando produtos e serviços diferenciados e ao mesmo tempo em demonstrar maior preocupação com as questões ambientais, outro fator que influencia a dinâmica atual do mercado.

O setor de revestimentos cerâmicos caracteriza-se por ser um grande consumo de rochas e minerais industriais para a composição das massas cerâmicas. Segundo Berni, *et al.* (2010), para a produção de um metro quadrado de revestimento cerâmico são consumidos entre 15 a 20 kg de matérias-primas minerais.

Dentre as matérias-primas convencionais utilizadas pela indústria cerâmica, estão os aluminossilicatos. De acordo com a literatura (Garcia, *et al.*, 2011; TIANA, ZUO e CHENA, 2011; GARCÍA, *et al.*, 2012) o lodo de ETE é formado majoritariamente por Sílica (SiO_2) e Alumina (Al_2O_3), o que comprova o potencial de utilização deste como matéria-prima para indústria cerâmica.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta por seis capítulos, uma listagem de referências e está organizada da seguinte maneira:

O Capítulo I, como já apresentado, consta a introdução, objetivos, justificativa e problemática a ser resolvida.

No Capítulo II é apresentada a revisão da literatura, abordando aspectos de desenvolvimento sustentável, inovação, tratamento de esgoto, geração de lodo, materiais cerâmicos, utilização de resíduos para obtenção de materiais cerâmicos e informações patentárias. A abordagem diversificada justifica-se pelo interesse multidisciplinar deste trabalho.

O Capítulo III é reservado para apresentação da metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do trabalho e no Capítulo IV estão os resultados e discussões.

No Capítulo V e VI estão as contribuições para prática e o fechamento do trabalho proposto por meio das conclusões obtidas.

Ao final apresenta-se as referências.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo serão expostos temas relacionados na pesquisa. Primeiramente, serão abordados aspectos relevantes ao desenvolvimento sustentável. Em seguida o destaque ao tema norteador do trabalho, ou seja, inovação, sustentabilidade e patentes, e por fim, serão desenvolvidos temas sobre tratamento de esgoto e setor cerâmico.

2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O objetivo desta parte do capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento sustentável.

2.1.1. Conceito de Desenvolvimento Sustentável

A ampliação do capitalismo acarretou consigo a intensificação dos sistemas de produção, a ampliação dos parques industriais e a cultura do consumo. A maioria dos países adotaram um modelo de desenvolvimento baseado na produção e no consumo, e as indústrias passaram a ser o centro do crescimento econômico (SANTOS, 2005).

O crescimento econômico, baseado no consumo, tem gerado desequilíbrios, se por um lado existe a miséria, a degradação ambiental e aumento da poluição, por outro lado, riqueza e fartura. Dentro deste fato, ganha força os princípios do desenvolvimento sustentável, pregando o desenvolvimento econômico com o respeito ao meio ambiente e a busca de extinção da pobreza no mundo (KON, 2013).

De acordo com Rampazzo (2002), o crescimento econômico não é suficiente para garantir o desenvolvimento, é necessário observar as dimensões da sustentabilidade. Sendo necessário pensar em crescimento que utilize os recursos de maneira eficaz.

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, a discussão sobre desenvolvimento econômico das regiões atrasadas virou o foco da academia e a diferença entre os conceitos de crescimento econômico e desenvolvimento se tornaram evidentes (QUEIROZ, 2011).

Em 1972 foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano ocorrida na cidade de Estocolmo. Nesta Conferência foram discutidas duas posições relativas à problemática ambiental. A primeira posição defendia que as preocupações com o meio ambiente eram exageradas e impediriam que os países em desenvolvimento se industrializassem. Por outro lado, a segunda posição entendia que, caso o ritmo de crescimento econômico e demográfico continuasse, a humanidade correria o risco de desaparecer. Uma posição intermediária surgiu destas discussões, ou seja, o crescimento econômico ainda se fazia necessário, porém este deveria ocorrer de forma socialmente receptivo e realizado por métodos favoráveis ao meio ambiente (SACHS, 2002).

Em 1987 a *World Commission on Environment and Development* divulgou o documento “*Our Common Future*” (Nosso futuro comum) elaborado por uma comissão conhecida como Comissão Brundtland, o qual previa estratégias de desenvolvimento. Segundo este documento o desenvolvimento é sustentável quando satisfaz as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades (DERANO, 2001).

Muller (2002) comentou que o desenvolvimento sustentável diz respeito a uma sociedade ser capaz de manter, a médio e longo prazo, um círculo virtuoso de crescimento econômico e um padrão de vida adequado. Trata-se de melhorar os ciclos econômicos com suas flutuações, com realizações de melhoria no padrão de vida, a despeito das flutuações setoriais e crises econômicas localizadas, ou seja, a sustentabilidade é uma questão multidimensional e intertemporal.

Bellen (2003) propôs que o desenvolvimento sustentável é a capacidade que a empresa possui de aproveitar ao máximo os recursos naturais observando a sua capacidade de regeneração, também é integrar os sistemas econômicos, sociais e ecológicos para que seja possível um equilíbrio entre os três elementos, e de forma mais simples o desenvolvimento é a capacidade humana de se desenvolver em harmonia com o meio ambiente objetivando o desenvolvimento em conjunto.

A noção de economia verde é mais recente que o conceito de desenvolvimento sustentável. Uma economia verde possui baixas emissões de carbono, eficiência no uso de recursos e inclusão social (DINIZ; BERMANN, 2012).

Diniz e Bermann (2012) salienta que pesquisadores dessa linha de pesquisa argumentam que a evidência empírica mostra dois pontos: não há dilema entre

sustentabilidade e crescimento econômico. A transição para uma economia verde pode ser feita tanto por países do primeiro mundo quanto por países pobres.

2.2. INOVAÇÃO

O objetivo deste item é apresentar os aspectos relacionados à inovação.

2.2.1. Conceito de Inovação

A inovação consiste em um tema, que adquire variadas formas nas diferentes empresas e setores, permitindo diversas interpretações, o que dificulta uma definição breve e clara, um conceito único. Inovar envolve uma série de competências tecnológicas, mercadológicas e gerenciais. Rocha (2003) colocou que entender o conceito de inovação e praticá-lo demanda tempo, dedicação e investimentos, a noção de um sistema de inovação compreende a organização de um conjunto de agentes ou arranjos institucionais que se comunicam e desempenham distintos papéis, com a finalidade de introduzir, desenvolver ou difundir inovações.

Inovação é um processo, não um evento isolado, que pode ser manipulado, gerenciado, para afetar o resultado (TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008). Destaca-se que inovação não é invenção, tampouco criatividade. Invenção é a criação de novas tecnologias, processos e produtos cuja base de avaliação da novidade é o conhecimento, não sua aplicação comercial e sua geração de resultado, ao contrário da inovação (SCHUMPETER, 1984).

A inovação pode ser definida como uma iniciativa em qualquer dimensão do sistema da empresa para criar novo valor substancial para os clientes e para a empresa (SAWHNEY; WOLCOTT; ARRONIZ, 2006). Esta definição de inovação destaca três pontos:

- a) Originalidade: uma iniciativa para criar novo valor;
- b) Uma visão holística: uma iniciativa de qualquer dimensão do sistema de negócios, e
- c) Os resultados do cliente: o valor gerado pela iniciativa de clientes e da empresa.

Para Schumpeter (1934) inovações “radicais” pressupõem rupturas intensas, enquanto que inovações “incrementais” dão continuidade ao processo de mudança, ou seja, trata-se de um aprimoramento de algo já existente. Assim, pode-se abolir o dogma de que só é considerada uma inovação algo totalmente novo ou revolucionário.

Prahalad e Hamel (1995) asseguram que, na nova economia, os maiores retornos financeiros vão para empresas que criam modelos de novos negócios. Novas ideias geram novas receitas, fundamentadas em tecnologias viáveis e em novos hábitos dos consumidores.

2.2.2. Tipos de Inovação

Para Bazzo, Linsingen e Pereira (2003), a tecnologia tem se apresentado como o principal fator de progresso e de desenvolvimento. No paradigma econômico vigente, ela é assumida como um bem social e, juntamente com a ciência, é o meio para a agregação de valores aos mais diversos produtos, tornando-se a chave para a competitividade estratégica e para o desenvolvimento social e econômico de uma região.

Uma inovação tecnológica é definida pela introdução no mercado de um produto ou processo produtivo tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorada. Sua definição é baseada nas diretrizes metodológicas definidas na terceira edição do Manual de Oslo (Pesquisa de Inovação Tecnológica - PINTEC, 2005).

De acordo com Andreassi (2004) e Schumpeter (1934) foi um dos pioneiros na definição e contextualização da inovação. Em sua obra, menciona a existência de cinco tipos de inovação:

- a) **Introdução de um novo bem:** bem este cujos consumidores ainda não estejam familiarizados – ou de uma nova qualidade de um bem.
- b) **Introdução de um novo método de produção:** ou seja, um método ainda não testado em determinada área da indústria e que tenha sido gerado a partir de uma nova descoberta científica.
- c) **Abertura de um novo mercado:** ou seja, um mercado em que uma área específica da indústria ainda não tenha penetrado, independentemente do fato do mercado existir antes ou não.

d) **A conquista de uma nova fonte de suprimento de matéria-prima ou bens:** parcialmente manufaturados, independentemente do fato da fonte existir ou não.

e) **O aparecimento de uma nova estrutura de organização em um setor:** como por exemplo, a criação de uma posição de monopólio ou a quebra de um monopólio existente.

Os dois primeiros tipos de inovação mencionados por Schumpeter referem-se a inovação de produto e de processo, denominados pelo Manual de Oslo (OECD, 2005) de inovação tecnológica. Já os outros três tipos englobam as chamadas inovações organizacionais (ANDREASSI, 2004).

A inovação tecnológica de produto é a implantação/comercialização de um produto com características de desempenho aprimoradas de modo a fornecer objetivamente ao consumidor, serviços novos ou aprimorados. A inovação de processo tecnológico é a implantação/adoção de métodos de produção ou comercialização novos ou significativamente aprimorados (OECD, 2005).

Por outro lado, a inovação organizacional é aquela que introduz novidades que modificam os processos administrativos, a maneira como as decisões são tomadas, a alocação de recursos, as atribuições de responsabilidades, os relacionamentos com pessoas e outras organizações, os sistemas de recompensas e punições e outros elementos relacionados com a gestão da organização (BARBIERI; ÁLVARES; CAJAZEIRA, 2009).

Ressalta-se, no entanto, que a fronteira entre inovação tecnológica e inovação organizacional não são sempre claras. A implantação de um sistema integrado de gestão, por exemplo, envolvem os dois tipos de inovação: tecnológica, pois envolve a revisão de processos produtivos, e organizacional, porque se trata de técnicas avançadas de gestão (ANDREASSI, 2004).

Com uma forma diferente de abordagem o Manual de Inovação do Movimento Brasil Competitivo (MBC) classifica os diversos tipos de inovação em (COMPETITIVO, 2008):

a) **Inovação em Produtos:** quando há introdução de um novo produto ou serviço, há melhoramento na especificação técnica, nos componentes ou materiais já existentes, atendendo melhor às necessidades do mercado;

b) **Inovação em Processos:** quando há implementação de novas formas de fabricação ou de distribuição de bens e novos meios de prestação de serviços;

c) **Inovação Organizacional:** quando são adotados ou desenvolvidos novos métodos organizacionais nas práticas de negócio empresarial, sejam no local de trabalho ou nas relações com o mercado, fornecedores e distribuidores;

d) **Inovação em Marketing ou Modelos de Negócio:** quando são adotados ou desenvolvidos novos métodos de marketing e comercialização, com mudanças significativas na concepção do produto ou na sua embalagem, no posicionamento do produto no mercado, em sua promoção ou na fixação de preços.

No que diz respeito à classificação, duas são as formas utilizadas: inovação radical e inovação incremental. As inovações radicais são aquelas que produzem um grande impacto econômico ou mercadológico. Já as incrementais dizem respeito aos aprimoramentos técnicos de base contínua.

O Manual do MBC explica as duas formas de inovação como (MATTOS, 2008):

- **Inovação incremental:** quando existe melhoria no que se faz e/ou aperfeiçoamento do modo de fazer o produto, processo ou serviço, por acrescentar novos materiais ou desenhos ou embalagens que tornam mais práticos produtos ou processos já anteriormente existentes, ou ainda, quando se acrescenta utilidades diferenciadas ou melhoradas evidentes que os tornam mais desejados pelos seus clientes/consumidores.
- **Inovação radical:** quando as novas ideias resultam em produtos ou processos totalmente novos, que antes não existiam no mercado.

Christensen e Overdorf (2000) introduziram o conceito de inovações sustentáveis e de ruptura, as quais se relacionam com o mercado de atuação.

- **Inovações sustentáveis:** são aquelas que fazem com que um produto ou serviço tenha um melhor desempenho junto a um mercado já existente.
- **Inovação de ruptura:** cria um mercado inteiramente novo pela introdução de um novo produto ou serviço, sendo que inicialmente o seu desempenho é bem inferior ao que é demandado pelo mercado (ANDREASSI, 2004).

Segundo Tidd, Bessant e Pavitt, (2008), o processo de inovação é um processo chave do negócio da empresa, associado com a renovação e a evolução do negócio, renovando o que a empresa oferece e como ela cria e entrega àquela

oferta. Inovação, portanto, é uma atividade essencial ligada à sobrevivência e ao crescimento.

A inovação tem a capacidade de agregar valor aos produtos de uma empresa, diferenciando-a, ainda que momentaneamente, no ambiente competitivo. Ela é ainda mais importante em mercados com alto nível de competição e cujos produtos são praticamente equivalentes entre os ofertantes. Aqueles que inovam neste contexto, seja de forma incremental ou radical, de produto, processo ou modelo de negócio, ficam em posição de vantagem em relação aos demais.

2.2.3. Inovação Sustentável

Casagrande Jr. (2008) destaca que a inovação tecnológica está sendo vista somente pelo lado da economia ortodoxa: produção → consumo → crescimento econômico sociedade. O autor definiu como inovação tecnológica sustentável a “interação entre inovação e educação tecnológica ajustada a nossa realidade e associada aos princípios do desenvolvimento sustentável”. O autor pontua que a mesma pode acontecer por meio de estratégias de transição, sob uma plataforma de práticas interdisciplinares e esforços interinstitucionais que englobe órgãos públicos de educação, sociedade civil e iniciativa privada. Parcerias como as propostas acima devem ter por objetivo formar agentes de transformação e implantar processos sustentáveis.

Para atender aos preceitos da sustentabilidade, as inovações devem gerar resultados econômicos, sociais e ambientais positivos, ao mesmo tempo. Cabe salientar a dificuldade e, conciliar estes interesses sem perder competitividade, considerando-se as incertezas que as inovações trazem, essencialmente quando muito radicais ou com elevado grau de novidade (BARBIERI, *et al.*, 2010).

Barbieri, *et al.*, (2010) define inovação sustentável como a introdução (produção, assimilação ou exploração) de produtos, processos produtivos, métodos de gestão ou negócios, que sejam novos ou significativamente melhorados para a organização em questão, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais, quando comparados com alternativas pertinentes, não apenas reduzindo impactos negativos, mas avançando em benefícios líquidos.

Casagrande Jr. (2008) cita que a educação e inovação tecnológica norteadas pela conservação ambiental geram processos de eficiência capazes de economizar

energia e recursos, diminuir a poluição, aumentar produtividade buscando sempre uma distribuição equitativa de renda e evitar o desperdício de capital. Bons exemplos destas práticas de inovação sustentável são mudanças em *design* de produto, aplicando-se a tecnologia da informação em controle e medição, além de utilizar de novos materiais de baixo impacto ambiental, aproveitar materiais reciclados, emissão zero, uso de substâncias de base natural e capacitação de trabalhadores conscientes do processo.

O mesmo autor avalia o contexto brasileiro, onde claramente vislumbram-se inúmeras oportunidades de desenvolver novas tecnologias relacionadas aos resíduos sólidos. Há uma grande necessidade de soluções tecnológicas que busquem resolver os problemas de tratamento de lixo adequado e saneamento básico, que são precários em mais de 70% dos municípios brasileiros.

Casagrande Jr (2004) apresentou em seu trabalho a Metodologia ZERI – um programa da Universidade das Nações Unidas (UNU) e da Fundação ZERI, que visa uma abordagem ambientalmente sustentável para a satisfação das necessidades humanas (água, alimentação, energia, empregos, habitação, entre outras). Esta metodologia aplica a ciência e a tecnologia, envolvendo também o governo, a academia e empresários. Os principais conceitos de Emissão Zero se resumem em nenhum resíduo líquido, gasoso ou sólido, a utilização de todos os insumos e matérias-primas na produção, e em último caso, quando é inevitável a geração de resíduo, este é utilizado por outras indústrias, criando valor agregado. O objetivo do programa é solucionar os problemas de resíduos, aumentando produtividade e gerando postos de trabalho.

Barbieri (2010) cita como exemplo a empresa Native, uma agroindústria, que produz alimentos orgânicos de modo rentável usando processos agrícolas e industriais compatíveis com o desenvolvimento sustentável. A excelente produtividade da empresa, que garante sua sustentabilidade econômica, foi obtida por meio de um grande esforço de inovação em produto, processo, gestão e no modelo de negócio.

2.3. PROPRIEDADE INTELECTUAL

2.3.1. Propriedade Industrial

A Propriedade Intelectual engloba o campo de Propriedade Industrial, os Direitos Autorais e outros Direitos sobre bens materiais de vários gêneros, tais como os Direitos Conexos, e as Proteções *Sui Generis* (INPI, 2015). A propriedade industrial é o conjunto de direitos que compreende as patentes de invenção e de modelo de utilidade, os registros de desenho industrial, as marcas e as indicações geográficas, bem como a repressão da concorrência desleal.

O objetivo da propriedade industrial é garantir o direito de exploração comercial da propriedade intelectual aos titulares por período determinado de tempo, restringindo o uso não autorizado por terceiros. Do lado da empresa, a patente consiste em uma reserva de mercado garantida pela patente durante sua vigência, sobre uma novidade sob o ponto de vista técnico-científico. Para a universidade, o patenteamento e a exploração comercial de determinada tecnologia garante recursos à universidade para o financiamento de novas pesquisas, além da divulgação e aproximação da pesquisa acadêmica com as necessidades de mercado (FUJINO; STAL, 2004).

Os direitos de Propriedade Industrial podem medir a produção da atividade inovadora de um país, a partir das invenções. Apesar da invenção em si não ser considerada inovação, existe estreita relação entre patentes e saída inovadora. Sendo assim, publicações científicas que estudam os fatores e a influência da inovação utilizam tal indicador (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2002).

Patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgados pelo Estado aos inventores ou autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação. Em contrapartida, o inventor se obriga a revelar detalhadamente todo o conteúdo técnico da matéria protegida pela patente (PUHLMANN; MOREIRA, 2004).

A patente pode ser considerada uma ferramenta para a disseminação da informação, podendo ser utilizada como: (a) fonte de dados para os indicadores do grau de desenvolvimento tecnológico e econômico; (b) fonte de acompanhamento da evolução tecnológica; (c) fonte de identificação detentores de tecnologias

concorrentes, tendências tecnológicas e mercados potenciais. A informação sobre a patente está disponível após a publicação. A propriedade é limitada temporalmente; findo o prazo de vigência, o conhecimento protegido na patente poderá ser utilizado livremente (MARTINS *et al.*, 2014).

As patentes podem ser divididas em Patentes de Invenção ou Patentes de Modelo de Utilidade. As patentes de invenção têm como requisitos a novidade, a aplicação industrial, a atividade inventiva e a suficiência descritiva, seu prazo de vigência é de 20 anos a partir da data do depósito. As patentes de modelo de utilidade são objetos de uso prático, ou parte desses, suscetível de aplicação industrial, que apresente nova forma ou disposição, envolvendo o ato inventivo, que resulte em melhoria funcional no seu uso ou fabricação. O prazo de vigência das patentes de modelo de utilidade é de 15 anos (INPI, 2015).

Pulhman e Moreira (2004) colocam que as patentes podem ser utilizadas como fonte de informação para diversas finalidades, dentre as quais se destacam: (a) identificação de alternativas tecnológicas; (b) identificação de desenvolvimentos tecnológicos já realizados; (c) avaliação de mercados futuros, uma vez que o patenteamento costuma preceder a comercialização em alguns anos; (d) avaliação de tecnologias emergentes, de modo a caracterizar as tendências do desenvolvimento tecnológico de determinada área do conhecimento; (e) avaliação das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento e detecção de mudanças estratégicas de instituições e empresas.

2.3.2. Patente como fonte de informação

Como qualquer título de propriedade, a patente é o que torna este título público. Os vários escritórios de patentes, portanto, têm bases de dados para tornar os depósitos de patentes públicos. No entanto, a descrição da invenção em muitos casos é muito superficial, do mínimo necessário, para dar direito ao título de propriedade. A descrição tem de ser capaz de informar completamente como reproduzi-la. Desta forma, nestas bases de dados, não estão apenas as invenções que foram validadas, mas também pedidos de registro de patentes de invenções que não foram bem sucedidas (QUONIAM; KNISS; MAZIERI, 2014).

Em comparação com outras fontes de informação tecnológica, a documentação de patentes apresenta vantagens consideráveis, dentre as quais: (a)

divulgar informação mais rapidamente do que outras fontes porque na maioria dos países os documentos são publicados antes de sua concessão e, assim, a tecnologia mais recente chega ao conhecimento do público mais rapidamente; (b) possuir uma estrutura uniforme relativa ao “layout” do documento e aos dados bibliográficos, que são identificados por códigos utilizados por todos os países por meio da Classificação Internacional de Patentes (IPC), o que permite uma recuperação fácil da tecnologia desejada, bem como fornece uma base para determinação de dados estatísticos de certos parâmetros tecnológicos (WIPO, 2015) (WIPO, 2015).

Schwander (2004) destaca que quando pesquisadores desenvolvem um produto ou uma tecnologia, geralmente procuram informações sobre o estado da técnica nas fontes clássicas de informação como: anais de congressos, artigos de periódicos, ou contato com colegas e assim, desprezam o conteúdo de documentos de patentes por considera-las mais como um instrumento comercial do que uma fonte de informação.

2.3.3. Classificação Internacional de Patentes - IPC

A Classificação Internacional de Patentes (IPC) é uma descrição padrão da tecnologia. Cada patente deve ser descrita pelo IPC. A Classificação posta em prática pelo Acordo de Estrasburgo relativo à Classificação Internacional de Patentes de 24 de Março de 1971, alterada em 28 de Setembro de 1979. Para o IPC, a tecnologia divide-se em oito seções com aproximadamente 70.000 subdivisões descritas por um símbolo. A Figura 3 representa o desmembramento da classificação.

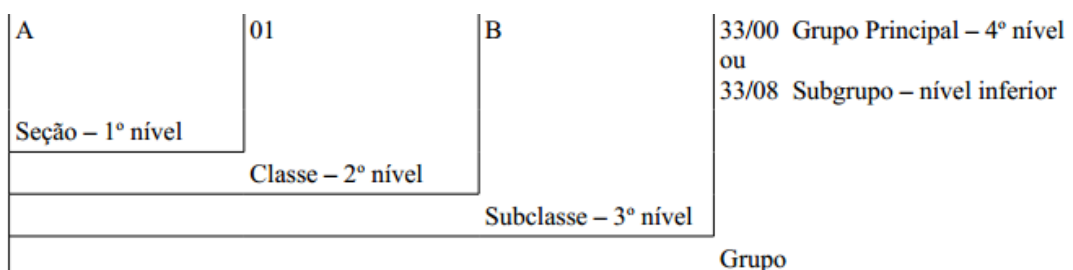


Figura 3: Classificação Internacional de Patentes - IPC

Fonte: http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/static/pdf/guia_ipc/br/guide/guide_ipc.pdf

A Figura 4 detalha as seções. O sistema de classificação é muito útil para procurar documentos de patentes no contexto da pesquisa sobre o "estado da arte" (QUONIAM; KNISS; MAZIERI, 2014).

As versões para download desta classificação estão disponíveis (<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/Version20150101/index.html>).

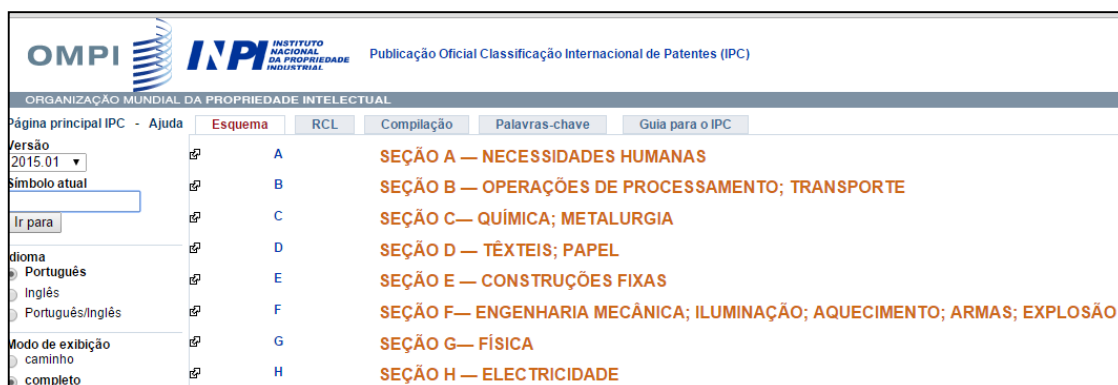


Figura 4: Detalhamento das seções da classificação - IPC

Fonte: <http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/#refresh=page>

2.4. PARTICULARIDADES DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O objetivo deste item é apresentar as particularidades relacionadas ao tratamento de esgotos. Será apresentada a necessidade de tratamento de esgoto, passando pelas suas características, classificação e finalizando com as técnicas mais utilizadas para sua recuperação.

2.4.1. Esgoto

A palavra esgoto costumava ser utilizada para definir tanto a tubulação condutora, como também o próprio líquido que flui por estas canalizações. Atualmente este termo é usado para caracterizar os efluentes provenientes das diversas das origens das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Segundo Jordão e Pessôa (2011), a aversão do termo "esgoto" tem levado autores ao emprego do termo "águas residuárias", que expressa a tradução literal da

palavra "wastewater", usada em inglês para substituir o rejeitado termo "sewage". Esta tendência tem proliferado o uso da sigla ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuárias) conflitando com a sigla ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), tradicional e recomendada pela ABNT.

2.4.2. Tratamento de Esgoto

Com o crescimento populacional, a quantidade de esgotos lançados nos rios tomou tamanha dimensão que a capacidade de autodepuração desses rios passou a ser insuficiente para que fosse possível a captação de água com qualidade para o tratamento e abastecimento público. Assim, sistemas de tratamento que reproduzem os fenômenos naturais de degradação da matéria orgânica presente no esgoto, de forma mais controlada e rápida, foram introduzidos após sistemas de esgotamento sanitário, entre as etapas de afastamento e lançamento nos corpos d'água e são intitulados estações de tratamento de esgotos.

As estações de tratamento de esgotos visam à remoção de matéria orgânica, sendo realizada por processos físicos, químicos e biológicos, nos quais as bactérias são os principais microrganismos responsáveis pela degradação ou a estabilização da matéria orgânica.

O esgoto sanitário é composto de mais de 99,9% de água, sendo o restante (inferior a 0,1%) composto de matéria orgânica em suspensão e dissolvido (em estado coloidal e em solução), orgânico e inorgânico, bem como micro-organismos (MIKI; ANDRIGUETI; ALEM SOBRINHO, 2001).

2.4.3. Classificação do Sistema de Tratamento

Segundo Philippi Jr, *et. al.* (2004), a classificação dos sistemas de tratamento pode ser resumida nas etapas descritas a seguir.

a) **Tratamento preliminar:** remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores. A remoção da areia previne, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc.; caixas de areia, para retenção deste material; e tanques de flutuação

para retirada de óleos e graxas em casos de esgoto industrial com alto teor destas substâncias.

b) **Tratamento primário:** os esgotos ainda contêm sólidos em suspensão não grosseiros cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados por meio de mecanismos físicos, via decantadores. Os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. A eliminação média da Demanda Química de Oxigênio - DBO é de 30%.

c) **Tratamento secundário** (Processos biológicos): processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Após as fases primária e secundária a eliminação de DBO deve alcançar 90%. É a etapa de remoção biológica dos poluentes e sua eficiência permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas.

d) **Tratamento terciário:** visa à remoção de substâncias não removidas nos sistemas anteriores, como nutrientes, micro-organismos patogênicos e cor (lagoas de maturação, cloração, ozonização, radiações violetas, filtros de carvão ativo, e precipitação química). Este tipo de tratamento é muito raro no Brasil (VON SPERLING, 2005).

e) **Tratamento de lodos:** consiste na desidratação ou adequação para disposição final (leitos de secagem, centrífugas, filtros prensa, filtros à vácuo, prensas desaguadoras, digestão anaeróbia ou aeróbia, incineração, disposição no solo).

f) **Tratamento físico-químico:** utilizado para efluentes inorgânicos – remoção de sólidos e alteração das características físico-químicas, ou remoção de sólidos suspensos de efluentes orgânicos (coagulação/floculação, precipitação química, oxidação e neutralização).

2.4.4. Processo de Tratamento de Esgotos

Do mesmo modo que os poluentes contidos nos esgotos são de natureza física, química e biológica, os processos de tratamento podem ser classificados como (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2011):

a) **Processos físicos:** métodos de tratamento nos quais predomina a aplicação de força física, como por exemplo: gradeamento, peneiramento, mistura, precipitação, sedimentação, flotação e filtração;

b) **Processos químicos:** métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre devido a reações químicas, como por exemplo: floculação, adsorção e desinfecção; e

c) **Processos biológicos:** métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica, como por exemplo: remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrificação e desnitrificação.

As estações de tratamento de esgoto em geral são projetadas integrando os processos de tratamento. Cada processo é projetado para atingir o objetivo comum que é o tratamento dos efluentes (KATO *et al.*, 1999).

2.4.5. Técnicas de Tratamento de Esgotos

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos. O próprio esgoto possui grande variedade de bactérias e protozoários para compor as culturas microbiais mistas que processam os poluentes orgânicos. O uso desse processo requer o controle da vazão, a recirculação dos microorganismos decantados, o fornecimento de oxigênio e outros fatores. Os fatores que mais afetam o crescimento das culturas são a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, o fornecimento de oxigênio, o pH, a presença de elementos tóxicos e a insolação (TSUTIYA *et al.*, 2001).

A matéria orgânica do esgoto é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente, transformando-se em substâncias estáveis, ou seja, as substâncias orgânicas insolúveis dão origem a substâncias inorgânicas solúveis. Havendo oxigênio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição. Na ausência do oxigênio, a decomposição se dá pela ação das

bactérias anaeróbias. A decomposição aeróbia diferencia-se da anaeróbia pelo seu tempo de processamento e pelos produtos resultantes. Em condições naturais, a decomposição aeróbia necessita três vezes menos tempo que a anaeróbia e dela resultam gás carbônico, água, nitratos e sulfatos, substâncias inofensivas e úteis à vida vegetal. O resultado da decomposição anaeróbia é a geração de gases como o sulfídrico, metano, nitrogênio, amoníaco e outros, muitos dos quais mal cheirosos (TSUTIYA *et al.*, 2001).

A decomposição do esgoto é um processo que demanda tempo, iniciando-se com uma elevada carga de DBO, que vai decrescendo e atinge seu valor mínimo ao completar a estabilização. A determinação da DBO é importante para indicar o teor de matéria orgânica biodegradável e definir o grau de poluição que o esgoto pode causar ou a quantidade de oxigênio necessária para submeter o esgoto a um tratamento aeróbio (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

As tecnologias de tratamento de efluentes nada mais são que o aperfeiçoamento do processo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, com consumo mínimo de recursos em instalações e operação e o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado, sem deixar de considerar a dimensão da população a ser atendida. Os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em dois grandes grupos: tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O objetivo deste item é apresentar as principais tecnologias de tratamento de esgotos, atualmente utilizadas no Brasil, sem aprofundar nos aspectos conceituais, descritivos e de dimensionamento, mas apenas em suas vantagens e desvantagens.

2.4.5.1. Disposição no Solo

Sistema simplificado que requer áreas extensas nas quais os esgotos são aplicados por aspersão, vala ou alagamento, sofrendo evaporação ou sendo absorvidos pela vegetação. Grande parte do efluente é infiltrada no solo e o restante sai como esgoto tratado na extremidade oposta do terreno. A eficiência na remoção de DBO está entre 85 e 99% e a de patogênicos está entre 90 e 99%. O custo de implantação e operação é bastante reduzido e não apresenta geração de lodo. Pode gerar maus odores, insetos e vermes, além de apresentar risco de contaminação da

vegetação, no caso de agricultura, dos trabalhadores envolvidos, do solo e do lençol freático (VON SPERLING, 2005).

2.4.5.2. Lagoas de Estabilização sem Aeração

Técnica simplificada que exige uma área extensa para a instalação da lagoa, na qual os esgotos sofrem o processo aeróbio de depuração graças à existência de plantas verdes que oxigenam a água. Para reduzir a área necessária podem ser instaladas lagoas menores para processar a depuração anaeróbia. A eficiência na remoção de DBO é de 70 a 90% e de coliformes é de 90 a 99%. Os custos de implantação e operação são reduzidos, tem razoável resistência a variações de carga e o lodo gerado é removido após 20 anos de uso. Por outro lado, sofre com a variação das condições atmosféricas (temperatura e insolação), produz maus odores, no caso das anaeróbias, e insetos. Quando sua manutenção é descuidada há o crescimento da vegetação local (JORDÃO; PESSÔA, 2011; VON SPERLING, 2005).

Na Figura 5 é ilustrado um sistema de lagoas de estabilização.



Figura 5: Sistemas de Lagoas de Estabilização

Fonte: Sabesp

2.4.5.3. Sistemas Anaeróbios Simplificados

Sistemas como o filtro anaeróbio e o reator anaeróbio de manta de lodo. O primeiro é um tanque submerso no qual o esgoto, já decantado em uma fossa séptica, flui de baixo para cima para ser estabilizado por bactérias aderidas a um suporte de pedras. O segundo estabiliza a matéria orgânica usando as bactérias dispersas em um tanque fechado - o fluxo do esgoto é de baixo para cima e na zona superior há coleta de gás. O reator não necessita de decantação prévia. A eficiência na remoção de DBO e de patogênicos está entre 60 e 90%, nos dois sistemas. Ambos necessitam de pouca área para sua instalação e têm custo de implantação e operação reduzido. A produção de lodo é muito baixa e podem produzir maus odores. Estes sistemas não têm condições de atender, caso exigido, padrões muito restritivos de lançamento do efluente (CAMPOS, 1999; VON SPERLING, 2005).

Ainda nesta categoria há o biodigestor, que é um reator com um mecanismo biológico para estabilização da matéria orgânica, via bactérias anaeróbias, e outro físico para decantação das partículas. O efluente circula no reator em sentido vertical e de baixo para cima. Suas vantagens são a facilidade de operação, a rapidez na instalação e o baixo custo de implantação/operação. Entre as desvantagens está a baixa remoção de DBO, entre 60 e 70% (CAMPOS, 1999).

2.4.5.4. Lagoas de estabilização aeradas

Sistema mecanizado e aeróbio. O oxigênio é fornecido por equipamentos mecânicos - os aeradores - ou por ar comprimido por meio de um difusor submerso. A remoção do DBO é função do período de aeração, da temperatura e da natureza do esgoto. O despejo de efluente industrial deve ser controlado para não prejudicar a eficiência do processo. Os sólidos dos esgotos e as bactérias sedimentam, indo para o lodo do fundo, ou são removidos em uma lagoa de decantação secundária. O processo tem baixa produção de maus odores, sendo a eficiência na remoção de DBO de 70 a 90% e na eliminação de patogênicos de 60 a 99%. Requerem menos área do que os sistemas naturais, porém ocupam mais espaço que os demais sistemas mecanizados. O consumo de energia já é razoavelmente elevado. Em períodos entre 2 a 5 anos é necessária a remoção do lodo da lagoa de decantação (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Na Figura 6 é ilustrado um sistema de lagoas aeradas.



Figura 6: Sistema de Lagoas Aeradas

Fonte: Sabesp

2.4.5.5. Lodos ativados

Sistema mecanizado e aeróbio. A remoção da matéria orgânica é feita pelas bactérias que crescem no tanque de aeração e formam uma biomassa a ser sedimentada no decantador. O lodo do decantador secundário é retornado, por bombeamento, ao tanque de aeração, para aumentar a eficiência do sistema. O oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos superficiais ou por tubulações de ar no fundo do tanque. Tais sistemas podem operar continuamente ou de forma intermitente, e quase não produzem maus odores, insetos ou vermes. A eliminação de DBO alcança de 85 a 98% e a de patogênicos de 60 a 90%. A instalação requer área reduzida, mas envolve a necessidade de diversos equipamentos (aeradores, elevatórias de recirculação, raspadores de lodo, misturador de digestor, etc.). Seu custo de implantação é elevado devido ao grau de mecanização e tem alto custo operacional graças ao consumo de energia para movimentação dos equipamentos. Necessita de tratamento para o lodo gerado, bem como sua disposição final (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Na Figura 7 é ilustrado um sistema de lodos ativados.



Figura 7: Sistema de Lodos Ativados

Fonte: Sabesp

2.4.5.6. Filtros biológicos

A estabilização da matéria orgânica é realizada por bactérias que crescem aderidas a um suporte de pedras ou materiais sintéticos. O esgoto é aplicado na superfície por meio de distribuidores rotativos, percola pelo tanque e sai pelo fundo. A matéria orgânica fica retida pelas bactérias do suporte, permitindo elevada eficiência na remoção de DBO (de 80 a 93%). A eliminação de patogênicos está entre 60 - 90%. A instalação não requer área extensa e sua mecanização exige equipamentos relativamente simples (distribuidor rotativo, raspadores de lodo, elevatória para recirculação, misturador para digestor, etc.). O custo de implantação é alto e há necessidade de tratamento do lodo gerado e sua disposição final. Entre os inconvenientes estão a dificuldade na operação de limpeza e a possibilidade de proliferação de insetos (CAMPOS, 1999; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

2.4.5.7. Biofiltro aerado submerso

Sistema mecanizado e aeróbio. Compreende um reator biológico de culturas bacterianas que são fixadas em camada suporte instalada na parte média. O esgoto

é introduzido na base do reator, por um duto, e a aeração é suprida por tubulação também pela base. O líquido é filtrado pelo material no suporte e passa para o nível superior do reator já tratado. A remoção de material orgânico é compatível com os processos de lodos ativados e de filtros biológicos. Sua grande vantagem está na reduzida necessidade de área para instalação e na possibilidade de serem enterrados no subsolo (CAMPOS, 1999; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

2.5. LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo Santos e Tsutiya, (1997), lodos são sólidos acumulados, separados dos líquidos durante os processos de tratamento de água para abastecimento ou de esgoto, ou depositados no fundo dos rios ou outros corpos d'água.

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto como resíduos sólidos, de modo que tais resíduos devem ser devidamente tratados e dispostos sem provocar danos ao meio ambiente. Além da NBR 10004, a resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. (CONAMA, 2006)

O artigo 13 da Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico como resíduo sólido. (BRASIL, 2010)

O esgoto é classificado de acordo com sua origem, doméstica ou industrial, e apresenta 99% de água e 1% de sólido, e este 1% representa o lodo de esgoto (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001)

2.5.1. Caracterização do lodo

As diversas etapas do tratamento dos esgotos produzem lodos com características peculiares, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Característica e tipo de resíduos

Tipos de resíduos	Características
Resíduos retidos nas grades	Sólidos grosseiros; pedaços de madeira, papel, etc.
Sedimentos de caixa de areia	Material mineral: areia, terra, partículas orgânicas ligadas às minerais.
Escuma material	Material sobrenadante dos decantadores ou de alguns tipos de reatores, rico em óleos e graxas, sólidos de baixa densidade. Não deve ser misturado ao lodo, caso este venha a ser compostado ou utilizado na agricultura.
Lodo primário	Lodo obtido por sedimentação do esgoto no decantador primário. Normalmente cinza e na maioria dos casos de odor ofensivo. Pode ser digerido facilmente por vários processos. Normalmente é encaminhado a um digestor anaeróbio.
Lodo secundário (processo de lodos ativados)	Apresenta geralmente aparência floculada e com tons marrons. Se a cor é mais escura, as condições do meio se aproximam da anaerobiose. Tende à decomposição anaeróbia devido ao excesso de matéria orgânica. Pode ser digerido facilmente sozinho ou misturado com lodo primário, no digestor.
Lodo digerido aeróbio (ativado e primário)	Apresenta cor marrom escura e aparência floculada, odor inofensivo e é fácil de ser drenado.
Apresenta cor marrom escura e aparência floculada, odor inofensivo e é fácil de ser drenado.	Apresenta cor marrom escura e aparência floculada, odor inofensivo e é fácil de ser drenado.

Fonte: (VON SPERLING, 2005)

O lodo primário e secundário são os principais e mais problemáticos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto. Devido ao seu grande volume de produção, difícil tratamento e disposição final, o lodo de esgoto constitui em um complexo problema enfrentado pela Engenharia Sanitária (DUARTE, 2008). Este lodo quando é utilizado na agricultura pode ser denominado bio sólido (FERNANDES; SILVA, 1999).

Alguns autores divergem em relação ao custo operacional que o ciclo do lodo representa em um projeto de estação de tratamento. Fernandes e Silva (1999) citam que este custo pode chegar a 60%. Já Ferreira e Andreoli (1999) salientam que apesar do volume do lodo ser de 1 a 2% do esgoto tratado, o custo varia entre 30 e 50%. Assim, independente do valor exato do custo operacional, o manejo deste resíduo corretamente é de vital importância para o sucesso operacional de uma estação de tratamento de esgoto.

O lodo é composto de grande quantidade de matéria orgânica, entre 40 e 70%, macronutrientes, fósforo e nitrogênio, que podem variar muito, e micronutrientes, como zinco, cobre, manganês, ferro e molibdênio, no entanto há

insuficiência de potássio, sendo necessário adicionar esse elemento para utilização no solo (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Além de matéria orgânica, é verificada no lodo a presença de agentes patogênicos, que quando descartados de maneira irregular, sem o tratamento adequado, geram poluição dos solos e água, propiciando a multiplicação de microrganismos que podem causar doenças a animais e seres humanos (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

O tratamento do lodo requer bastante cuidado não apenas pela questão ambiental envolvida nesse processo, mas também pelo fator econômico. Para isso é preciso empregar técnicas que sempre busquem suprimir o máximo possível de água da composição do lodo. Quanto mais concentrado for o lodo, maior será a economia de custos com o seu transporte (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

2.5.2. Gerenciamento do Lodo

A necessidade de tratar do esgoto urbano é fator importante para se manter a qualidade dos recursos hídricos e a saúde humana. O processo tratamento do esgoto ocorre nas ETEs e como subproduto gera-se um resíduo sólido conhecido como lodo (LEE; SANTOS, 2011).

O termo “lodo” é utilizado para designar os produtos sólidos do tratamento de esgotos. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada lodo biológico e secundário, composto principalmente de sólidos biológico, e por esta razão também denominado lodo de esgotos.

As destinações finais para esse resíduo são comumente os aterros sanitários, aplicações na agricultura e incineração. Porém, devido ao grande volume de lodo produzido diariamente, aliados ao crescimento populacional e a tendência da universalização dos serviços de saneamento básico (PLANSAB), a quantidade gerada de lodo aumentará de tal forma que somente as aplicações tradicionais de destinação final do lodo serão inviáveis econômica e ambientalmente.

A liberalidade no uso dos aterros sanitários está com os dias contados com a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305), que irá restringir, em 2014, a utilização dos aterros sanitários apenas para resíduos últimos, ou seja,

aqueles que não são passíveis de nenhuma forma de reuso ou reciclagem (LEE; SANTOS, 2011).

2.5.2.1. Tendências do Gerenciamento do Lodo no Brasil, nos EUA e na Europa

Nos países do primeiro mundo, a produção de lodo tem sofrido incrementos, devido à elevada taxa de cobertura dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Ao mesmo tempo, as exigências quanto à qualidade do lodo estão se tornando cada vez maiores, em função dos potenciais impactos ambientais.

A Tabela 2 apresenta uma projeção realizada pela European Commission sobre o aumento de lodo para o ano 2020.

A disposição em aterros tem sido vista como prática em extinção em muitos países. A ela ainda estão associados custos crescentes de transporte e às restrições ambientais. Diante desse fato, a reciclagem do lodo tem sido incentivadas por políticas públicas, pois se trata de uma opção mais econômica e ambientalmente mais adequada. A aplicação agrícola e o reuso industrial exemplos de reciclagem do lodo.

Por sua vez, a incineração tem sofrido restrições nos Estados Unidos, embora se tenha verificado um aumento da eficácia e da economia de energia nos processos. Na Europa, entretanto, percebe-se uma tendência de crescimento de uso dessa opção tecnológica (ZAHA; DUMITRESCU, 2008; FERNANDES *et al.*, 2001).

Tabela 2: Projeção da evolução do lodo e disposição no continente europeu.

País	2010					2020				
	Lodo	Uso Agrícola	Incine-ração	Aterro	Outros	Lodo	Uso Agrícola	Incine-ração	Aterro	Outros
	ton/ano	%	%	%	%	t/ano	%	%	%	%
Bulgária	47.000	50	0	30	20	151.000	60	10	10	20
Chipre	10.800	50	0	40	10	17.620	50	10	30	10
República Checa	260.000	55	25	10	25	260.000	75	20	5	5
Estônia	33.000	15	0	0	85	33.000	15	0	0	85
Hungria	175.000	75	5	10	5	200.000	60	30	5	5
Letónia	30.000	30	0	40	30	50.000	30	10	20	30
Lituânia	80.000	30	0	5	65	80.000	55	15	5	25
Malta	10.000	0	0	100	0	10.000	10	0	90	0
Polónia	520.000	40	5	45	10	950.000	25	10	20	45
Romênia	165.000	0	5	95	0	520.000	20	10	30	40
Eslováquia	55.000	50	5	5	10	135.000	50	40	5	5
Eslovênia	25.000	5	25	40	30	50.000	15	70	10	5
Áustria	273.000	15	40	0	45	280.000	5	85	0	10
Bélgica	170.000	10	90	0	0	170.000	10	90	0	0
Dinamarca	140.000	50	45	0	0	140.000	50	45	0	0
Finlândia	155.000	5	0	0	95	155.000	5	5	0	90
França	1.300.000	65	15	5	15	1.400.000	75	15	5	5
Alemanha	2.000.000	30	50	0	20	2.000.000	25	50	0	25
Grécia	260.000	5	0	95	0	260.000	5	40	55	0
Irlanda	135.000	75	0	15	10	135.000	70	10	5	10
Itália	1.500.000	25	20	25	30	1.500.000	35	30	5	30
Luxemburgo	10.000	90	5	0	5	10.000	80	20	0	0
Holanda	560.000	0	100	0	0	560.000	0	100	0	0
Portugal	420.000	50	30	20	0	750.000	50	40	5	5
Espanha	1.280.000	65	10	20	0	1.280.000	70	25	5	0
Suécia	250.000	15	5	1	75	250.000	15	5	1	75
Reino Unido	1.640.000	70	20	1	10	1.640.000	65	25	1	10

Fonte: European Commission, (2010)

O Quadro 2 mostra as tendências do gerenciamento de lodo nos Estados Unidos e na Europa.

Quadro 2: Tendências do gerenciamento do lodo nos EUA e na Europa.

Processos	USA	Europa
Produção de lodo	↑	↑
Processos mais eficazes de secagem	↑	↑
Processos mais avançados de beneficiamento e higienização	↑	↑
Reciclagem de esgoto	↑	↑
Disposição em aterros	↓	↓
Incineração	↓	↑
Disposição oceânica	Banida	↓
Exigências legais	↑	↑
Níveis de metais no lodo	↓	↓
Eficiência energética e recuperação de energia	↑	↑
Terceirização na gestão de lodos	↑	↑
Custos da gestão de lodos	↑	↑
Exigências da sociedade em relação às condições ambientais	↑	↑
Exigência dos agricultores em relação à qualidade dos lodos	↑	↑

(↑ crescente; ↓ decrescente)

Fonte: Adaptado de; (ZAHA; DUMITRESCU, 2008)

No Brasil, o gerenciamento do lodo tem sido bastante negligenciado. Por vezes, no momento da concepção da estação de tratamento de esgotos, o sistema de tratamento e disposição final do lodo não é adequadamente detalhado. Dessa forma, a gestão tem sido realizada sem planejamento e, muitas vezes, de forma emergencial pelas operadoras. Por este motivo, opções inadequadas de disposição final têm sido utilizadas, não sendo incomum o lançamento do lodo nos corpos receptores, de forma a comprometer os benefícios dos investimentos realizados nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos (FERNANDES *et al.*, 2001).

A legislação brasileira tem passado por importantes ajustes no tocante aos critérios adotados para o uso do lodo de ETE's em áreas agrícolas, objetivando a melhoria da qualidade do solo, a disposição final adequada do lodo gerado e a minimização de riscos à saúde humana e ambiental. As diretrizes foram estabelecidas pela resolução CONAMA 375/2006 e definem as seguintes

metodologias para redução de contaminantes: digestão anaeróbia, digestão aeróbia, compostagem, estabilização química e secagem, seguida de incorporação no solo, além de procedimentos para o controle de agentes patogênicos para enquadramento do lodo como classes A e B (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

Em termos de investimentos públicos no setor de saneamento ambiental, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) surge como importante mecanismo de fomento com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

2.5.3. Tratamento do lodo

O número de estações de tratamento de esgotos vem aumentando consideravelmente no país devido à maior conscientização da população para os problemas ambientais, ao maior controle ambiental e ao adensamento populacional. Inerente a esse aumento, está uma maior produção de lodo, gerando, então, problemas com a destinação final deste. Diante disso, buscam-se estratégias para reduzir o volume de lodo (MIKI; SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

A Figura 8 apresenta as unidades operacionais de uma ETE que produzem lodos e as unidades que compõe o tratamento do lodo.



Figura 8: Unidades de processamento de lodo

Fonte: Adaptado pelo autor (Sabesp, 2009)

2.5.3.1. Adensamento do Lodo

O adensamento consiste em aumentar a concentração de sólidos no lodo, removendo parte do volume de água por meios físicos (MIKI; SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

Como o lodo proveniente das ETEs convencionais ainda apresenta grande quantidade de água em sua composição, o adensamento e todas as formas de redução do teor de água se tornam bastante interessantes. Tais processos reduzem consideravelmente o volume de lodo direcionado a processos posteriores, melhorando sua eficiência. Além disso, tem-se economia no transporte, o manuseio é normalmente facilitado e o espaço requerido para a disposição final é reduzido.

Os processos de adensamento mais comuns são: por gravidade, por flotação, por centrífugas, de esteiras e de tambor rotativo (MIKI; SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

2.5.3.2. Condicionamento

O condicionamento do lodo pode ser feito por processos químicos ou físicos. O objetivo é formar agregados de partículas, de modo a facilitar a separação das

fases líquido-sólida do lodo. O processo consiste basicamente na desestabilização das partículas e posterior floculação (VON SPERLING, 2005).

Fatores físicos, químicos e biológicos afetam o condicionamento. Entre os fatores químicos, citam-se o pH, a concentração dos sólidos e a carga superficial; entre os físicos, a distribuição e o tamanho das partículas e o grau de mistura; e entre os biológicos, a fonte e a natureza dos sólidos. Alguns desses processos também desinfetam e alteram os odores (MIKI *et al.*, 2006).

Trata-se de um processo que, normalmente, antecede o desaguamento, pois, com os flocos já formados, a captura de sólidos nos sistemas de desidratação do lodo é melhorada. Miki *et al.* (2006) cita em seu trabalho, que o condicionamento químico seguido do desaguamento pode ajudar a diminuir a umidade do lodo de 90 a 99% para 65 a 80%, dependendo da natureza dos sólidos tratados.

Para Von Sperling (2005), os principais processos utilizados são o condicionamento químico e o condicionamento térmico.

2.5.3.3. Desaguamento de lodos

O desaguamento é um processo físico e tem como fundamento a redução do teor de água presente no lodo. Os métodos mais utilizados são os filtros-prensa, as centrífugas, os leitos de secagem e as lagoas de secagem. A área disponível e o tipo do lodo são as variáveis determinantes do método a ser utilizado.

Segundo Malta (2001), a capacidade de desaguamento varia com o tipo de lodo e está diretamente relacionada com o tipo de sólido e a forma com que a água está ligada às partículas do lodo. O desaguamento traz benefícios devido à redução de umidade, pois aumenta o poder calorífico, tornando-se um processo interessante como antecessor à incineração. Caso o destino final seja um aterro sanitário, se ganha com a redução da produção de chorume, dado o mesmo grau de estabilização do lodo.

2.5.3.4. Estabilização

Os objetivos da estabilização do lodo são: diminuir a presença de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (MIKI *et al.*, 2006). Em outras palavras, busca-se a redução de sólidos voláteis, diminuindo

a produção de odores e, assim, a atração a insetos e animais vetores de doenças (MIKI; SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

Para tanto, são utilizados processos químicos, físicos e biológicos, como a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia, a estabilização com cal e a compostagem (VON SPERLING, 2005).

2.5.3.5. Higienização

Como todo resíduo de origem animal, o lodo contém microrganismos patogênicos. A higienização do lodo se torna bastante interessante quando a disposição final do lodo é para uso agrícola, pois alguns microrganismos podem interferir na qualidade da produção. Segundo Von Sperling (2005), os métodos mais utilizados para higienização são a compostagem, a digestão aeróbia auto térmica, a calagem, a pasteurização e a secagem térmica.

2.5.4. Alternativas de Disposição Final do Lodo

As técnicas para o processamento do lodo dependem do tipo, capacidade, localização da estação de tratamento, operações unitárias empregadas e o método para disposição final dos sólidos. O sistema selecionado deve ser capaz de receber o lodo produzido convertendo-o num produto ecologicamente e economicamente aceitável para disposição.

Existem várias alternativas de destinação final como: os aterros sanitários, a incineração, a disposição no solo, recuperação de áreas degradadas, a reciclagem industrial e a reciclagem agrícola. Esta última tem se destacado, a nível mundial, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, por viabilizar a reciclagem de nutrientes, promover melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo e por apresentar uma solução definitiva para a disposição do lodo (ANDREOLI; PEGORINI, 1998).

A partir de uma revisão dos trabalhos existentes na literatura, fez-se um levantamento relacionado as alternativas de disposição de lodo. O resultado deste levantamento foi resumido no Quadro 3, onde são explicitados os autores estudados.

Quadro 3: Estratégias de Tratamento e Aproveitamento do Lodo

Alternativa de disposição	Vantagens	Desvantagens	Referencial Teórico
Aterro Sanitário	<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo; Acelera processo de biodegradação. 	<ul style="list-style-type: none"> Necessita de grande área; Desperdício da matéria orgânica; Distante de centro urbano; Solo deve ser impermeável; Produção de gases e lixiviado; Dificuldade e demora em recuperação da área pós-encerramento do aterro. 	<ul style="list-style-type: none"> (SANTOS, 2007) (SANTOS, 2007); (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001); (ZAHA; DUMITRESCU, 2008).
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> Redução drástica de volume; Esterilização. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto custo; Gerenciamento das cinzas; Poluição atmosférica; Destruição da matéria orgânica. 	<ul style="list-style-type: none"> (SANTOS, 2007) (SANTOS, 2007); (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001); (ZAHA; DUMITRESCU, 2008).
Disposição superficial no solo (landfarming)	<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo; Disposição de grandes volumes por unidade de área. 	<ul style="list-style-type: none"> Possível acumulação de metais pesados e/ou elementos de difícil decomposição no solo; Possível contaminação do lençol freático; Provoca mau odor; atração de vetores; Dificuldade de reintegração da área. 	<ul style="list-style-type: none"> (SANTOS, 2007) (SANTOS, 2007); (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001); (ZAHA; DUMITRESCU, 2008).
Recuperação de áreas degradadas	<ul style="list-style-type: none"> Alta taxa de aplicabilidade do lodo; Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e flora. 	<ul style="list-style-type: none"> Liberação de maus odores; Limitação de composição do lodo para tal uso; Possível contaminação da biota e do lençol freático. 	<ul style="list-style-type: none"> (SANTOS, 2007) (SANTOS, 2007); (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001); (ZAHA; DUMITRESCU, 2008).

Continua

Reciclagem agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Grande disponibilidade de áreas; • Efeitos positivos sobre solo; • Solução a longo prazo; • Potencial como fertilizante; • Resposta positiva das culturas em que é utilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitações referentes a composição do lodo e taxa de aplicação; • Contaminação do solo; • Contaminação dos alimentos; • Possível patogenicidade; • Liberação de maus odores. 	<ul style="list-style-type: none"> • (SANTOS, 2007) (SANTOS, 2007); • (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001); • (COSTA; COSTA, 2011); • (CUKJATI <i>et al.</i>, 2012); • (TSUTIYA <i>et al.</i>, 2001); • (ZAHA <i>et al.</i>, 2011); • (ZAHA; DUMITRESCU, 2008).
Reciclagem Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Destino ambientalmente seguro • Preservação das jazidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração nos processos. 	<ul style="list-style-type: none"> • (ARAÚJO <i>et al.</i>, 2008); • (ZAHA; DUMITRESCU, 2008); • (BARCELLOS <i>et al.</i>, 2012); • (CASAGRANDE <i>et al.</i>, 2008); • (DEVANT; CUSIDÓ; SORIANO, 2011); • (GARCIA <i>et al.</i>, 2011); • (CUSIDÓ; CREMADES, 2012); • (LIEW <i>et al.</i>, 2004); • (LOPES <i>et al.</i>, 2009); • (TIANA; ZUO; CHENA, 2011);

Fonte: Elaborado pelo autor

2.5.5. Legislação Vigente

A NBR 10004 (ABNT, 2004) estabelece os critérios de classificação dos resíduos de acordo com sua periculosidade. Esta característica é uma função das propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas do resíduo, e resultar em:

- a) Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Segundo a NBR 10004 os resíduos são classificados em:

a) **Resíduos classe I – Perigosos** - São aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das características seguintes, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Um resíduo é caracterizado como tóxico se uma amostra representativa dele contém contaminantes, obtidos pelo teste de lixiviação NBR 10005 (ABNT, 2004), em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F. Os resíduos gerados nas ETEs e os resíduos sólidos domiciliares, excetuando-se os originados na assistência à saúde da pessoa ou animal, não serão classificados segundo os critérios de patogenicidade.

b) **Resíduos classe II – Não perigosos** - Os resíduos não perigosos podem ser divididos em:

- **Resíduos classe II A – Não inertes** - Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- **Resíduos classe II B – Inertes** - Aqueles resíduos que, conforme o ensaio recomendado pela NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Os resíduos dos sistemas de tratamento de esgoto se enquadram como Classe II A – Não inertes.

2.6. MATERIAIS CERÂMICOS

2.6.1. Definição

O termo “cerâmica” vem da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis destes materiais são normalmente atingidas por meio de um processo de tratamento térmico a alta temperatura conhecido como ignição (OLIVEIRA; HOTZA, 2011)

Os materiais cerâmicos constituem-se de compostos metálicos e não-metálicos. Os elementos que formam as cerâmicas são, principalmente, oxigênio, silício, alumínio, ferro, magnésio, potássio e sódio, que se arranjam em estruturas tridimensionais no estado iônico (SANTOS, 1992). Segundo Callister e Rethwisch (2010) os materiais cerâmicos são tipicamente isolantes à passagem de eletricidade e de calor, e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes rudes do que metais e polímeros. Com relação ao comportamento mecânico, cerâmicas são duras, mas muito frágeis

2.6.2. Indústria Cerâmica no Brasil

Com grande oferta de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias, fizeram com que o setor evoluísse rapidamente no país. A qualidade dos produtos dos diversos segmentos cerâmicos é reconhecida internacionalmente (ABC, 2013).

A indústria cerâmica desempenha importante papel na economia do país, com participação estimada em 0,75% no PIB (Produto Interno Bruto) (PRADO; BRESSIANI, 2013). Com o desenvolvimento das indústrias brasileiras, em função da fartura de matérias-primas naturais, fontes de energia e disponibilidade de tecnologias introduzidas nos equipamentos industriais fez com que diversos tipos de produtos do ramo atingissem um patamar considerável nas exportações do país, (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica, as regiões que mais se desenvolveram foram a Sudeste e a Sul, em razão da maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, associado ainda as facilidades de matérias-primas, energia, centros de

pesquisa, universidades e escolas técnicas. A Associação Brasileira de Cerâmica destaca que outras regiões do país tem apresentado desenvolvimento, principalmente no Nordeste, onde com aumento da demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas empresas cerâmicas na região.

Prado e Bressiani (2013) destaca a concentração da indústria cerâmica estão nas regiões Sudeste e Sul conforme ilustrado na Figura 9, excetuando-se as indústrias de cimento e cerâmica vermelha que estão espalhadas por todo o território nacional.

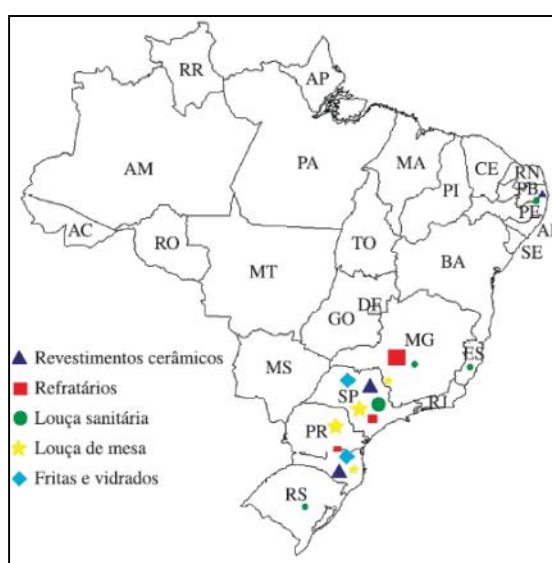


Figura 9: Distribuição geográfica da indústria cerâmica brasileira.

Fonte: (PRADO; BRESSIANI, 2013)

A Associação Brasileira de Cerâmica mapeou as instituições associadas, que possuíam site na internet, ao setor cerâmico, demonstrado no Quadro 4.

Quadro 4: Instituições ligadas ao setor de cerâmica.

Instituição	Quantidade
Associações	26
Sindicatos	51
Instituições de Ensino	45
Instituições de Pesquisas e Serviços	15
Fabricantes	418
Fornecedores	249
Fornecedores - Artistas Ceramistas	15

Fonte: (ABC, 2013).

2.6.3. Classificação dos Produtos Cerâmicos

Os grupos cerâmicos podem ser classificados com base no emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características texturais do biscoito (massa base), além de outras características cerâmicas ou técnico-econômicas.

O Quadro 5, está relacionado os diversos setores cerâmicos e seus produtos e as respectivas matérias-primas utilizadas, bem como algumas características do processo de fabricação (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JR., 2001).

Quadro 5: Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.

Classificação			Produto	Matéria-Prima								Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo				Temperatura de Sinterização (°C)					
Tipo	Grupo/Setor			Plástica			Não Plástica							Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	>1.200
				Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo												
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P										P									
			Telha	P				O						P		P							
			Agregado leve	P								O		P									
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	P	O		S	O	P										
			Porcelana Mesa		P	P	P				P		P		S	S		O					
			Porcelana Elétrica		P	P	P				P		P		S	S		O					
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P					P					
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O			P								
			Pisos via Seca	P										P			P						
			Azulejo		P	P			O	S	S		P				P						
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P		O		P						
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P				P						
Outros	4	Refratários			O					O	P												
	5	Isolantes				O				O	P												
	6	Especiais								O	P												
	7	Cimento	S						P	S	O		P										
	8	Vidro							S	P	P												
P = Processo ou composição principal (> 20 %)					S = Processo ou composição secundária (< 10 %)								O = Processo ou composição ocasional										

Fonte: adaptado (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JR., 2001)

A Associação Brasileira de Cerâmica segmenta o setor em nove grupos, demonstrado no Quadro 6, que levam em conta, sobretudo, o tipo de utilização final.

Quadro 6: Divisão do setor cerâmico

Estrutural	Refratária	Abrasivos
Branca	Térmicos	Vidro
Revestimento	Cimento	Alta tecnologia

Fonte: (ABC, 2013)

A ABNT, segundo a norma NBR-13817 (1997) - Classificação das placas cerâmicas para revestimentos, estabelece os seguintes critérios:

- a) Esmaltadas e não esmaltadas;
- b) Métodos de fabricação (por exemplo: prensado, extrusado e outros);
- c) Grupos de absorção de água;
- d) Classes de resistência à abrasão superficial, em número de 5;
- e) Classes de resistência ao manchamento, em número de 5;
- f) Classes de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- g) Aspecto superficial ou análise visual.

A Tabela 3 apresenta a classificação dos revestimentos mecânicos, segundo a NBR 13817 (1997). As normas para classificação de produtos cerâmicos definem os parâmetros de absorção de água e resistência mecânica.

Tabela 3: Classificação dos revestimentos mecânicos, segundo a ABNT – NBR 13817.

Grupo	Absorção de Água (%)	Resistência Mecânica (kgf/cm ²)	Definição do Grupo
Bla	0 < Abs ≤ 0,5	350 a 500	Porcelanato
B Ib	0,5 < Abs ≤ 3	300 a 450	Grês
BIIa	3 < Abs ≤ 6	220 a 350	Semi-grês
BIIb	6 < Abs ≤ 10	150 a 220	Semi-poroso
BIII	Abs > 10	150 a 220	Poroso

Fonte: ABNT - NBR 13817

Segundo Casagrande (2002), o uso recomendado para o produto pela ISO 13006, está demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação do produto cerâmico e o uso recomendado.

Definição do Grupo	Uso Recomendado
Porcelanato	Piso e parede
Grês	Piso e parede
Semi-grês	Piso e parede
Semi-poroso	Parede
Poroso	Parede

Fonte: ABNT - NBR 13006

2.6.4. Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas no setor cerâmico têm origem na natureza, podem-se citar minerais como: argilas, feldspatos, albitas, filitos, talcos, calcários entre outros. Podem ser empregadas na forma bruta, outras são beneficiadas e processadas, cujas características plásticas ou não plásticas são determinadas pelas quantidades predominantes dos mesmos numa amostra. Quanto maior o teor de minerais argilosos, mais plástica será a matéria-prima. (BARBOSA JR, 1997; KNISS, 2005)

Segundo Van Vlack (2003), uma observação deve ser feita, algumas matérias-primas para alguns produtos como: tijolos, concretos, refratários, etc. recebem pouco ou nenhum processamento prévio, enquanto que para outros são intensamente beneficiadas.

Existe uma tendência para o processamento intenso e seleção criteriosa das matérias-primas, com o objetivo de obter produtos com características que atendam as exigências do mercado (VAN VLACK, 2003)

2.6.4.1. Matérias-Primas Plásticas

Segundo Oliveira e Hotza (2011) as matérias-primas plásticas são constituídas por argilas, tais como as pertencentes aos grupos das caulinitas, montmorilonitas e ilitas.

Ainda segundo Oliveira e Hotza (2011) a plasticidade assume um papel importante na fabricação de cerâmicas de revestimento já que é um parâmetro que está relacionado intrinsecamente à própria argila, ao seu teor de umidade e à sua quantidade na preparação de massas cerâmicas.

A argila tem como função fornecer as características plásticas a verde, portanto, garantindo melhores propriedades durante a fase de compactação e resistência mecânica após secagem. Da mesma forma que as argilas, o caulim confere plasticidade, sendo fundamental, do ponto de vista composicional, para aumentar o teor de alumina e auxiliar na brancura do produto. (RODRIGUES *et al.*, 2004).

A plasticidade pode ser definida como a capacidade de um material ser deformado sem ruptura pela ação de uma força e, posteriormente, reter a deformação resultante quando a força aplicada for removida.

A relação entre os minerais e as composições de rochas de que a da argila é formada está representada na Figura 10. Segundo esta figura, a caulinita ocupa posição central, onde quase todos os caminhos levam a caulinita. Em princípio o tipo do argilomineral produzido é determinado em partes pela natureza do mineral primário e em partes, pelo intemperismo químico que eventualmente leva a formação do caulinita, podendo ainda ser alterada pelos processos do ambiente que está depositada (FERREIRA, 2012).

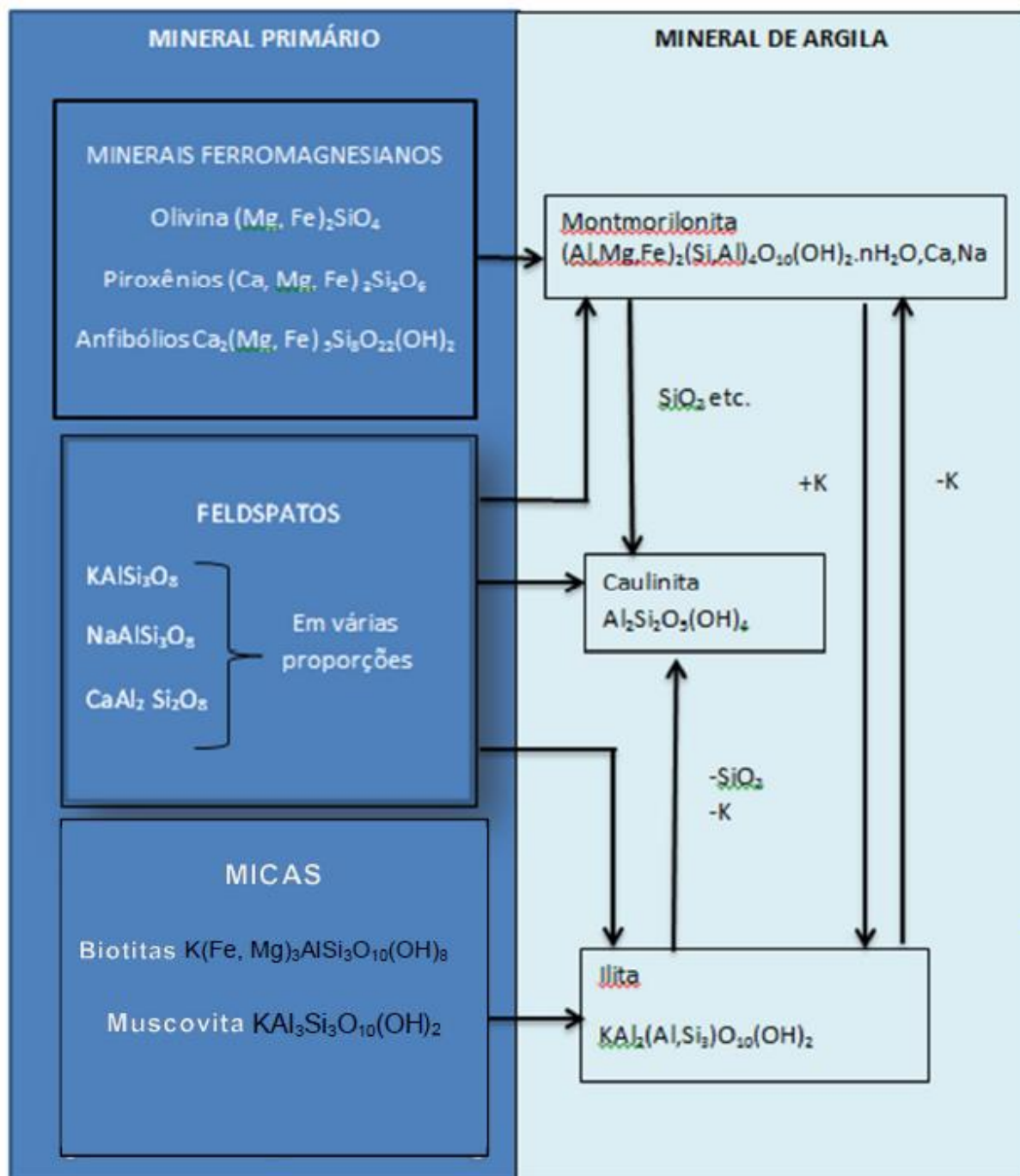


Figura 10: Relações entre minerais primários formadores de rocha e os argilominerais.

Fonte: (FERREIRA, 2012)

Os principais Argilominerais são:

- a) **Caulinitas** é formada por intemperismo ou por alteração hidrotérmica. Os tipos de caulim variam de acordo com suas características físicas: alvura, grau

de cristalização, opacidade, viscosidade, forma das partículas etc. Os minerais que mais comumente constituem o caulim, caulinita, haloisita, diquita e nacrita, têm composições químicas essencialmente similares, porém cada um deles tem diferenças estruturais. O caulim pode apresentar impurezas coloridas, como, por exemplo, hematita, que deprecia seu valor comercial, se destinado à produção de papel ou produtos cerâmicos de base clara (BERTOLINO *et al.*, 2010).

b) **Argilas Bentonitas** são argilas residuais formadas pela alteração de cinzas vulcânicas, depositadas em lagos salinos ou ambientes marinhos. Na maioria das vezes ocorrem intercaladas entre sedimentos lacustre ou marinho, que serve para preservar a estrutura montmorilonítica do argilomineral. No grupo das bentonitas encontram-se as argilas montmorilonitas que apresentam as menores partículas presentes em um argilomineral (SANTOS, 2010).

2.6.4.2. Matérias-Primas Não Plásticas

Os materiais não-plásticos atuam também na etapa de conformação e secagem, com a função de diminuir a retração das peças e ajudando na secagem. Estes materiais trabalham em equilíbrio com os materiais plásticos, controlando as transformações e deformações. Os materiais não-plásticos podem se apresentar ainda como fundentes, refratários, aditivos, vitrificantes, inertes e, na fase de queima (OLIVEIRA; HOTZA, 2011; OLIVEIRA, 2000)

a) **Matérias-primas fundentes** podem ser naturais ou sintéticas ou mesmo obtidas a partir de resíduos sólidos industriais de caráter inorgânico e que têm a finalidade de diminuir a temperatura de queima das massas cerâmicas por meio da formação de fase vítrea viscosa de baixa temperatura. As principais matérias-primas são: Feldspatos, feldspatóides sódicos ou potássicos, carbonatos (cálcio ou magnésio) (OLIVEIRA; HOTZA, 2011; RIELLA; FRANJNDLICH; DURAZZO, 2002);

b) **Matérias-primas refratárias** tradicionalmente utilizadas na fabricação de cerâmicas de revestimento são os quartzos e os quartzitos, todos com elevados teores de sílica (85 a 96% em média) (OLIVEIRA; HOTZA, 2011);

c) **Aditivos** tem finalidade básica de alterar as condições de moagem e influenciar, portanto, a reologia das suspensões cerâmicas, melhorando o

rendimento dos atomizadores e assim do pó granulado ou atomizado obtido. Esses aditivos atuam, de maneira geral, como agentes de suspensão (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

2.6.5. Processamento Cerâmico

Além da natureza química e mineralógica das matérias-primas, as características finais de um produto dependem fundamentalmente dos parâmetros tecnológicos utilizados no processo produtivo. Na definição de um processo é fundamental avaliar as relações entre os aspectos tecnológicos, de natureza física e química, e os parâmetros de trabalho nas várias etapas do processo, (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Como exemplo, as Figuras 11 e 12 representam um fluxograma do processo de produção placas cerâmica por via seca e úmida, respectivamente.

A eliminação de água por processos térmicos, como em atomizadores ou secadores, é uma etapa de maior custo no processo (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

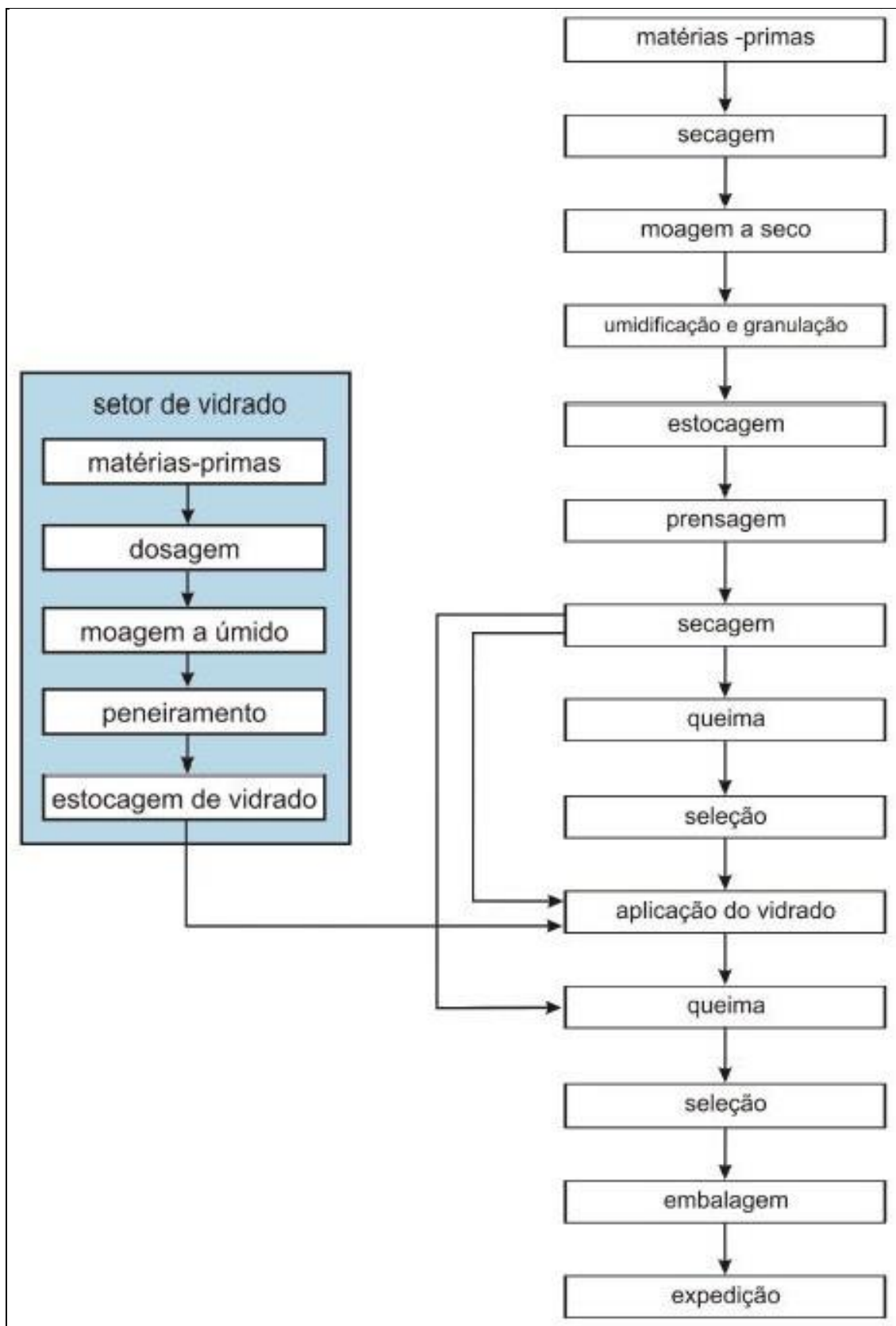


Figura 11: Processo de Fabricação de Materiais de Revestimento por Via Seca

Fonte: (ABCERAM, 2011)

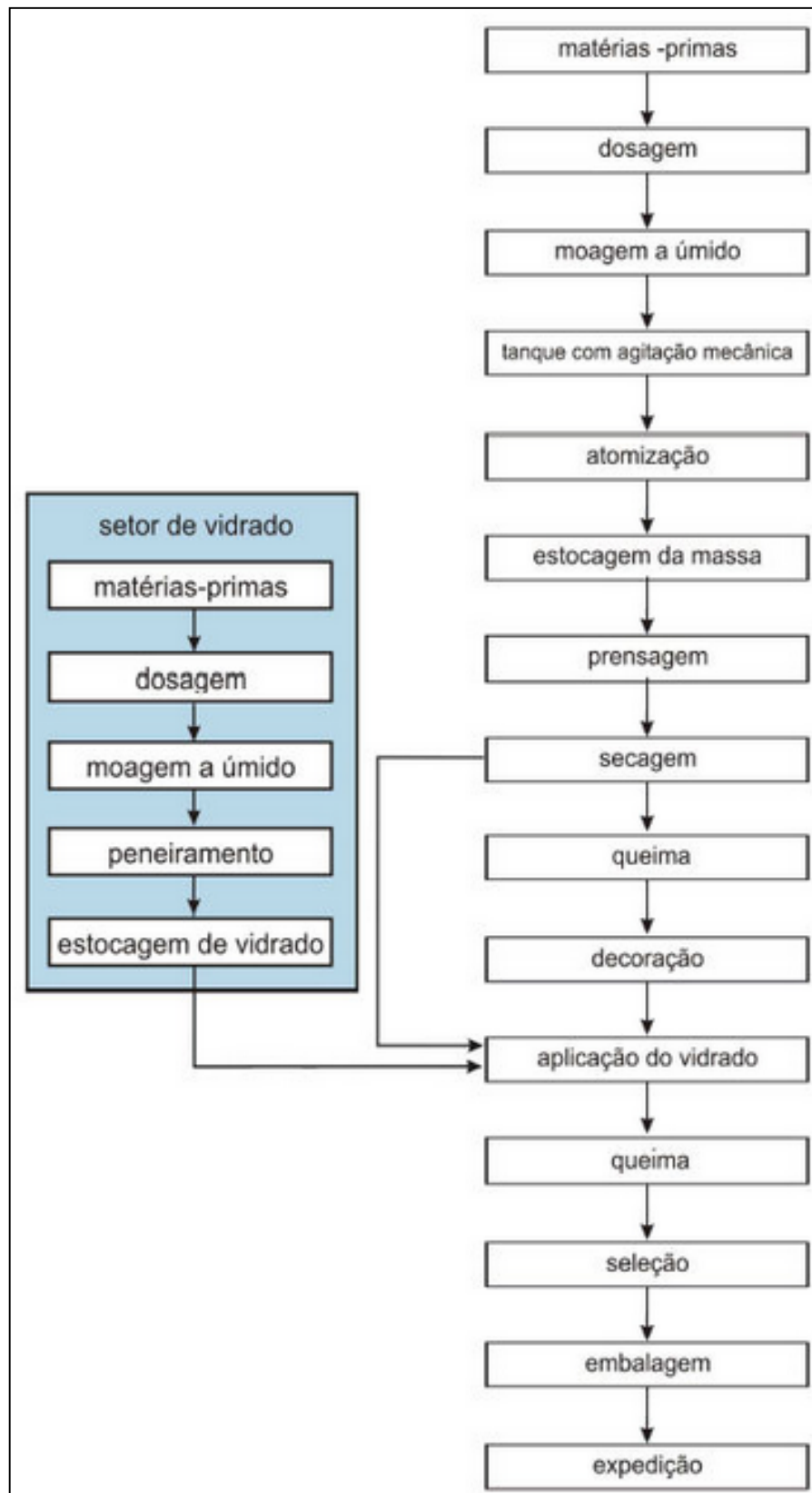


Figura 12 Processo de Fabricação de Materiais de Revestimento por Via Seca

Fonte: (ABCERAM, 2011)

Para o desenvolvimento dos componentes cerâmicos as matérias-primas são submetidas a uma sequência de etapas como: moagem, prensagem, secagem e sinterização (CASTRO, 2005).

A escolha de um processo é uma questão técnica quanto econômica e depende de vários fatores como: a) escala de produção; b) investimento inicial; c) processos existentes; d) *know-how* adquirido; e) matérias-primas disponíveis; f) propriedades dos produtos.

2.6.5.1. Moagem

O objetivo da moagem é diminuir, o máximo possível, o tamanho das partículas das matérias-primas envolvidas no processo e garantir a homogeneização da massa cerâmica dentro de uma distribuição granulométrica definida. Um alto grau de moagem pode influenciar na reatividade entre os vários componentes durante a queima devido à maior área superficial das partículas, e com isso contribuir na melhoria da resistência mecânica do material sinterizado (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

No processo de moagem são utilizadas duas tecnologias distintas para moagem das matérias-primas: moagem a seco e moagem úmida.

Na moagem a seco, as matérias-primas com teor de umidade são secas, e levadas ao moinho, onde são reduzidos a tamanhos de partículas apropriados para a fabricação do produto. Em seguida à moagem, o pó é umedecido e granulado novamente, estando pronto para a etapa posterior de conformação por prensagem (NASSETTI; PALMONARI, 1997).

O processo a úmido consiste na moagem das matérias-primas com adição de água. O maior benefício do processo é conseguir a homogeneização de um amplo espectro de matérias-primas, deixando-as extremamente finas e consequentemente obtendo-se pós muito fluidos que asseguram o enchimento ideal da forma. No final da moagem, tem-se uma suspensão aquosa das matérias-primas finamente moídas (MORAES, 2007; KNISS, 2005; SAINZ; RIPOLLÉS, 1999).

2.6.5.2. Prensagem

Segundo a NBR 13816 (1997), prensagem é o processo de fabricação de placas cerâmicas para revestimento cujo corpo é conformado em prensas, a partir de uma mistura finamente moída.

É uma das etapas mais importantes do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, pois uma má compactação dos aglomerados pode acarretar vários defeitos nas peças cerâmicas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

As partículas das matérias-primas são comprimidas até um menor volume possível, por meio de uma pressão exercida, obtendo-se um empacotamento e agregação destas partículas. O empacotamento vem a ser o preenchimento total ou parcial dos espaços, com o uso de partículas que podem ser de formatos irregulares ou arredondados. Sendo assim, pode-se obter alta densidade aparente a cru, mas que seja compatível com os problemas de desgaseificação, que podem ocorrer durante a etapa de queima.

2.6.5.3. Secagem

A operação de secagem é considerada aparentemente simples, uma vez que os fenômenos físicos que são verificados durante a evaporação de umidade residual das massas cerâmicas são evidentes e controláveis. O único problema neste caso é exclusivamente do equipamento a ser utilizado nesta etapa. Com a evaporação da água residual, nota-se um aumento na resistência mecânica da peça cerâmica crua, e que é atribuída pela densificação provocada pelo empacotamento e atração de partículas que aumentam as forças de ligação entre elas.

É um processo térmico que realiza a eliminação de grande parte da água de constituição e de adição, e depende de alguns fatores: estado do ar (temperatura e umidade), a quantidade de ar em contato com o material a secar, a superfície específica do material (relação superfície/volume) e a natureza do material.

2.6.5.4. Sinterização

A queima dos materiais cerâmicos é uma etapa do processo, onde se manifestam todas as operações realizadas durante a fabricação, aparecendo

frequentemente defeitos nas peças acabadas ocasionados em etapas anteriores, mas que até então não haviam sido detectados.

Na sinterização as partículas se aglomeram formando uma massa coerente que trazem mudanças significativas ao produto cerâmico, sugerido por Van Vlack (2003) como:

- a) Redução no volume aparente total (diminuição da porosidade);
- b) Aumento na resistência mecânica.

Pode-se definir como sinterização o processo de tratamento térmico a temperaturas elevadas, onde um sistema de partículas individuais ou um corpo poroso sofrem modificações em algumas de suas propriedades no sentido de chegar num estado de máxima densificação possível, reduzindo conseqüentemente, a porosidade do material. Devido à densificação, o material sofre uma retração (que se pode chamar de retração de queima do material), influenciando na estabilidade dimensional e na resistência mecânica final do produto cerâmico.

2.6.6. Caracterização dos Materiais Cerâmicos

Segundo Reed (1995), as propriedades dos materiais cerâmicos são determinadas pelas características atômicas e microestruturais dos materiais que os compõem. Estas características podem ser controladas pela seleção das matérias-primas, processo de fabricação e produto; é fundamental o controle para que os defeitos microestruturais sejam minimizados.

2.6.6.1. Fluorescência de Raios-X (FRX)

A espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) é uma das técnicas analíticas mais utilizadas para análise química de argilas e minerais argilosos. A indústria mineral, tanto de exploração como de beneficiamento também utiliza amplamente a FRX, especialmente para fins de controle de processo. Um dos principais atrativos da FRX é a relativa simplicidade de preparação da amostras já pulverizadas.

A composição química das matérias-primas foi determinada por fluorescência de raios-x por energia dispersiva (FRX). Para isso, utilizou-se o equipamento Espectrômetro por Fluorescência de Raios-x.

O espectrômetro de fluorescência de raios-X é um instrumento que determina quantitativamente os elementos contidos em uma determinada amostra, por aplicação de raios-X na superfície da amostra e posterior análise dos fluorescentes.

2.6.6.2. Difração de Raios-X (DRX)

A difratometria de raios-x corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontra aplicações em vários campos do conhecimento entre elas química e minas (POTTS, 1992).

A técnica de DRX é utilizada para a determinação das fases cristalinas onde estão presentes os elementos químicos. Quando o feixe de raio-x difrata em um cristal desconhecido, a medida do ângulo de difração do raio emergente pode elucidar a distância dos átomos no cristal e, conseqüentemente, a estrutura cristalina. Com a utilização de um dispositivo capaz de detectar os raios difratados, pode-se definir a forma da estrutura gerada pelo espalhamento que refletiu e difratou os raios-X, gerando o difratograma.

A técnica de difratometria de Raios-X foi empregada neste trabalho com o objetivo de identificar as fases mineralógicas presentes nas matérias-primas em termos quantitativos de fases cristalinas.

2.6.6.3. Superfície Específica

Define-se superfície específica de um solo ou de um de seus componentes, como a argila, por exemplo, como sendo a área por unidade de peso, expressa em metros quadrados por grama (m^2/g). Com a diminuição do diâmetro das partículas do solo (pelo intemperismo), a área da superfície resultante do grau de divisão aumenta consideravelmente (SCHNEIDER; NEUMANN, 2002).

O termo superfície específica total refere-se à soma das superfícies interna e externa de certos minerais de argila. A superfície externa é comum à todos minerais de argila e a superfície interna ocorre unicamente nos minerais de argila expansivos (SCHNEIDER; NEUMANN, 2002).

2.6.6.4. Retração Linear

A retração linear de sinterização depende fundamentalmente da densidade aparente da peça prensada, da composição da massa e das condições de sinterização (MELCHIADES *et al.*, 2001).

O volume da peça prensada seca é a soma do volume das partículas sólidas e dos poros entre as mesmas. Na sinterização, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa. O aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases líquidas, facilitando assim o seu “escorrimento” para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram, resultando em uma diminuição do volume de poros e na retração da peça (MELCHIADES *et al.*, 2001).

2.6.6.5. Absorção de Água

A absorção de água do material cerâmico sinterizado é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta e avaliar a fundência do material. A absorção da água é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, que a peça apresenta quando introduzidas em água em ebulição durante um período de tempo determinado (CASAGRANDE, 2002).

Segundo Chih-Huang *et al.*, (2003), a absorção de água é um fator chave no efeito da durabilidade do material cerâmico. A menor infiltração de água cerâmica determina maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material será exposto. Assim, a estrutura interna do material cerâmico precisa ter uma superfície capaz de evitar a entrada de água.

2.6.6.6. Porosidade

A porosidade final do produto sinterizado é influenciada pela porosidade inicial do material recém-formado verde, seco, da formação da fase líquida na queima, e o rearranjo das fases cristalinas (SANCHEZ-MUNÓZ *et al.*, 2002).

Quanto maior a porosidade de uma amostra, mais fácil será a sua penetração por líquidos e vapores. Usualmente, a penetração do líquido é acompanhada por um dano potencial na estrutura do material. Materiais porosos estarão sujeitos à penetração de água, com consequências danosas à resistência mecânica do material. Um alto grau de porosidade só é útil em materiais que deverão por natureza ser isolantes (ALVES *et al.*, 2009).

A porosidade também afeta o módulo de elasticidade do material. O aumento da porosidade sempre resulta num decréscimo do módulo de elasticidade (AMORÓS *et al.*, 1997). Logo, o aumento da porosidade aumenta a fragilidade dos materiais, diminuindo a sua resistência mecânica, por potencializar o surgimento de falhas no material. Uma propriedade bastante relacionada com a porosidade é a absorção de água.

2.6.6.7. Massa Específica Aparente

O aumento da massa específica aparente (densidade) durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles (porosidade intergranular).

Portanto, a densificação depende da facilidade com que os grânulos se deformam plasticamente, ou seja, da sua plasticidade. Ao se aumentar a pressão, aumenta-se o grau de deformação, mas o efeito plastificante de água continua sendo o mesmo. Entretanto, ao se aumentar a massa específica aparente (densidade), o volume de espaços vazios entre as partículas por unidade de volume da amostra diminui e, com ele, a mobilidade das partículas. Assim sendo, resta um volume cada vez menor para que a água adicionada, além de revestir a superfície das partículas e torná-las plásticas, possa se movimentar sobre elas (CASAGRANDE, 2002).

Como a massa específica aparente do compacto é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a massa permanece constante durante a compactação, a única forma de se aumentar a massa específica aparente (densidade) é por meio da redução do volume. A massa específica aparente é uma propriedade importante no processo cerâmico que está relacionada com os valores

de resistência à flexão das peças, absorção de água e retração linear (SANTIS *et al.*, 2013).

2.6.6.8. Resistência Mecânica

De uma maneira genérica, os materiais cerâmicos apresentam baixo módulo de elasticidade, são frágeis e bastante duros. A presença de fase vítrea e porosidade nas cerâmicas tradicionais reduzem consideravelmente a resistência mecânica (CASAGRANDE, 2002).

Durante o aumento da temperatura de sinterização, antes mesmo de atingir a temperatura sinterização, ocorre modificação das fases cristalinas da argila. Na temperatura máxima ocorrem reações químicas e com isso a formação de nova fase cristalina e fusões parciais (fase líquida); finalmente consolidação do material por meio da formação de uma estrutura, que em processo de resfriamento se torna rígido e com mais resistência mecânica do que o material não sinterizado.

2.7. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAS NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS

Vários trabalhos de pesquisas foram desenvolvidos comprovando a viabilidade da utilização de resíduos industriais na obtenção de materiais cerâmicos. Dentre os trabalhos realizados podem-se citar: Kniess (2005), Barcellos *et al.* (2012), Casagrande *et al.* (2008), Silva (2011), Araújo *et al.* (2008), Devant, Cusidó e Soriano (2011), Xu, Zou e Li (2010).

Kniess (2005) estudou a adição de cinzas de carvão mineral na obtenção de materiais cerâmicos de revestimento. No trabalho foram utilizadas cinzas pesadas de carvão mineral oriundos de termoelétricas. Comprovou-se no trabalho, a possibilidade de desenvolver materiais cerâmicos classificados como semi-grês (Grupo IIa - $3 < AA = 6$) com adições de até 36% de cinza pesada de carvão mineral na composição da massa cerâmica. Os materiais cerâmicos desenvolvidos com adição de cinzas pesadas apresentaram melhores valores das propriedades físicas densidade aparente, absorção de água e resistência mecânica à flexão, após a sinterização, comparada com o material padrão industrial.

O trabalho de Barcellos (2012) demonstrou a viabilidade do lodo de ETE como fonte de matéria-prima cerâmica. Os resultados de caracterização mecânica demonstram que quanto maior a adição de lodo de ETE a massa cerâmica, maiores são os ganhos de resistência à flexão a quatro pontos. Outro ponto relevante, na pesquisa, que a adição de lodo de ETE possibilitou a redução da temperatura de sinterização, contribuindo para a diminuição dos custos para a produção de um novo material.

Casagrande *et al.* (2008) estudaram o reaproveitamento de resíduos industriais na cerâmica. Lamas calcinadas do processo de anodização em substituição de aluminas, casca de arroz e carepa de aço como fontes alternativas de sílica e óxido de ferro (hematita), respectivamente. Comprovou, ainda, a incorporação de resíduos de quebra de seleção (produto acabado) sem alterações significativas nas propriedades finais do produto.

O trabalho de Silva (2011) concluiu que a adição dos resíduos de cinzas leve de carvão e lodo de estação de tratamento de água para confecção de tijolos ecológicos, do tipo prensado, configurar-se numa prática ecologicamente correta. Esse procedimento dispensa o processo de cozimento, reduz o volume de material descartado na natureza, reduz a exploração dos recursos naturais e o consumo de cimento. Os tijolos produzidos com as proporções mássicas cinza: lodo: solo: cimento de 8:20:60:12 atenderam aos requisitos mínimos quanto à compressão e à absorção de água constantes na NBR1083694.

O estudo de Araújo *et al.* (2008) que envolveram ensaios de caracterização de argila e lodo de ETE valida o resíduo como matérias-primas para a confecção de produtos cerâmicos. Os resultados mostraram que é possível introduzir 25% de lodo na argila plástica do ponto de vista da caracterização da matéria-prima. O autor cita a importância da caracterização das matérias-primas para a determinação da quantidade da mistura, tendo em vista a variabilidade da composição dos depósitos minerais.

Devante *et al.* (2011) examinou a produção de tijolos estruturais com a utilização de argila, lodo de esgoto e resíduos de madeira. O estudos apontam três vantagens para uso dos resíduos: o primeiro de valorização do resíduo, segundo imobilização de metais pesados e o terceiro apontou a redução dos custos. Comprovou também que utilização do diagrama pseudo ternário (Rede Simplex) na

formulação da massa cerâmica. Os autores chegaram a uma composição de 10% de lodo, 10% de resíduos de madeira e 80% de argila como ótimo.

O estudo de Xu *et al.* (2010) concluiu a diminuição na solubilidade dos metais pesados pode ser obtida na sinterização do tijolo. Os metais pesados encapsulados no material cerâmico são em formas estáveis e não podem ser facilmente libertados para o ambiente.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira foi avaliada a viabilidade técnica de incorporação de lodo de ETE para a obtenção de materiais cerâmicos de revestimento. Na segunda parte, o foco foi estudar os aspectos relacionados à inovação na valorização do lodo de ETE como matéria-prima para a indústria cerâmica por meio de informações patentárias em banco de dados de patente.

A Figura 13 apresenta as etapas que compõem a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. A seguir cada etapa será descrita detalhadamente.

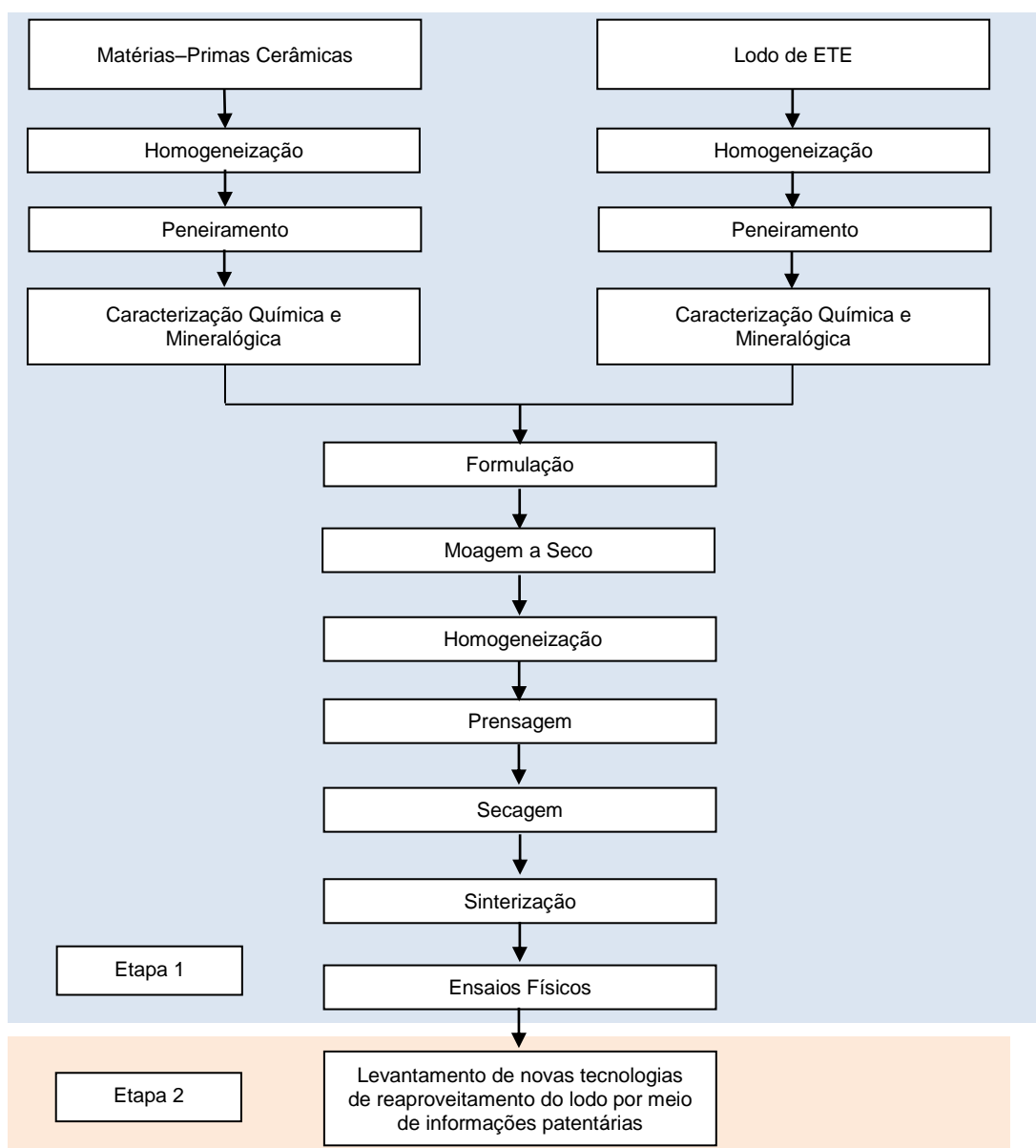


Figura 13: Fluxograma da metodologia empregada.

3.1. MATÉRIAS-PRIMAS

3.1.1. Lodo de Esgoto

Serão empregadas neste estudo, amostras de lodo desidratado do secador térmico, provenientes da ETE Guararema - Sede, localizada no município de Guararema - SP e operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp.

A Figura 14 ilustra o secador térmico e o acondicionamento do lodo desidratado.



Figura 14: Detalhe do secador térmico e do lodo

Fonte: Autor

A Figura 15 ilustra o detalhe do lodo desidratado



Figura 15: Lodo desidratado

Fonte: Autor

A estação de tratamento de esgotos domésticos - ETE Guararema - possui o processo de tratamento de lodos ativados por batelada.

A estação de tratamento de esgotos é composta por:

a) Tratamento preliminar:

- Gradeamento mecanizado para remoção de sólidos;
- Caixa de areia mecanizada.

b) Tratamento secundário:

- Reator aeróbio com sistema de microbolhas;
- Sistema de sedimentação;

c) Tratamento da fase sólida:

- Adensador gravimétrico de lodo;
- Desidratação mecânica de lodos por centrifugação;
- Secador térmico de lodo;

d) Tratamento final:

- Sistema de desinfecção com caixa de contato e cloro gasoso.

3.1.2. Matérias-Primas Cerâmicas

As matérias-primas cerâmicas utilizadas na formulação das massas cerâmicas foram fornecidas por empresas do setor e processadas em laboratório. Foram utilizadas dois tipos diferentes de argilas.

3.1.3. Caracterização das Matérias-Primas

As matérias-primas serão caracterizadas por meio das técnicas Fluorescência de raios X (FRX) para a determinação da análise química e difração de raios X (DRX) para a determinação da análise mineralógica. As análises de FRX foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais - SENAI. Já as análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Caracterização Microestrutural da Universidade Federal de Santa Catarina.

As Figuras 16 e 17 ilustram as argilas utilizadas na formulação da massa cerâmica



Figura 16: Argila 1

Fonte: Autor



Figura 17: Argila 2

Fonte: Autor

3.2. FORMULAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

3.2.1. Planejamento Experimental por Delineamento de Misturas

A metodologia proposta baseia-se em um modelo numérico que permite programar as misturas a serem utilizadas na composição de produtos cerâmicos evitando formulações de forma aleatória, por exemplo: tentativa e erro. O método adotado foi o de planejamento em rede Simplex, descrito por Alexandre *et al.* (2001) e aplicado por Kniess (2005). O objetivo foi de encontrar um modelo que descreva o

comportamento das misturas com a menor margem de erro possível levando-se em conta o número mínimo necessário de experimentos (ALEXANDRE, *et al.*, 2001).

Conforme a metodologia preconizada por Alexandre *et al.* (2001) as amostras foram nomeadas de X1, X2 e X3 e suas distribuições foram alocadas no espaço Simplex que corresponde a um triângulo equilátero, Figura 18.

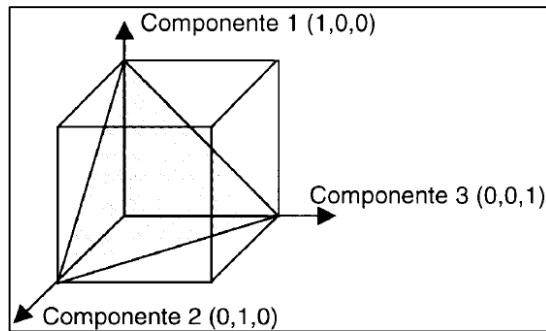


Figura 18: Espaço Simplex para três componentes

Fonte: (ALEXANDRE, *et al.*, 2001)

A soma das porcentagens dessas amostras ($X = 0, 1/m, 2/m, \dots$) deve atender a restrição da Equação 1.

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad \text{Eq. (1)}$$

Realizou-se um planejamento experimental para os estudos das formulações, por meio do delineamento de misturas (planejamento em rede Simplex). Utilizou-se o planejamento experimental em termos de limites inferiores, ou seja, em termos de L-pseudocomponentes. Estudos preliminares foram realizados para estabelecer os limites inferiores e superiores dos componentes da mistura, considerando as diferentes funções que cada matéria-prima exerce no processamento cerâmico. Os limites inferiores e superiores estabelecidos para os percentuais das matérias-primas foram:

$$80\% \leq \text{Argila 1} \leq 90\%$$

$$5\% \leq \text{Argila 2} \leq 15\%$$

$$5\% \leq \text{Lodo} \leq 15\%$$

A determinação desses limites originou o digrama triaxial de misturas em L-pseudocomponentes, onde x_1 , x_2 e x_3 representam as argilas 1, argila 2 e lodo respectivamente. O arranjo simplex {3,2} foi o escolhido para representar o sistema. A Tabela 5 apresenta as coordenadas dos componentes no arranjo simplex {3,2} e os percentuais dos pseudocomponentes. As 06 formulações originadas a partir do delineamento L-simples {3,2} são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 5: Coordenadas dos componentes no arranjo simplex {3,2} e os percentuais dos pseudocomponentes.

Coordenadas dos Componentes			Percentuais dos Pseudocomponentes		
x'_1	x'_2	x'_3	ARG 1	ARG 2	Lodo
0	1	0	0,90	0,05	0,05
0	0	1	0,80	0,15	0,05
1	0	0	0,80	0,05	0,15
0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0,85	0,10	0,05
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0,85	0,05	0,10
$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0,80	0,10	0,10

Tabela 6: Formulações das massas cerâmicas obtidas por meio do delineamento L-simplex {3,2}.

Formulações	Matérias-Primas		
	ARG 1 (%)	ARG 2 (%)	Lodo (%)
M1	90,00	5,00	5,00
M2	80,00	15,00	5,00
M3	80,00	5,00	15,00
M4	85,00	10,00	5,00
M5	85,00	5,00	10,00
M6	90,00	10,00	10,00

A região do diagrama triaxial Argila 1- Argila 2 - Lodo, mostrando as restrições dos L-pseudocomponentes, está representado na Figura 19.

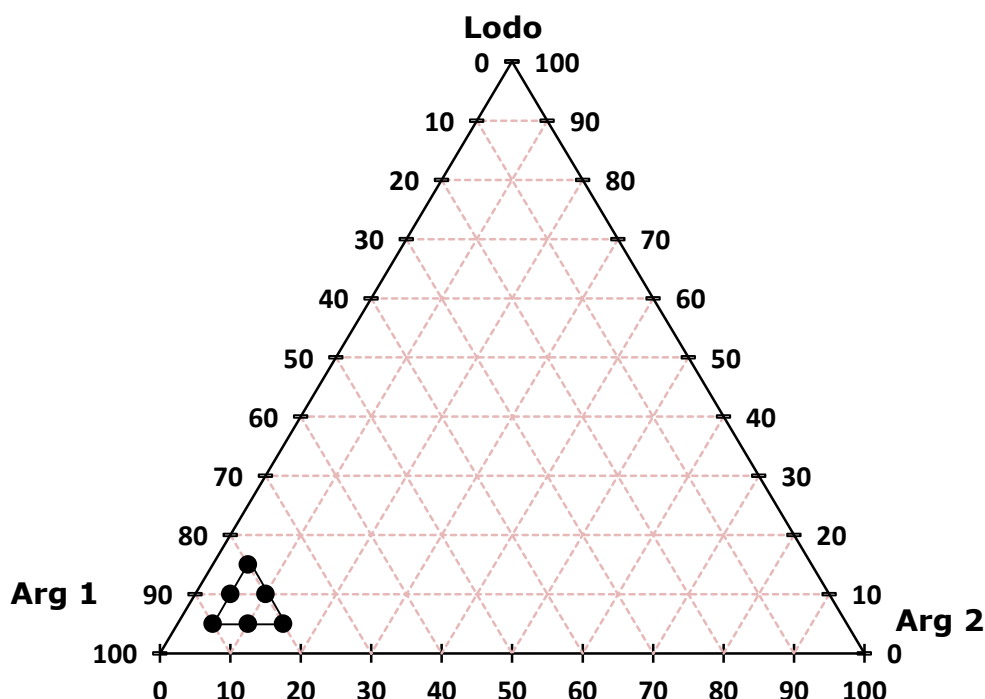


Figura 19: Diagrama triaxial de matérias-primas apresentando a região restrita de pseudocomponentes e os pontos obtidos com o simplex

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3. PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

O lodo foi calcinado a 400 °C por uma hora, posteriormente triturado. A amostra foi reduzida e passante à malha 20 mesh, 840 µm.

As misturas cerâmicas foram processadas via moagem a seco, com resíduo passante em malha de 325 mesh (45 µm). O lodo foi adicionado à mistura na etapa de moagem, em função das diferenças granulométricas entre as matérias-primas argilosas. Após a moagem, as massas foram umidificadas com 5,5% ($\pm 0,5$) de água em peso e granuladas para facilitar a prensagem. O moinho utilizado foi da marca Servtech, modelo CT 241. A Figura 20 apresenta o moinho utilizado.

Com cada mistura foram preparados 8 corpos de prova com dimensões de 100x60x5 mm. Os corpos de prova foram obtidos por compactação uniaxial em prensa hidráulica laboratorial, foi utilizado uma pressão de compactação de 35 MPa (350 kgf/cm²). Na etapa de prensagem foi adicionado um ligante polimérico resicel na fração de 1,5% para melhorar a compactação dos corpos de prova. A prensa utilizado foi da marca Bovenau, modelo P10ST. A Figura 21 ilustra a prensa do experimento.



Figura 20: Moinho



Figura 21: Prensa

A Figura 22 ilustra os corpos de prova produzidos com a partir do delineamento experimental {3,2}.

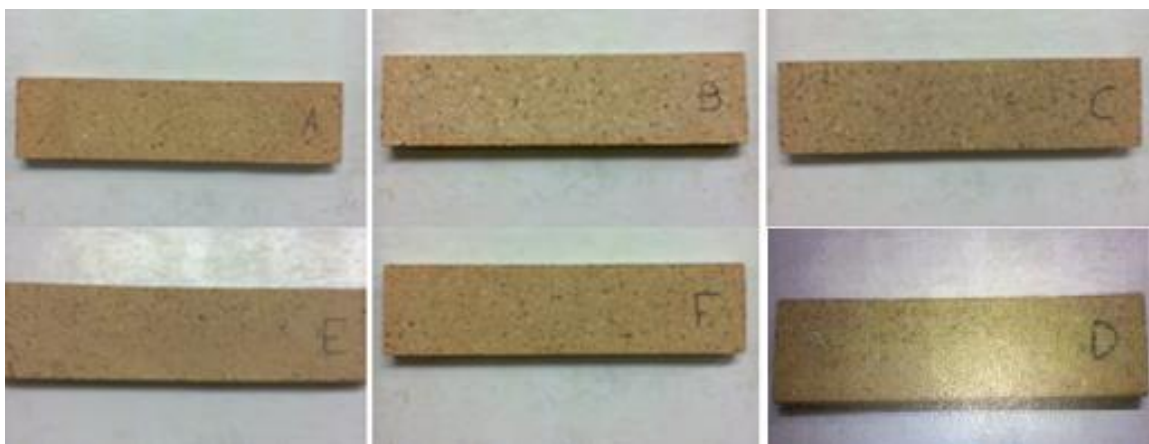


Figura 22: Corpos de prova produzidos

Após a compactação, as peças foram secas em estufa com circulação de ar a 110 ± 5 °C por 12 horas. Os corpos de prova foram sinterizados na temperatura de 1.180 °C com taxa de aquecimento de 500 °C/hora e tempo de permanência no patamar de sinterização de 2 horas.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

Para avaliar as propriedades dos materiais cerâmicos, foram realizados os seguintes ensaios físicos após a sinterização: retração linear (RL), absorção de água (ABS), resistência mecânica a flexão (RMF). Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Corrosão da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.4.1. Retração Linear

A retração linear pós queima – RL, não é um parâmetro que tem sua classificação cerâmica normalizada pela NBR, mas é um importante parâmetro industrial. Quando a cerâmica apresenta-se porosa é caracterizada por baixa retração, na ordem de 3%, o semiporoso é caracterizado por uma retração de 4-6% e o gresificado por uma retração linear de 8% (BORGIO, 2005).

Para o cálculo da RL foi utilizada a fórmula de Galdino, Silva e Nogueira (2004), expresso na Equação 2:

$$RL = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

RL = Retração Linear (%)

L1 = Comprimento do corpo de prova seco (mm)

L2 = Comprimento do corpo de prova queimado (mm)

3.4.2. Absorção de Água

Os ensaios de absorção de água nos corpos de prova foram realizados de acordo com a norma NBR 13818 (1997), com imersão em água fervente durante 2 horas, utilizando uma balança BEL S2202.

A Equação 3 demonstra como será calculado o percentual de absorção de água.

$$Abs = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde:

Abs = Absorção de água (%)

m1 = massa seca (g)

m2 = massa saturada (g)

3.4.3. Resistência Mecânica a Flexão

A resistência mecânica das peças cerâmicas foi determinada pelo módulo de ruptura à flexão em três pontos. O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 13818 (1997), utilizando um Flexímetro Digital EMIC.

A Equação 4 demonstra como será calculado o módulo de resistência à flexão.

$$MRF = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

MRF = Módulo de resistência à flexão (MPa)

F = Força de ruptura (kgf)

L = Distância entre as barras de apoio (cm)

b = Largura do corpo de prova (cm)

h = Mínima espessura do corpo de prova (cm)

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS E OBTENÇÃO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS

A obtenção de superfícies de respostas e modelos estatísticos que correlacionam às propriedades medidas e composição dos materiais cerâmicos foi realizada computacionalmente com auxílio do software *STATISTICA 10.0* (StatSoft Inc., 2011) Adotou-se um determinado nível de significância como condição para

que os modelos e termos nas equações fossem significativos. A Figura 23 ilustra a licença do software



Figura 23: Print screen da licença do software

Fonte: STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., 2011)

3.6. LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES PATENTÁRIAS

No caso desta dissertação, buscou-se avaliar as informações sobre os pedidos e resultados de patenteamento envolvendo a valorização do lodo de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos. Estas informações estão disponíveis nos diversos bancos de dados dos órgãos governamentais competentes, principalmente o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI, 2015), o European Patente Office (EPO, 2015) e o World Intellectual Property Organization (WIPO, 2015).

Nesse contexto, foram consultadas as base de dados utilizando a ferramenta PatentInspiration (<http://www.patentinspiration.com>). Esta ferramenta reúne em um banco de dados informações de mais de 69 milhões de patentes (PatentInspiration, 2015). Utilizou-se como palavras chaves para a busca as expressões “Sewage Sludge”, “Recycle and Sewage Sludge”, “Ceramic Materials”, entre outras. A Figura 24 ilustra a ferramenta utilizada nesta pesquisa.

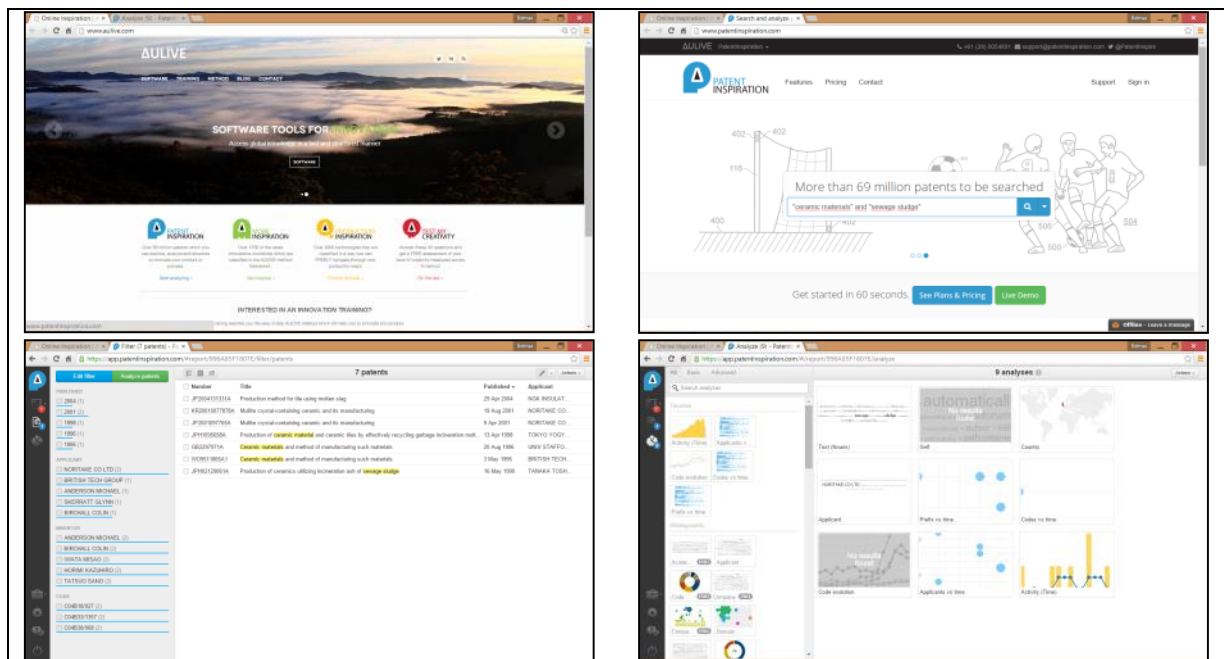


Figura 24: Ferramenta PatentInspiration

Fonte: <http://www.aulive.com/>

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A seguir são descritos os resultados referentes a caracterização das matérias-primas.

4.1.1 Lodo de Esgoto

O lodo usado nas formulações é proveniente do secador térmico, proveniente da ETE Guararema - Sede. Com o objetivo de empregar um resíduo de um outro processo como matéria-prima, é imprescindível analisar a composição química do resíduo. Com o conhecimento das porcentagens de seus constituintes, pode-se justificar a utilização deste componente.

A análise química do lodo de esgoto está representada na Tabela 7. Os principais elementos do lodo de esgoto são SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 e Fe_2O_3 , sendo que esses elementos representam 89,5% do total da composição da amostra. A presença de elevada carga de matéria orgânica é confirmada pelo valor de perda ao fogo, 65,3%. A análise química determinada aproxima-se do encontrado em alguns trabalhos na literatura, como os estudos de Miki *et al*, (2001) e Santos e Tsutiya (1997).

Tabela 7: Análise química em óxidos do lodo de esgoto em estudo.

Elemento	Teor (%)
SiO_2	44,93
Al_2O_3	22,13
P_2O_5	14,18
Fe_2O_3	8,27
CaO	4,24
K_2O	2,51
MgO	1,96
TiO_2	1,21
Na_2O	0,46
MnO	0,12

O lodo de esgoto pode ser considerado matéria-prima fonte de aluminosilicato de baixo custo, característica necessária para utilização na indústria de cerâmica. Trabalhos de pesquisas comprovam a viabilidade da utilização de resíduos industriais na obtenção de materiais cerâmicos. Dentre os trabalhos realizados podem-se citar: Kniess (2005), Barcellos *et al.* (2012), Casagrande *et al.* (2008), Silva (2011), Araújo *et al.* (2008), Devant, Cusidó e Soriano (2011), Xu, Zou e Li (2010).

A Figura 25 apresenta o difratograma de raios X da amostra de lodo de esgoto utilizada no trabalho. As fases cristalinas existentes foram identificadas por meio dos bancos de dados Para identificação das fases presentes utilizou-se os bancos de dados ICSD e JCPDS.

O resultado da análise do lodo de esgoto permitiu comprovar que a amostra é constituída pelas fases cristalina do quartzo (SiO_2), hidróxido de silicato de ferro ($\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), illita ($\text{K}_{0.7}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), montmorilonita ($\text{Na}_{0.3}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) fosfato de sódio/peróxido de hidrogênio $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_2$ e haloisita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

A Tabela 8 resume as possíveis fases cristalinas do lodo de esgoto obtida pela análise de DRX.

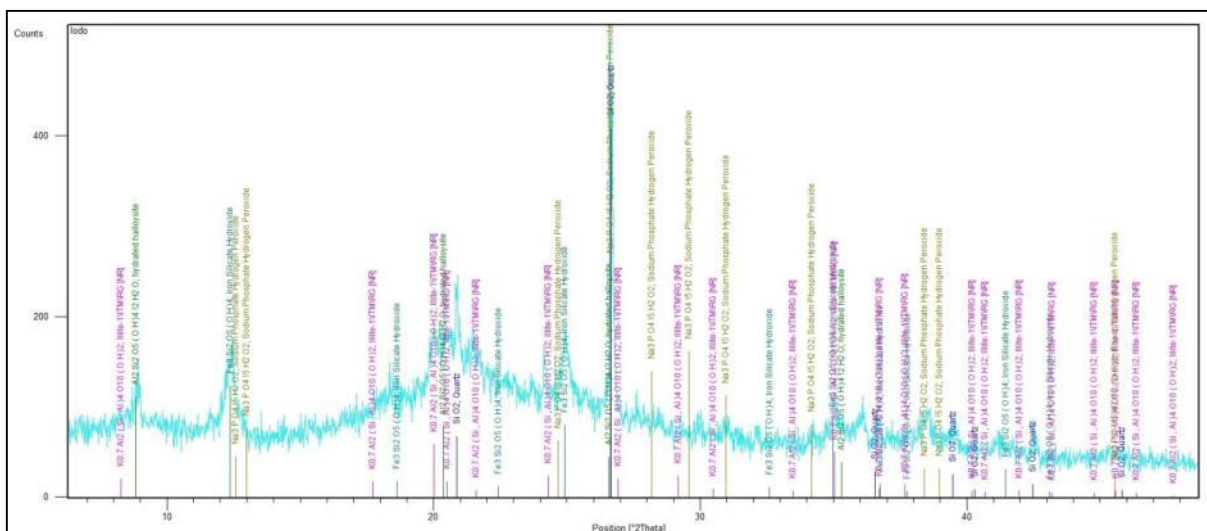


Figura 25: Difratograma de raios X do lodo de esgoto.

Tabela 8: Fases cristalinas do lodo de esgoto

No.	Codigo de Ref.	Nome do Composto	Formula Química
1	01-085-0796	Quartz	SiO ₂
2	00-044-0469	Iron Silicate Hydroxide	Fe ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
3	01-080-0885	Kaolinite 1\ITA\RG	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄
4	00-029-1496	Illite-1\ITM\RG [NR]	K _{0,7} Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
5	00-029-1490	Kaolinite-montmorillonite	(Na _{0,3} Al ₄ Si ₆ O ₁₅ (OH) ₆ .4H ₂ O)
6	00-042-0297	Sodium Phosphate Hydrogen Peroxide	Na ₃ PO ₄ .5H ₂ O ₂
7	00-029-1489	hydrated halloysite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

4.1.2 Matérias-Primas Argilosas

As análises químicas obtidas por meio da fluorescência de raios X das matérias-primas argilosas brutas, ARG 1 e ARG 2, estão apresentadas na Tabela 9. O óxido de silício é o óxido predominante nas duas argilas. O óxido de alumínio vem em seguida com 28,24% e 28,60%, respectivamente nas ARG 1 e ARG 2. Os demais óxidos apresentam baixo percentuais na composição das duas argilas.

Os valores de perda ao fogo são devidos as águas intercaladas de coordenação, à água de hidroxilas dos argilominerais e também hidróxidos existentes, bem como a componentes voláteis de matéria orgânica, sulfetos, sulfatos e carbonatos quando presentes (KNISS, 2005).

Tabela 9: Análise química das matérias-primas argilosas brutas

Elemento	Arg 1 (%)	Arg 2 (%)
SiO ₂	55,04	58,80
Al ₂ O ₃	28,24	28,60
Fe ₂ O ₃	0,46	0,70
TiO ₂	1,08	1,00
K ₂ O	0,50	0,50
Na ₂ O	0,07	-
CaO	0,07	-
MgO	0,13	-
MnO	<0,05	-
P ₂ O ₅	<0,05	-
Perda Fogo	14,35	10,30

As Figuras 26 e 27 apresentam o difratograma de raios X das argilas utilizadas no trabalho.

O resultado da análise das argilas permitiu avaliar que a amostra é constituída pelas fases cristalina da caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\cdot(\text{OH})_4$, Mica/ilita ($\text{K}_{0.7}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) e do quartzo (SiO_2),

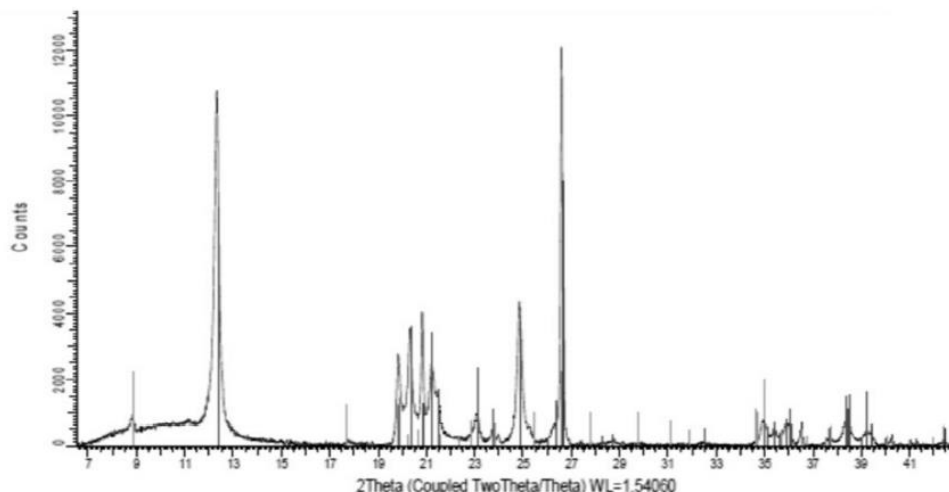


Figura 26: Difratogramas de Raios X da argila 1.

As Tabelas 10 e 11 resume as possíveis fases cristalinas do lodo de esgoto.

Tabela 10: Fase cristalina da Argila 1

No.	Nome do composto	Formula Química	Quantidade (%)
1	Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\cdot(\text{OH})_4$	63,35
2	Mica/Ilita	$\text{K}(\text{AlSi}_3)\text{Al}_2\text{O}_{10}\cdot(\text{OH})_2$	6,60
3	Quartzo	SiO_2	30,00

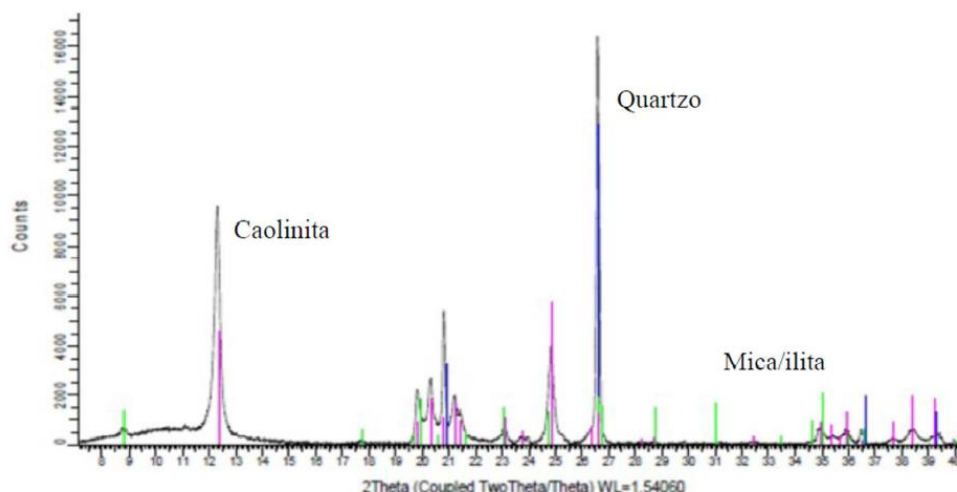


Figura 27: Difratogramas de raios-X da Arg 2.

Tabela 11: Fase cristalina da Arg 2

No.	Nome do composto	Formula Química	Quantidade (%)
1	Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\cdot(\text{OH})_4$	67,39
2	Mica/Ilita	$\text{K}(\text{AlSi}_3)\text{Al}_2\text{O}_{10}\cdot(\text{OH})_2$	5,50
3	Quartzo	SiO_2	27,00

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS DESENVOLVIDOS

4.2.1 Caracterização dos Materiais Cerâmicos a Seco

A seguir são descritos os resultados referentes a caracterização dos corpos-de-prova cerâmicos secos.

4.2.1.1 Determinação dos Parâmetros Estatísticos e Análise dos Modelos de Regressão para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco

A Tabela 12 apresenta a composição das seis misturas cerâmicas em termos de componentes independentes obtidas por meio do planejamento experimental por delineamento de misturas. Na tabela também são apresentados os valores das

propriedades de retração linear a seco (RLS) e resistência mecânica à flexão a seco (RMFS) determinados em laboratório.

Tabela 12: Composição das misturas cerâmicas e as medidas de RLS e RMFS.

Mistura	Frações em Peso			RLS (%)	RMFS (N/mm ²)
	ARG 1	ARG 2	Lodo		
M1	0,90	0,05	0,05	1,10 ± 0,07	15,78 ± 0,21
M2	0,80	0,15	0,05	0,76 ± 0,10	10,39 ± 0,50
M3	0,80	0,05	0,15	0,90 ± 0,06	9,96 ± 0,56
M4	0,85	0,10	0,05	0,85 ± 0,06	14,16 ± 0,78
M5	0,85	0,05	0,10	0,83 ± 0,06	13,15 ± 0,78
M6	0,80	0,10	0,10	0,72 ± 0,07	11,75 ± 0,42

Com as medidas das propriedades para cada coordenada específica, a equação de regressão pode ser determinada para cada propriedade. Uma das formas de se apresentar os resultados estatísticos referentes a um modelo de regressão é pela da tabela de Análise de Variância (ANOVA). As Tabelas 13 e 14 mostram os parâmetros estatísticos das equações de regressão para as propriedades de RLS e RMFS. Foi empregada a nomenclatura estatística usual (soma dos quadrados devido à regressão, graus de liberdade, média quadrática da regressão, soma quadrática dos resíduos, média quadrática dos resíduos, teste-F, valor p, coeficiente de múltipla determinação e coeficiente de determinação ajustado). O nível de significância adotado para a propriedade RLS foi de 15,0 %, conferindo um intervalo de confiança de 85,0% e para propriedade de RMFS foi de 5,0 %, conferindo um intervalo de confiança de 95,0%.

Tabela 13: Resultados estatísticos para a análise de variância do modelo de regressão para RLS.

Modelo	SQR	gl	MQR	SQr	gl	MQr	Teste F	Valor P	R ²	R _A ²
Linear	0,0648	2	0,0324	0,0250	3	0,0083	3,8966	0,1465	0,7220	0,5367

* SQR: soma dos quadrados devido à regressão; gl: graus de liberdade; MQR: média quadrática da regressão; SQr: soma quadrática dos resíduos; MQr: média quadrática dos resíduos; R²: coeficiente de múltipla determinação; R_A²: coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 14: Principais resultados estatísticos para a análise de variância do modelo de regressão para RMFS.

Modelo	SQR	gl	MQR	SQr	gl	MQr	Teste F	Valor P	R ²	R _A ²
Linear	23,2835	2	11,6417	2,1132	3	0,7044	16,5269	0,0240	0,9168	0,8613

As Equações (5) e (6) representam os modelos de regressão propostos para cada propriedade em estudo. Os termos x_1 , x_2 e x_3 representam a fração mássica da argila 1, argila 2 e lodo de esgoto respectivamente, em termos de componentes independentes.

$$\text{RLS} = 1,036 x_1 + 0,72 x_2 + 0,824 x_3 \quad \text{Eq.(5)}$$

$$\text{RMFS} = 16,029 x_1 + 11,157 x_2 + 10,409 x_3 \quad \text{Eq.(6)}$$

A análise dos coeficientes dos teores de cada matéria-prima nos modelos propostos, na Equação 5, demonstra que cada componentes têm um efeito positivo no incremento da RLS (coeficientes positivos na equação). Em relação à propriedade RMFS, na Equação 6, é constatado uma sinergia entre as frações de Arg 1, Arg 2 e lodo para o aumento do valor da RMFS.

4.2.1.2 Análise das Superfícies de Resposta para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco

Os gráficos de superfície de resposta apresentam uma relação entre o valor de uma determinada propriedade e a composição da mistura expressa em fração em peso de pseudocomponentes, de acordo com o modelo adequado. A Figura 28 representa o gráfico de contorno da superfície de resposta de valores de RLS constantes, calculada por meio do modelo linear (em termos de pseudocomponentes). A Figura 29 apresenta a projeção da superfície de resposta obtida pelo modelo proposto. Pode-se observar que o incremento da fração mássica da Arg 1 na composição contribuiu para a obtenção de maiores valores de RLS. Os valores obtidos com adição de lodo, até o limite do trabalho, revelam uma baixa influencia nesta propriedade. Montero *et al.* (2009) obteve resultados semelhantes.

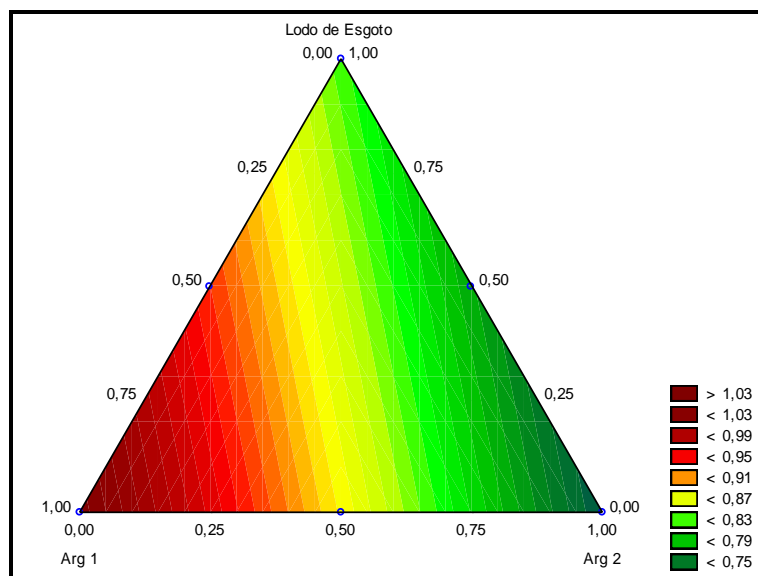


Figura 28 Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RLS.

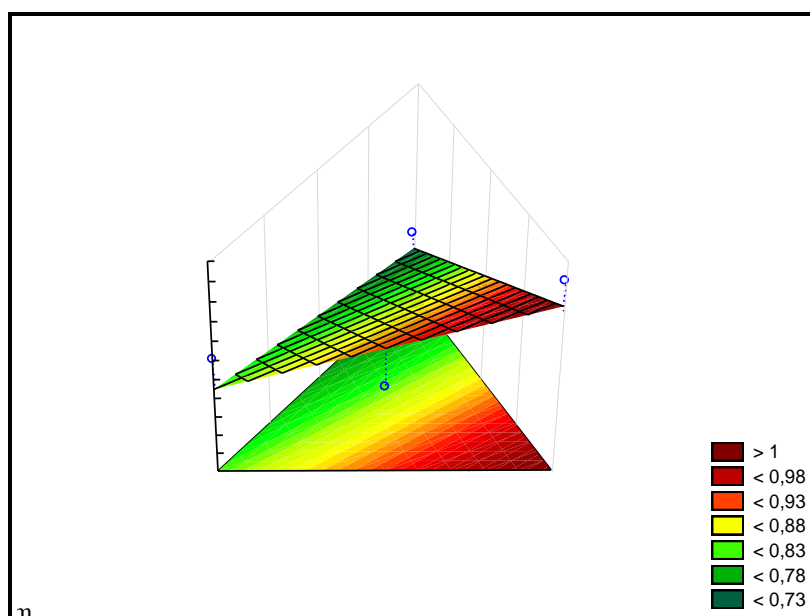


Figura 29: Superfície de resposta para RLS obtida por meio do modelo Linear.

A Figura 30 apresenta os contornos, referentes a projeção da superfície de resposta de RMFS, calculadas para os valores das matérias-primas em pseudocomponentes. A Figura 31 mostra a projeção da superfície de resposta para RMFS obtida por meio do modelo linear. Observa-se que o incremento da fração mássica da Arg 1 na composição acarreta a maiores valores de RMFS. Esta análise

demonstra a importância da interação do lodo de esgoto com os demais componentes do sistema. Outro fato observado é similaridades do aumento RLS e RMFS com uma menor quantidade de lodo de esgoto no sistema.

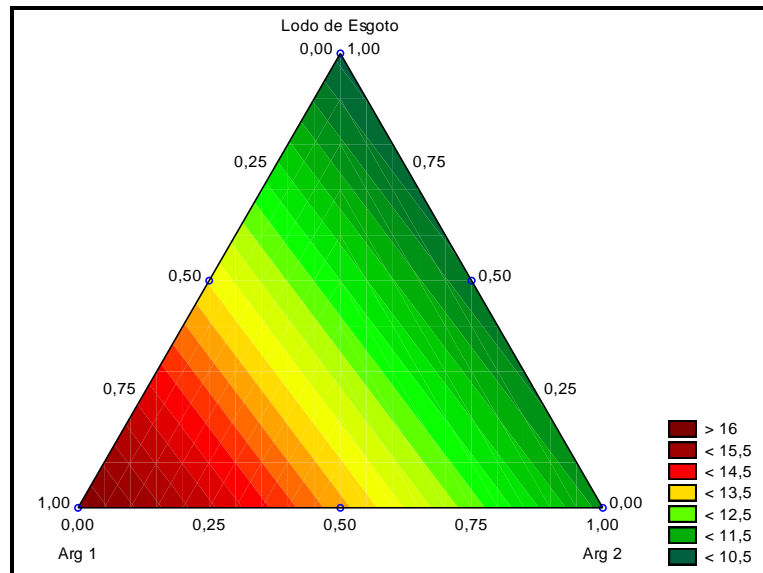


Figura 30: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RMFS.

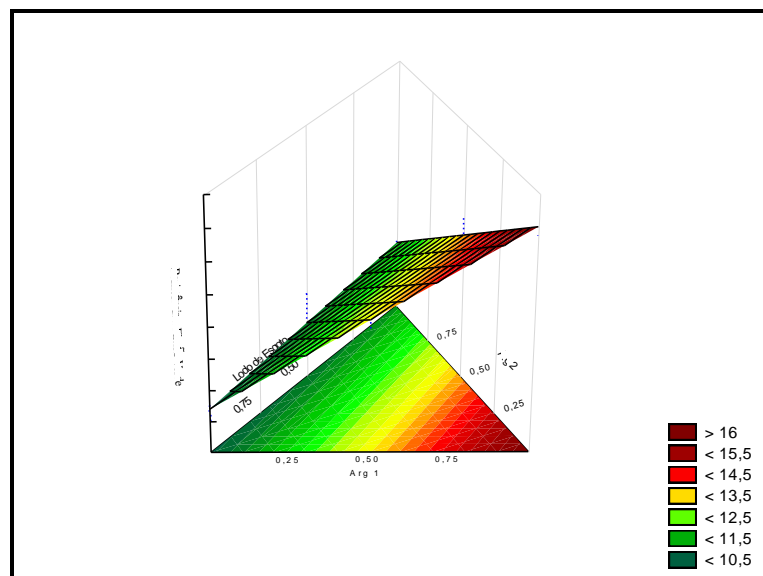


Figura 31: Superfície de resposta para RMFS obtida por meio do modelo Linear.

4.2.1.3 Gráficos de Resposta de Componentes Individuais para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos a Seco

O efeito de cada matéria-prima pode ser melhor observado quando gráficos de resposta de componentes originais são construídos. Estes gráficos representam a estimativa da variação da propriedade estudada, em função da composição (em pseudocomponentes), quando se toma uma linha reta que parte dos vértices de cada componente puro passando por um ponto de referência. Nesses casos, enquanto há a variação de um componente, a proporção entre os outros dois permanece constante.

Em relação a RLS, o ponto escolhido foi a mistura M6 que corresponde, a seguinte composição: 80% de Arg 1, 10% de Arg 2 e 10% de lodo de esgoto. A Figura 32 representa o gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade de RLS. A retração linear a seco é afetada expressivamente pelo acréscimo de Arg 1, tendendo para seu valor máximo. A Arg 2 promove um resultado contrário à Arg1, levando a valores mínimos. A adição de lodo desempenha baixa influencia no sistema.

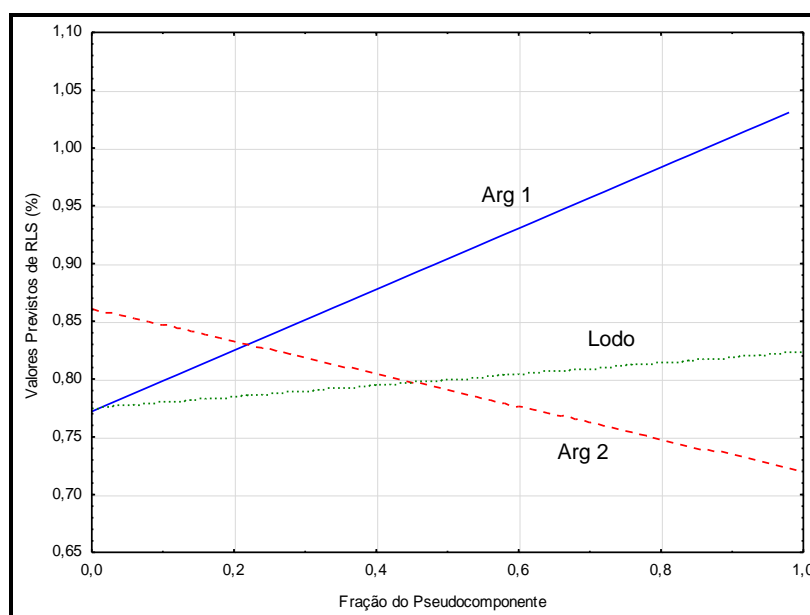


Figura 32: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RLS.

Em relação a RMFS, o ponto escolhido foi a mistura M6 que corresponde, a seguinte composição: 80% de Arg 1, 10% de Arg 2 e 10% de lodo de esgoto. A Figura 33 representa o gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade de RMFS. A resistência mecânica a flexão a seco é afetada expressivamente pelo acréscimo de Arg 1, tendendo para seu valor máximo. O lodo de esgoto promove um resultado contrário à Arg 1, levando a valores mínimos. A adição de Arg 2 desempenha baixa influencia no sistema.

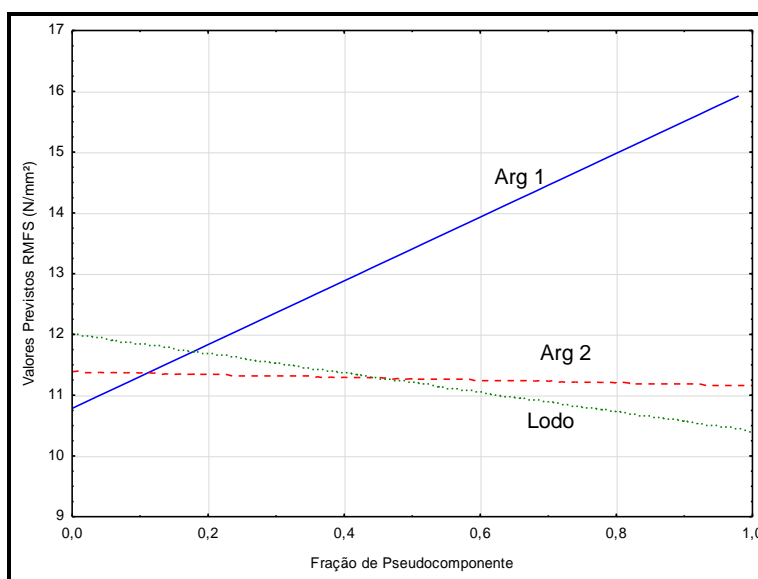


Figura 33: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RMFS.

4.2.2 Caracterização dos Materiais Cerâmicos Sinterizados

A seguir são descritos os resultados referentes a caracterização dos corpos-de-prova cerâmicos sinterizados.

4.2.2.1 Determinação dos Parâmetros Estatísticos e Análise dos Modelos de Regressão para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos Sinterizados

A Tabela 15 demonstra a composição das 6 misturas cerâmicas em termos de componentes independentes obtidas por meio do planejamento experimental de delineamento de misturas. Também são apresentados os valores das propriedades

físicas dos materiais cerâmicos após a sinterização: retração linear (RLQ), absorção de água (ABSQ) e resistência mecânica à flexão (RMFQ).

Tabela 15: Composição das misturas cerâmicas e as correspondentes medidas de RLQ, ABSQ e RMFQ.

Mistura	Frações em Peso			RLQ (%)	ABSQ (%)	RMFQ (N/mm ²)
	ARG 1	ARG 2	Lodo			
M1	0,90	0,05	0,05	3,56 ± 0,10	9,1 ± 0,10	4,47 ± 0,34
M2	0,80	0,15	0,05	3,36 ± 0,09	10,21 ± 0,15	4,04 ± 0,06
M3	0,80	0,05	0,15	3,44 ± 0,03	12,97 ± 0,28	3,12 ± 0,08
M4	0,85	0,10	0,05	3,60 ± 0,12	9,13 ± 0,27	4,45 ± 0,37
M5	0,85	0,05	0,10	3,14 ± 0,12	9,37 ± 0,22	3,72 ± 0,11
M6	0,80	0,10	0,10	3,27 ± 0,14	11,09 ± 0,44	4,61 ± 0,08

As Tabelas 16, 17 e 18 apresentam a Análise de Variância (ANOVA) para as propriedades de RLQ, ABSQ e RMFQ, respectivamente. Os níveis de significância escolhidos foram variáveis para cada propriedade, no sentido de ajustar os dados experimentais aos modelos de regressão. Para a propriedade RLQ adotou-se o nível de significância de 70,0%. Para a propriedade ABSQ adotou-se 7,0% e RMFQ trabalhou-se com 65,0%.

Tabela 16: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para RLQ (intervalo de confiança 30%).

Modelo	SQR	gl	MQR	SQr	gl	MQr	Teste F	Valor P	R ²	R _A ²
Linear	0,0325	2	0,0163	0,1206	3	0,0402	0,4044	0,6990	0,2123	0,0000

Tabela 17: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para ABSQ (intervalo de confiança 7%).

Modelo	SQR	gl	MQR	SQr	gl	MQr	Teste F	Valor P	R ²	R _A ²
Linear	9,5194	2	4,7597	1,9147	3	0,6382	7,4577	0,0685	0,8325	0,7209

Tabela 18: Principais resultados estatísticos para a análise de variância dos modelos de regressão para RMFQ (intervalo de confiança 35%).

Modelo	SQR	gl	MQR	SQr	gl	MQr	Teste F	Valor P	R ²	R _A ²
Linear	0,8705	2	0,4352	0,7514	3	0,2505	1,7378	0,3153	0,5367	0,2279

As Equações (3), (4) e (5) representam os modelos de regressão propostos para cada propriedade em estudo. Os termos x_1 , x_2 e x_3 representam a fração mássica da arg 1, arg 2 e lodo de esgoto respectivamente, em termos de componentes independentes.

A análise dos coeficientes dos teores de cada matéria-prima nos modelos propostos, na Equação 7, demonstra que cada componentes têm um efeito positivo no incremento da retração linear (coeficientes positivos na equação).

$$\mathbf{RLQ} = 3,507 x_1 + 3,399 x_2 + 3,279 x_3 \quad \text{Eq.(7)}$$

Na análise dos coeficientes de cada componente, na Equação 8 podemos concluir que os componentes possuem sinergia no valor na propriedade de absorção de água.

$$\mathbf{ABSQ} = 8,493x_1 + 12,373x_2 + 10,069 x_3 \quad \text{Eq. (8)}$$

Na análise dos coeficientes de cada componente, na Equação 9 podemos concluir que os componentes contribuem favoravelmente para o aumento da resistência mecânica dos materiais cerâmicos.

$$\mathbf{RMFQ} = 4,403x_1 + 4,415x_2 + 3,387x_3 \quad \text{Eq.(9)}$$

4.2.2.2 Análise das Superfícies de Resposta para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos Sinterizados

As curvas de contorno do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes e a superfície de resposta para a propriedade de RLQ, estão apresentadas nas Figuras 34 e 35 respectivamente. Pode-se observar que os valores máximos de retração linear de sinterização estão concentrados nas composições próximo ao vértice da Arg 1.

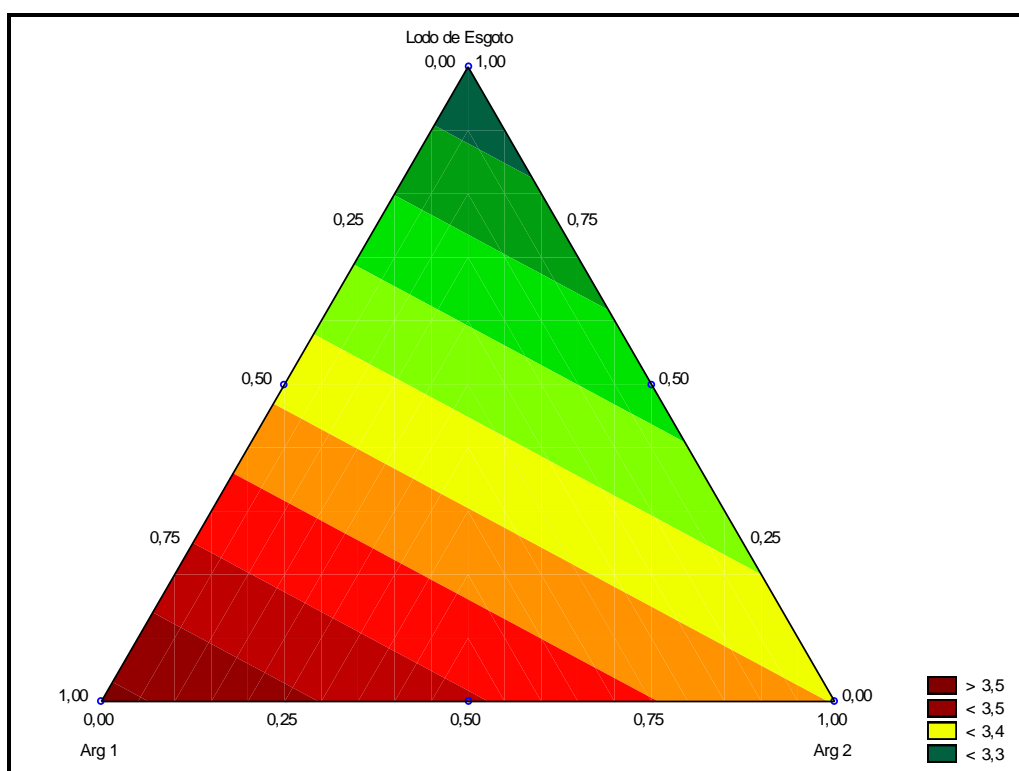


Figura 34: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RLQ.

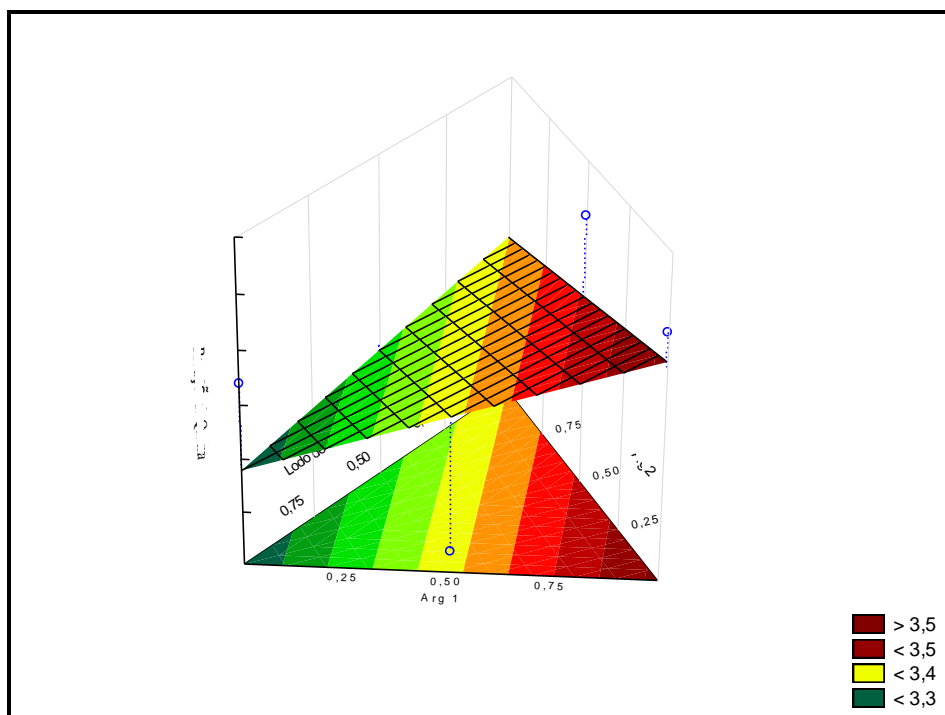


Figura 35: Superfície de resposta para RLQ obtida por meio do modelo Linear.

As Figuras 36 e 37 representam as curvas de nível e a projeção da superfície de resposta, respectivamente, obtidas por meio do modelo linear para a propriedade de ABSQ. Pode-se observar que os valores máximos de absorção de água de sinterização estão concentrados nas composições próximo ao vértice do lodo de esgoto. Os menores valores desta propriedade ($ABSQ \leq 9,5\%$) estão localizados nos maiores percentuais de Arg 1 e Arg 2.

Segundo a NBR 13818 (1997), para o parâmetro de absorção de água, as misturas M1, M4 e M5 são caracterizados como semi-poroso (Grupo IIb - $6\% < Abs \leq 10\%$) e as misturas M2, M3 e M6 como poroso (Grupo III - $Abs > 10\%$).

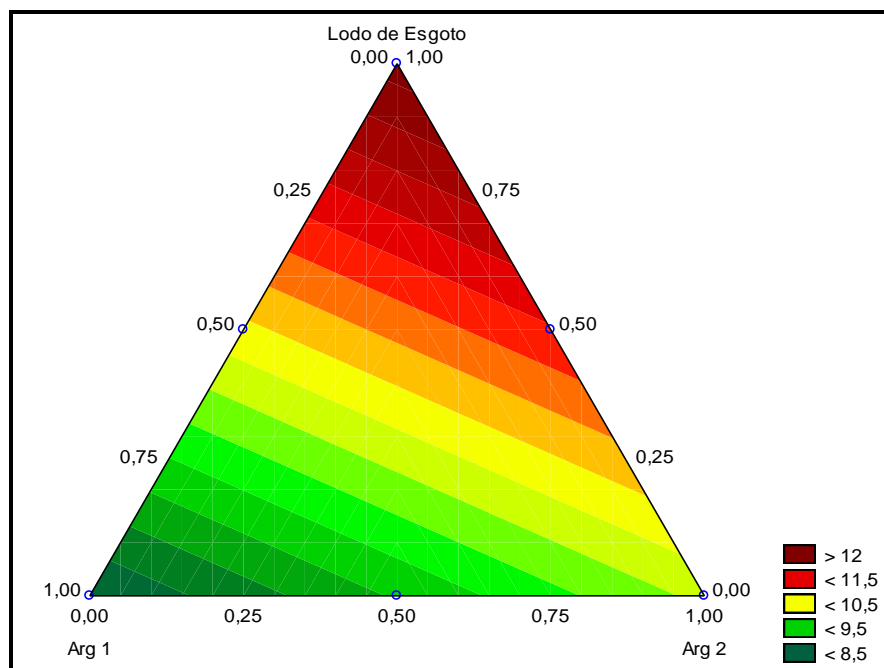


Figura 36: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de ABSQ.

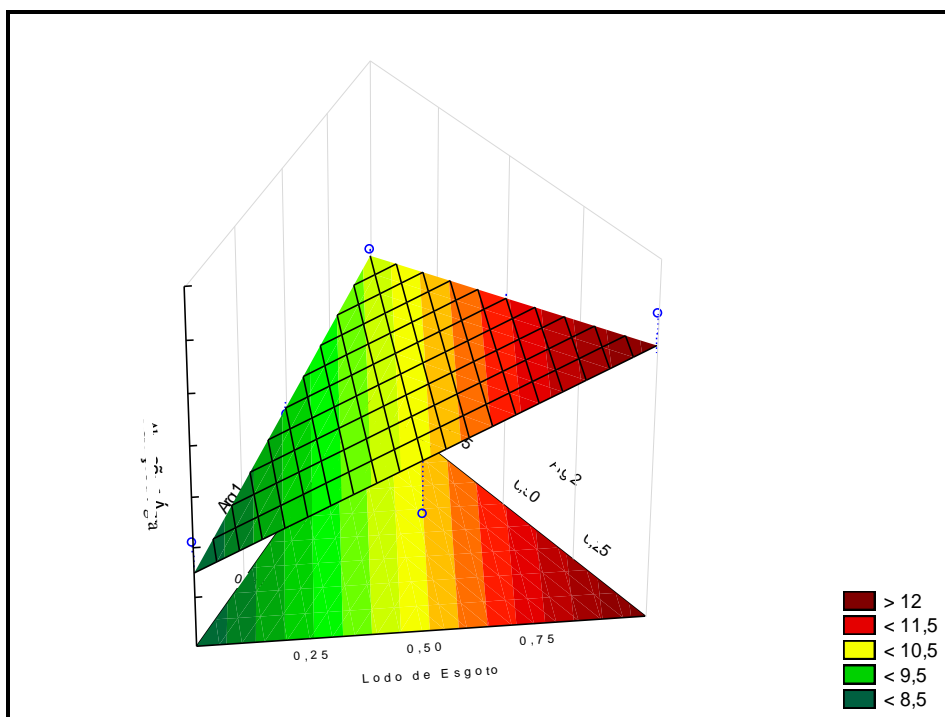


Figura 37: Superfície de resposta para ABSQ obtida por meio do modelo Linear.

As Figuras 38 e 39 representam as curvas de nível e a projeção da superfície de resposta, respectivamente, obtidas por meio do modelo linear para a propriedade de RMFQ. Pode-se observar que os valores máximos de resistência mecânica dos materiais sinterizados estão alocados nas composições próximo aos vértices da Arg 1 e Arg 2. Os menores valores desta propriedade ($\text{RMFQ} \geq 4,4 \text{ N/mm}^2$) estão localizados nos maiores percentuais de lodo.

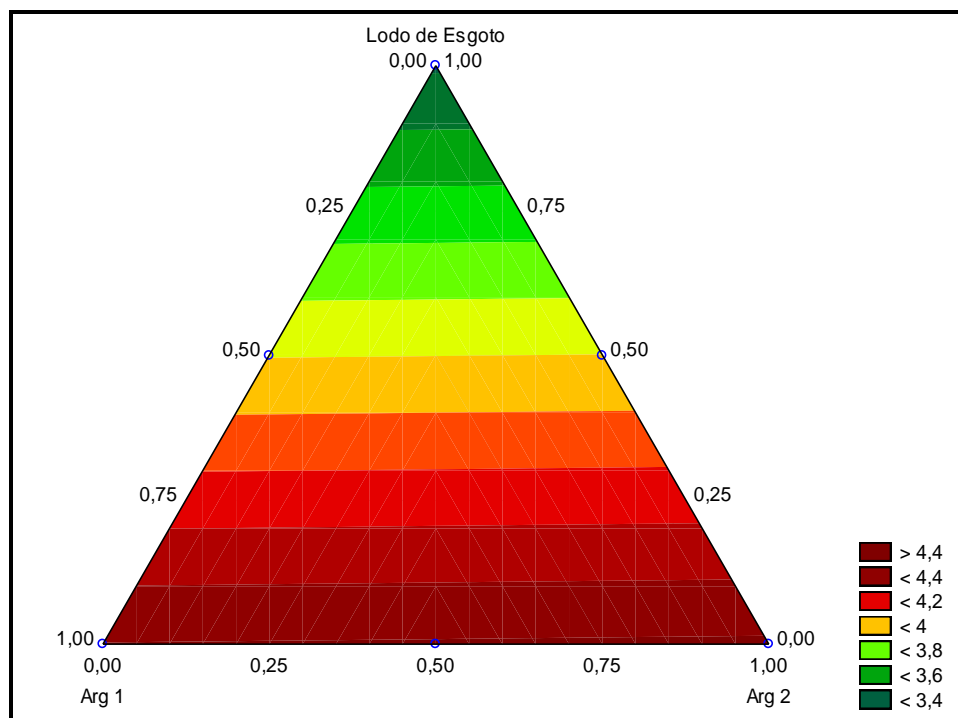


Figura 38: Curvas de nível do modelo linear em função das proporções dos pseudocomponentes para a propriedade de RMFQ.

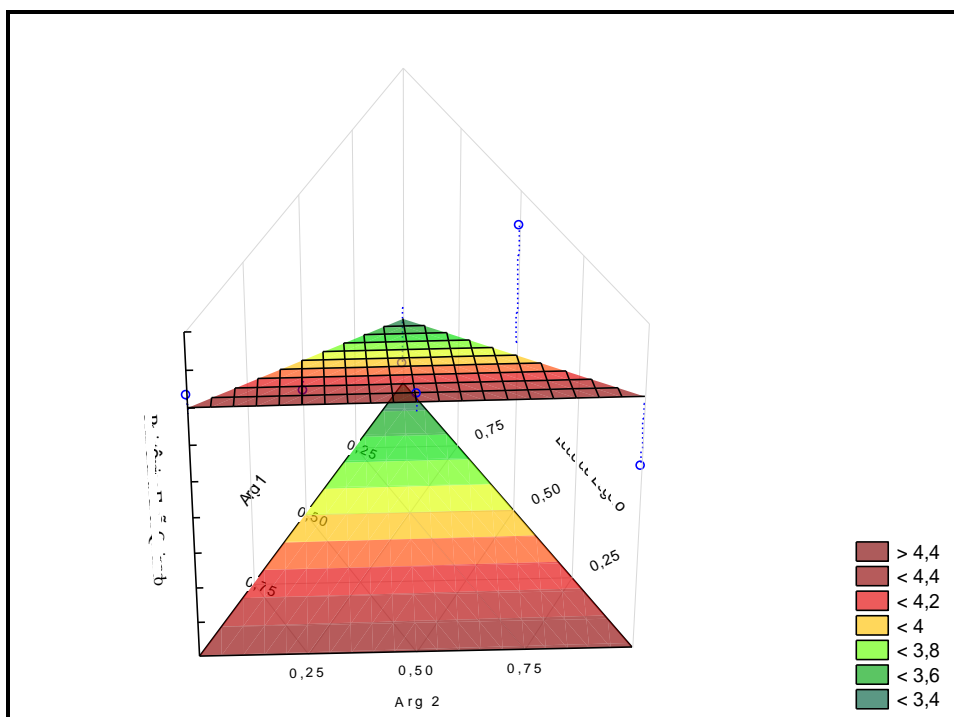


Figura 39: Superfície de resposta para RMFQ obtida por meio do modelo Linear.

4.2.2.3 Gráficos de Resposta de Componentes Individuais para as Propriedades dos Materiais Cerâmicos Sinterizados

O efeito de cada matéria-prima pode ser melhor visualizado quando gráficos de resposta de componentes originais são construídos. Estes gráficos representam a estimativa da variação da propriedade estudada, em função da composição (em pseudocomponentes), quando se toma uma linha reta que parte dos vértices de cada componente puro passando por um ponto de referência. Nesses casos, enquanto há a variação de um componente, a proporção entre os outros dois permanece constante.

Em relação a RLQ, o ponto escolhido foi a mistura M6 que corresponde, a seguinte composição: 80% de Arg 1, 10% de Arg 2 e 10% de lodo de esgoto. A Figura 40 representa o gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade de RLQ. A retração linear de sinterização é afetada pelo acréscimo de lodo de esgoto, tendendo para seu valor mínimo. A adição de Arg 1 e Arg 2 promovem um resultado contrário.

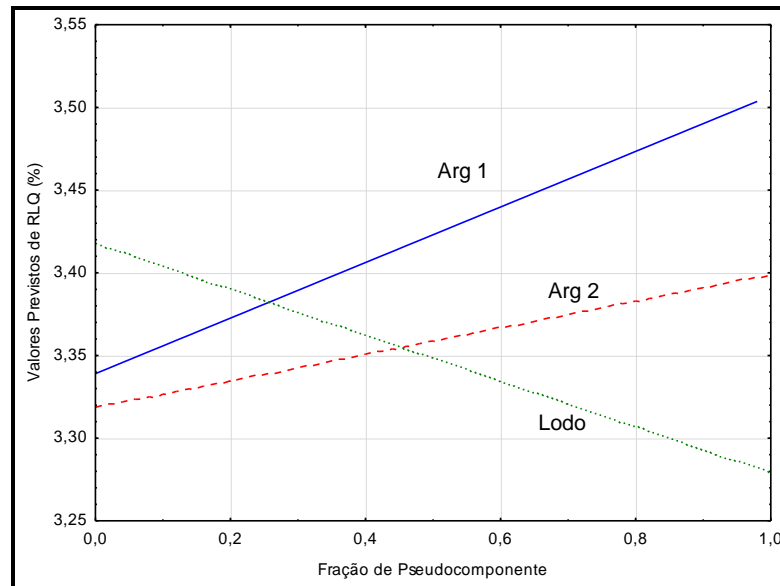


Figura 40: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RLQ.

Em relação a ABSQ, o ponto escolhido foi a mistura M6 que corresponde, a seguinte composição: 80% de Arg 1, 10% de Arg 2 e 10% de lodo de esgoto. A Figura 41 representa o gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade de absorção de água de sinterizado. Os valores de absorção de água são influenciados pelo acréscimo de lodo, tendendo para seu valor máximo. A adição das Arg 1 e Arg 2 promovem um resultado contrário à, levando a valores mínimos.

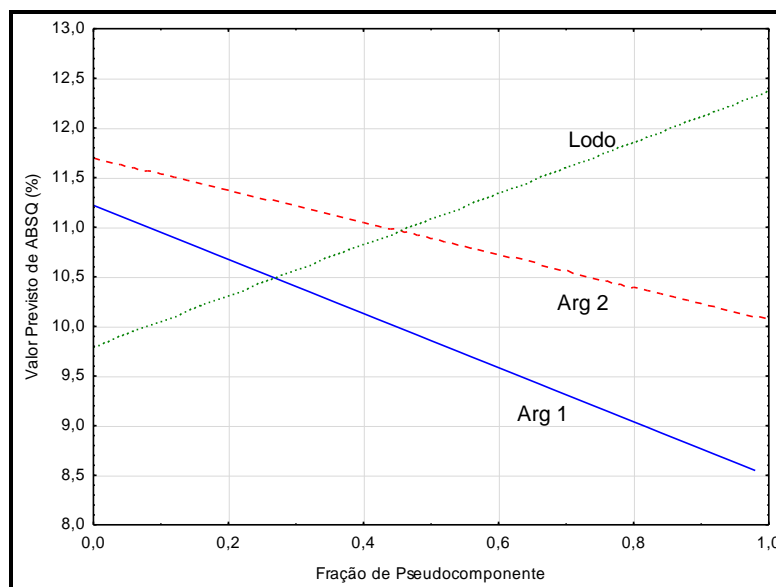


Figura 41: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade ABSQ.

Em relação a RMFQ, o ponto escolhido foi a mistura M6 que corresponde, a seguinte composição: 80% de Arg 1, 10% de Arg 2 e 10% de lodo de esgoto. A Figura 42 representa o gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade de resistência mecânica de sinterizado. A resistência mecânica é influenciada pelo acréscimo de lodo, tendendo para seu valor mínimo. A adição das Arg 1 e Arg 2 promovem um resultado contrário à, levando a valores mínimos.

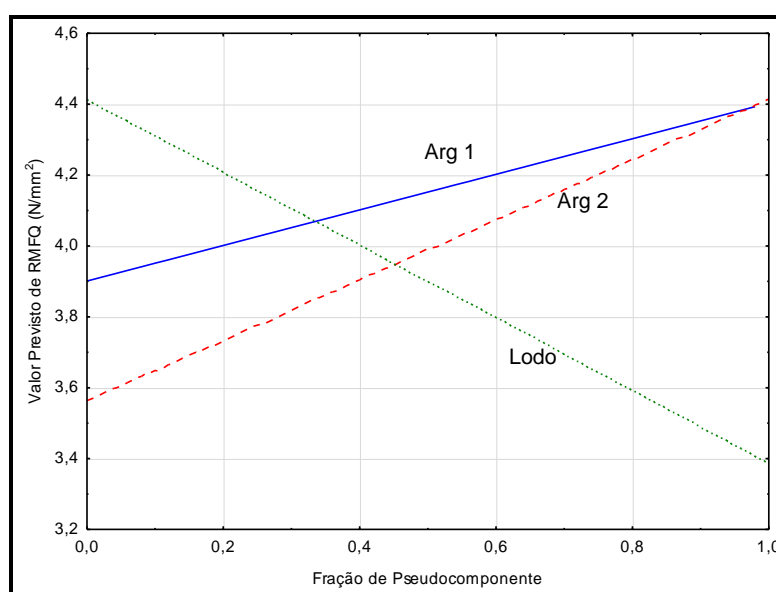


Figura 42: Gráfico de resposta de componentes individuais para a propriedade RMFQ.

4.3 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PATENTÁRIAS

A Figura 43 representa a linha de pesquisa utilizada para o levantamento das patentes. Essa lógica foi utilizada para buscar o afunilamento das patentes.

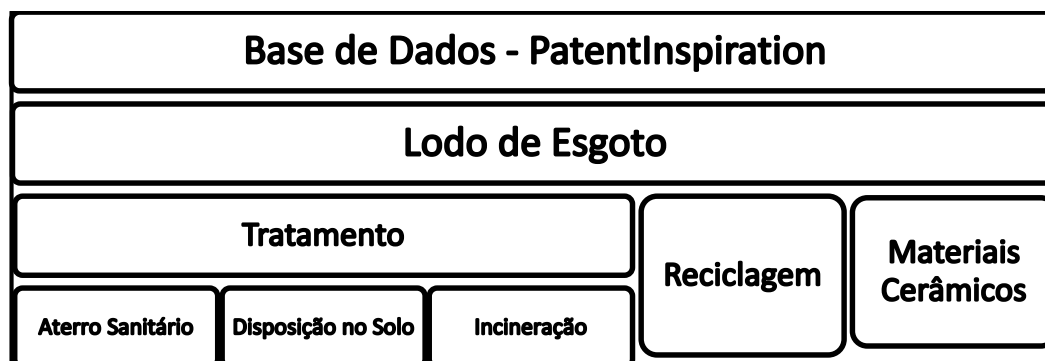


Figura 43: Estratégia de pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada um dos pontos pesquisados.

As Figuras 44, 45, 46, 47 e 48, representam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto. Com palavras “*Treatment*” e “*Sewage Sludge*” foram encontrados 1.377 pedidos de patentes.

A Figura 44 representa os depósitos nos últimos 50 anos. No ano de 2014 foram 40 depósitos. O ano com maior número de depósitos foi em 2008 (69), alavancado pela China com 30 depósitos, confirmando com Xie e Zhang (2014) e Fan (2014).

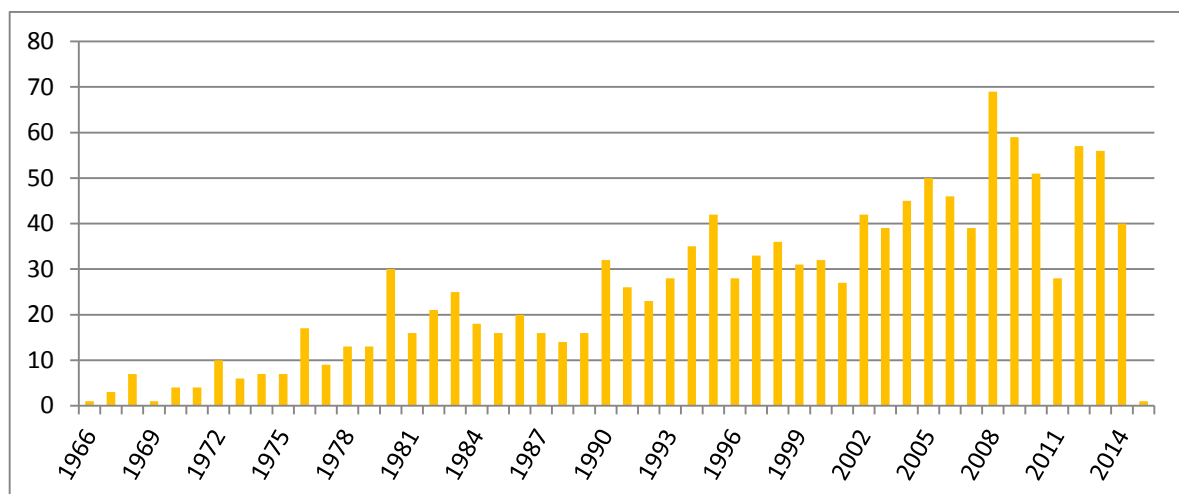


Figura 44: **Publicações de Patentes nos últimos 50 anos**

Fonte: Aulive

A Figura 45 demonstra os países com o maior número de depósitos de patentes relacionados ao resultado da pesquisa realizada foram: Alemanha (188), Coreia do Sul (85), Estados Unidos (84) e China (84).

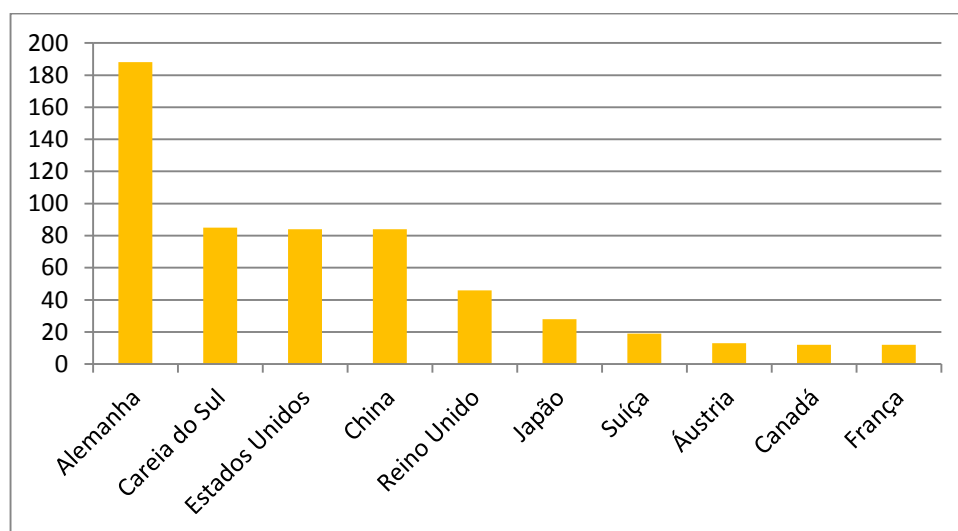


Figura 45: **Países com maior quantidade de patentes publicadas**

Fonte: Aulive

A Figura 46 demonstra a distribuição das requisições de patentes nos últimos 20 anos por país requerente. Na figura é possível verificar que a partir de 2007 uma mudança de comportamento das publicações. O crescimento da China e Coreia, declínio de publicações do Japão. Alemanha, Estados Unidos, EPO e WIPO mantendo suas médias de publicações.

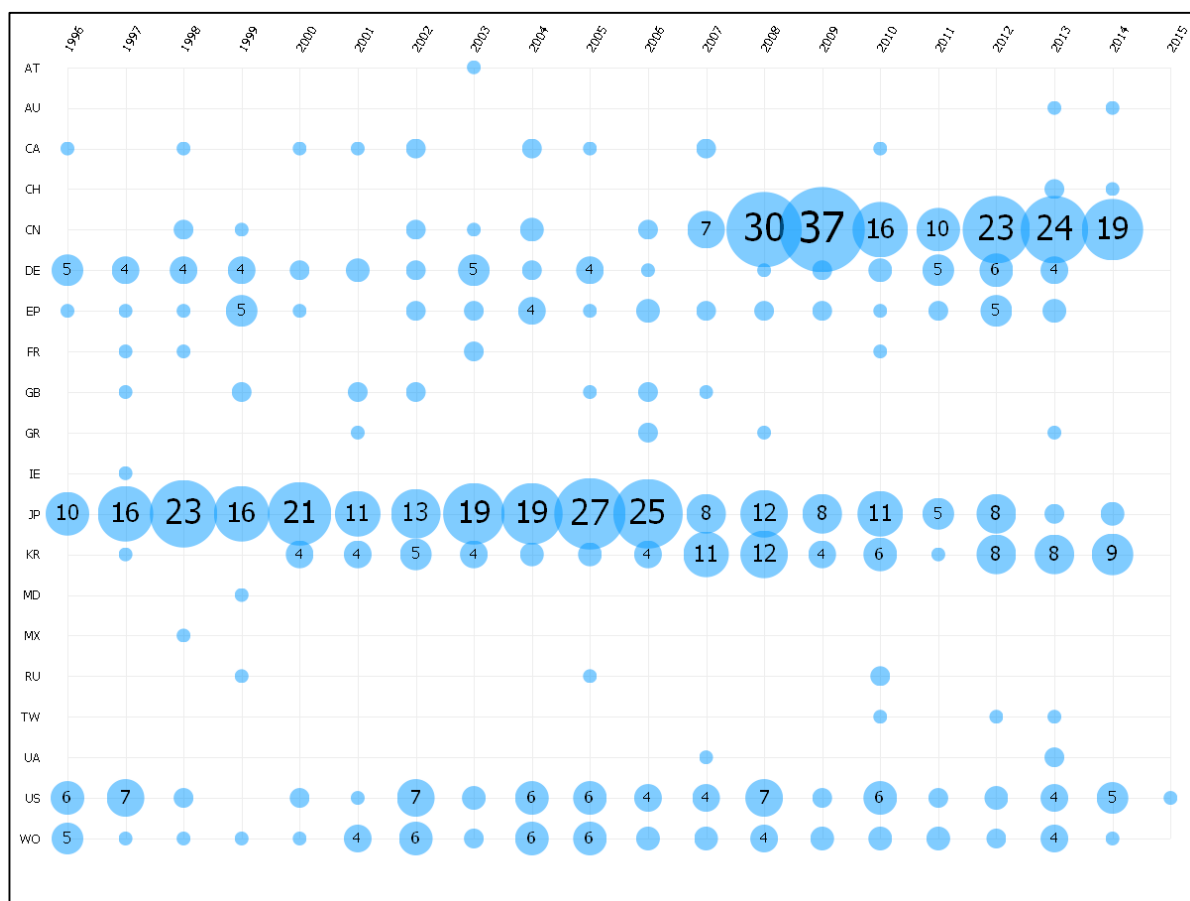


Figura 46: Distribuição das requisições de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 47 demonstra a distribuição das requisições de patentes nos últimos 20 anos por requerente. Destacam-se Taiheiyō Cement Corporation, maior empresa de cimento no Japão, com 13 patentes e Harbin Institute of Technology, uma das principais Universidade da China, membro da Aliança das nove Universidades - C9 League, com 9 patentes.

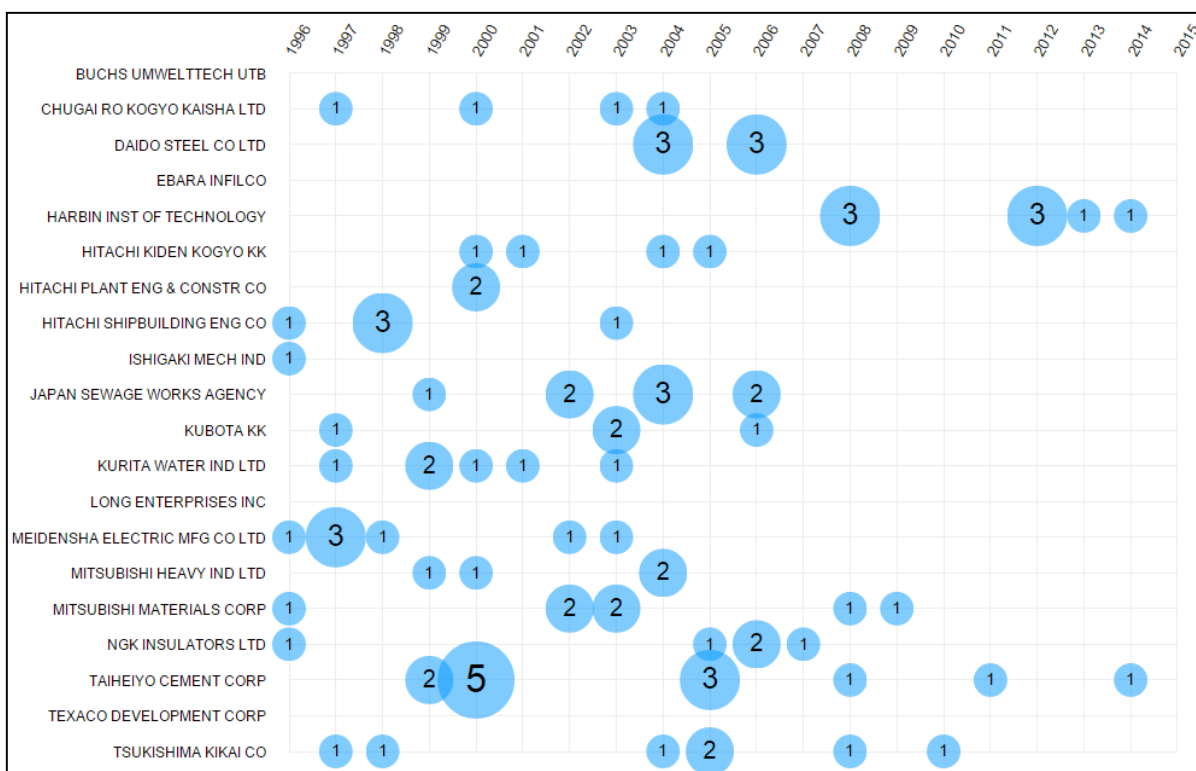


Figura 47: Requerentes nos últimos 20 anos

Fonte: Aulive

A Figura 48 demonstra que a principal classificação de patentes (IPC – International Patent Classification) obtida com a pesquisa foi o C02F (Tratamento de água, águas residuais, esgotos ou de lamas e lodos.), seguida do Y02E - Redução de gases de efeito estufa [GEE] emissão, relacionado com geração de energia, transporte ou distribuição.

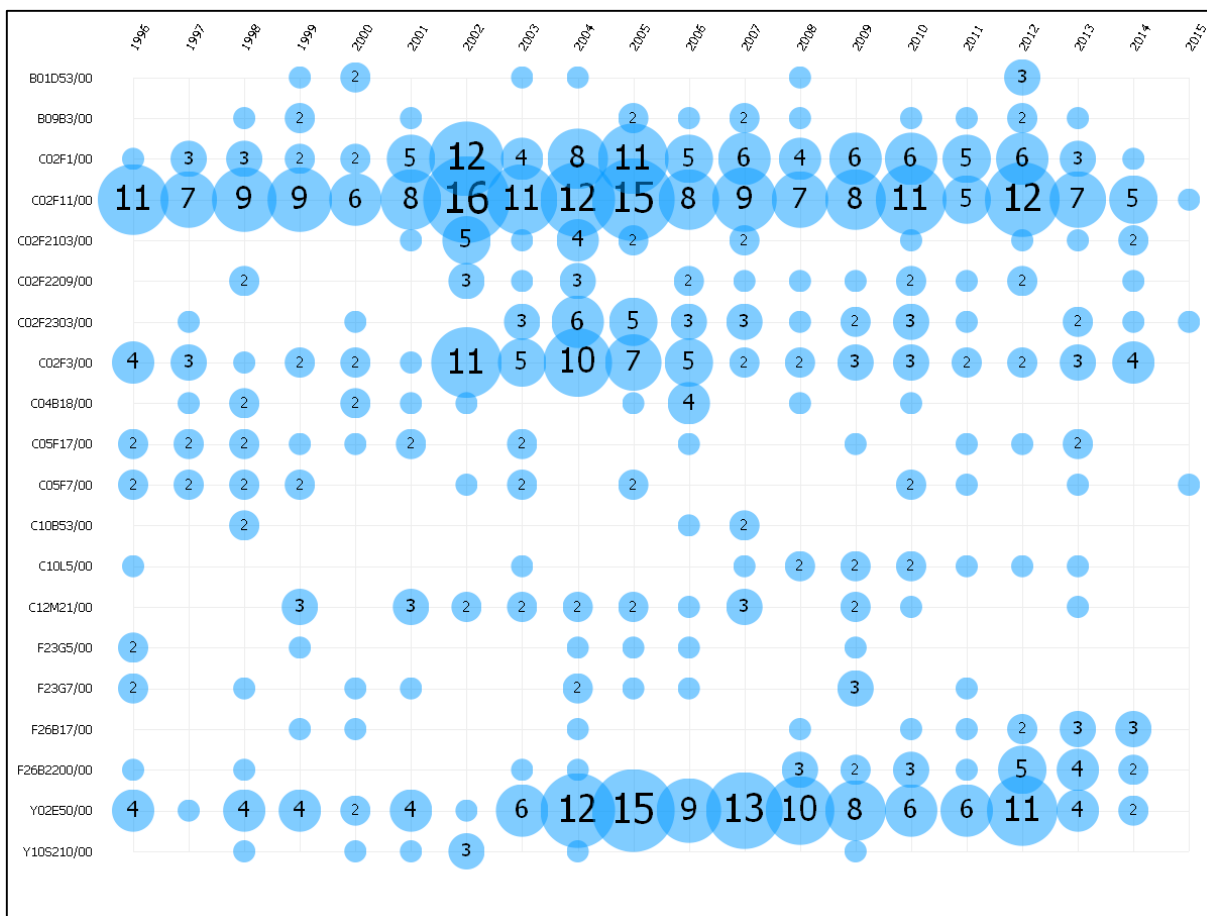


Figura 48: Classificação de Patentes

Fonte: Aulive

As Figuras 49, 50, 51 e 52 representam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto e aterro sanitário. Com palavras "Landfill", "Treatment" e "Sewage Sludge" foram encontrados 33 pedidos de patente.

A Figura 49 representa os depósitos nos últimos 40 anos. No ano de 2014 não houve depósitos. O ano com maior número de depósitos foi em 2008 (5), alavancado pela China com 3 depósitos confirmando com Xie e Zhang (2014) e Fan (2014).

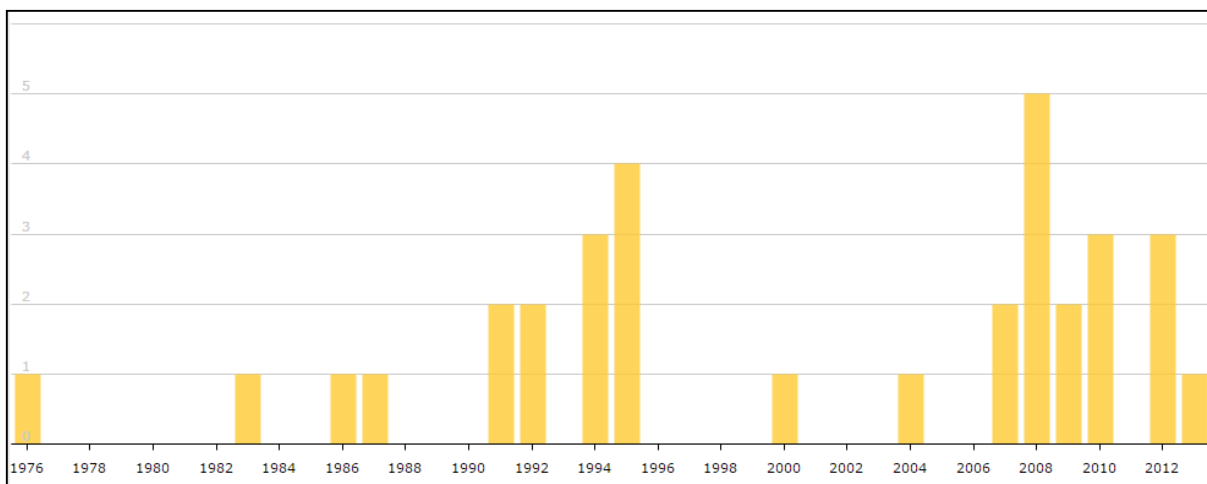


Figura 49: Publicações de Patentes nos últimos 40 anos

Fonte: Aulive

A Figura 50 demonstra a distribuição das requisições de patentes nos últimos 40 anos por país requerente. Na figura é possível verificar que a partir de 2007 um crescimento da China (7) e Coreia (6).

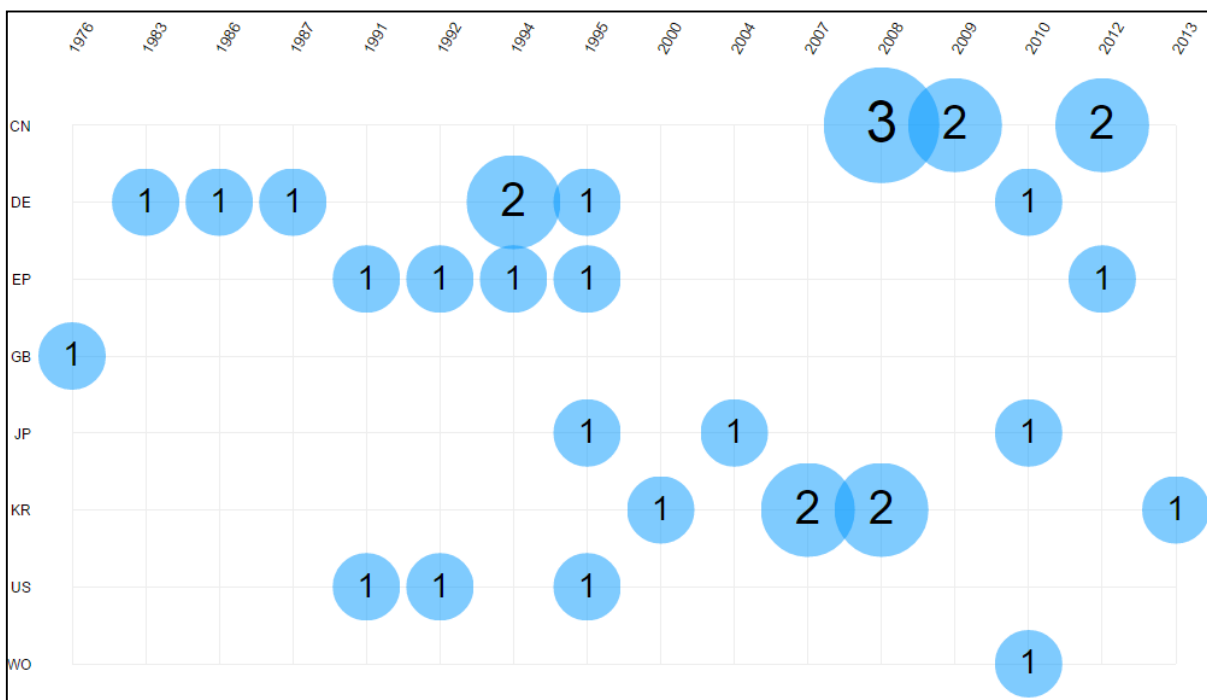


Figura 50: País requerentes de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 51 representa os principais requerentes de pedidos de patentes nos últimos 40 anos. Os maiores requerentes foram: BASF AG (4), industria química

alemã e Hehai University (2), universidade chinesa com foco em pesquisas e estudos de recursos hídricos.

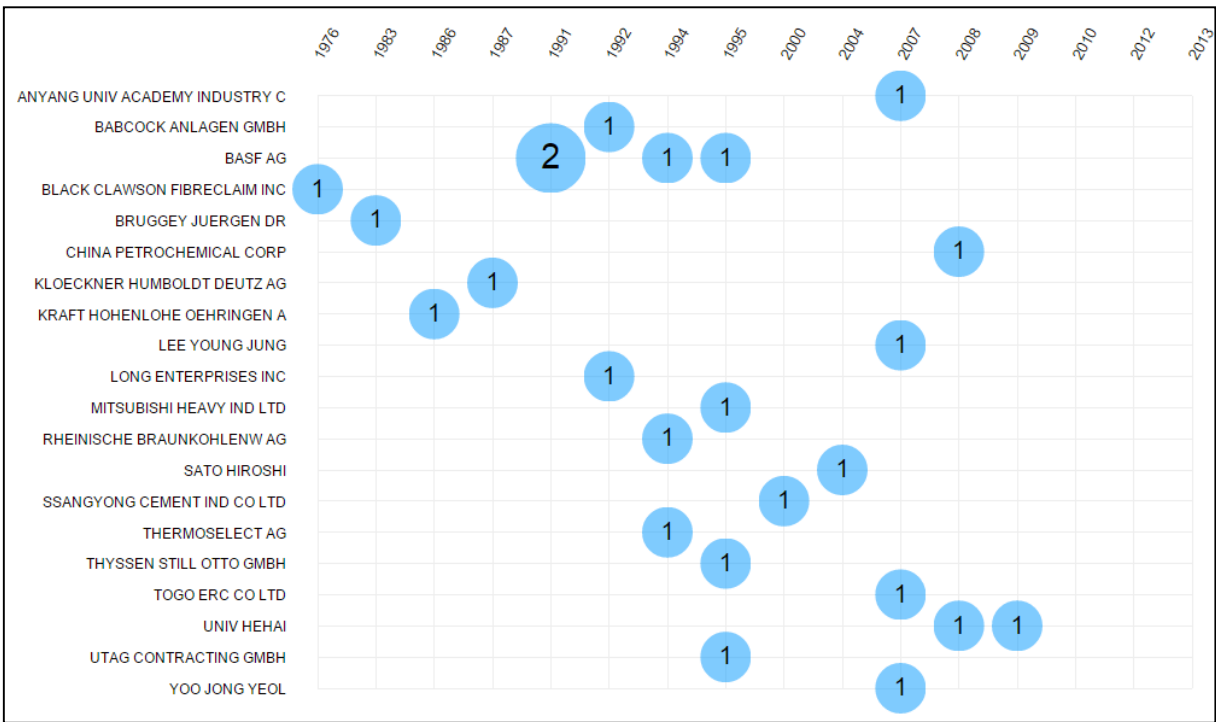


Figura 51: Maiores requerentes de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 52 demonstra que a principal classificação de patentes (IPC – International Patent Classification) obtida com a pesquisa foi o C02F (24) - Tratamento de Água, Efluente Industrial, Esgoto ou Lodo, seguida do Y02E (7) - Tecnologias para Produção de Combustível de Origem não Fóssil.

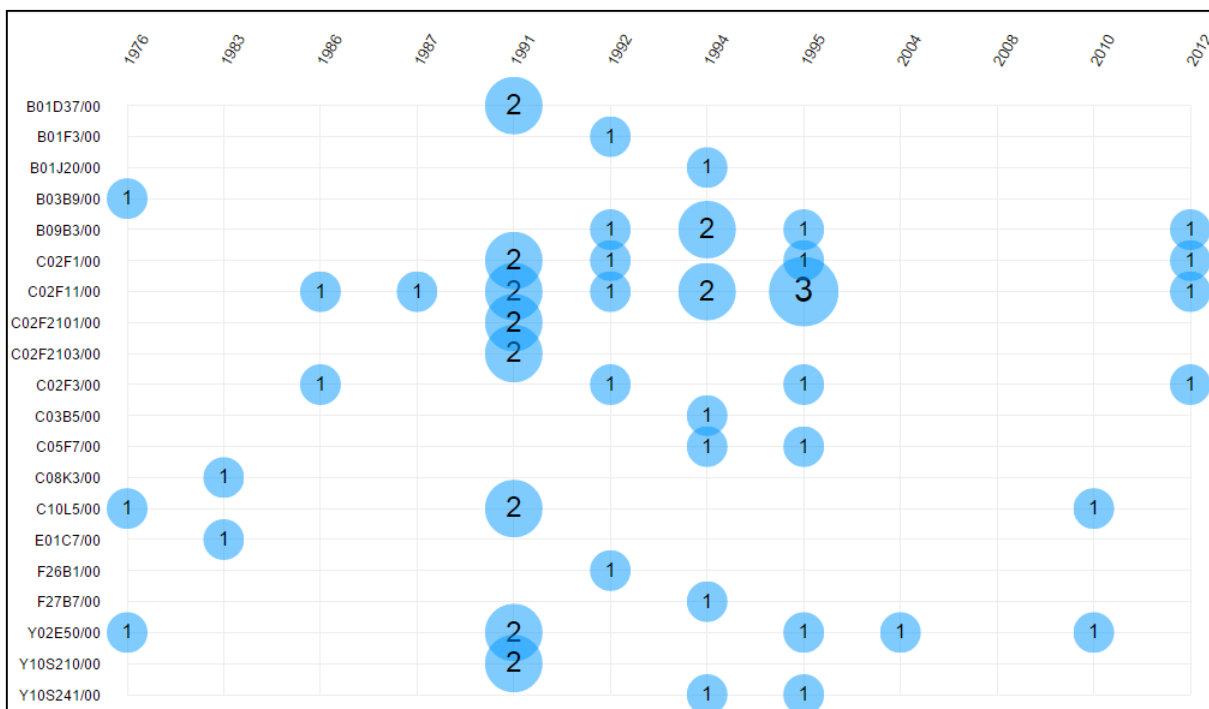


Figura 52: Principais classificações IPC

Fonte: Aulive

As Figuras 53, 54, 55, 56 e 57 representam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto e aterro sanitário. Com palavras "Incineration", "Treatment" e "Sewage Sludge" foram encontrados 199 pedidos de patente.

A Figura 53 representa as publicações nos últimos 50 anos. No ano de 2014 houve 4 publicações. Os anos com maior número de publicações foram em 1980 e 2000 (11).

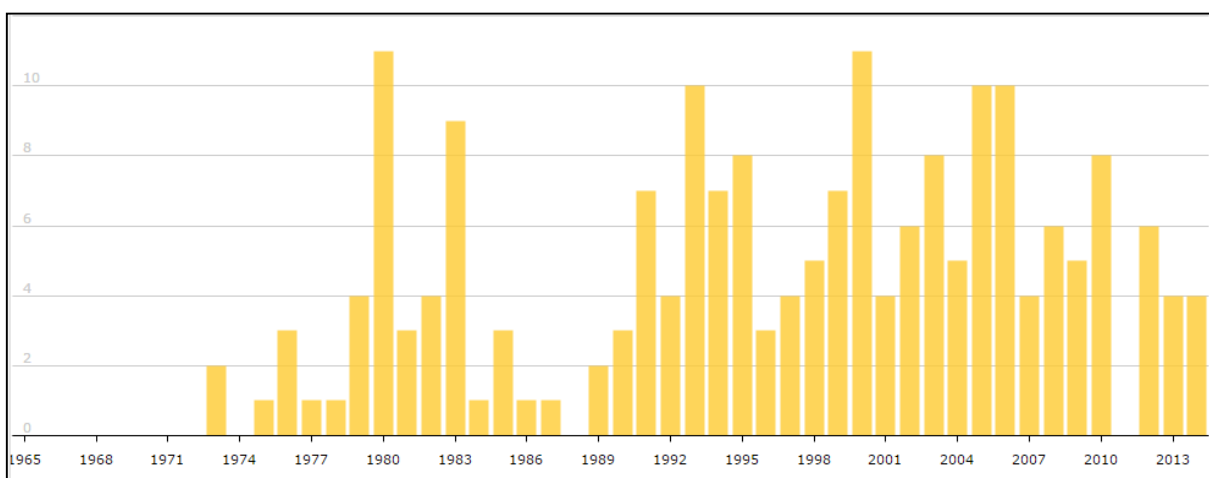


Figura 53: Distribuição de depósito de patentes nos últimos 50 anos

Fonte: Aulive

A Figura 54 apresenta os países com solicitação de depósitos de patentes. Os maiores requerentes são: Alemanha (14), Estados Unidos (10), China (6) e Coreia do Sul (6).

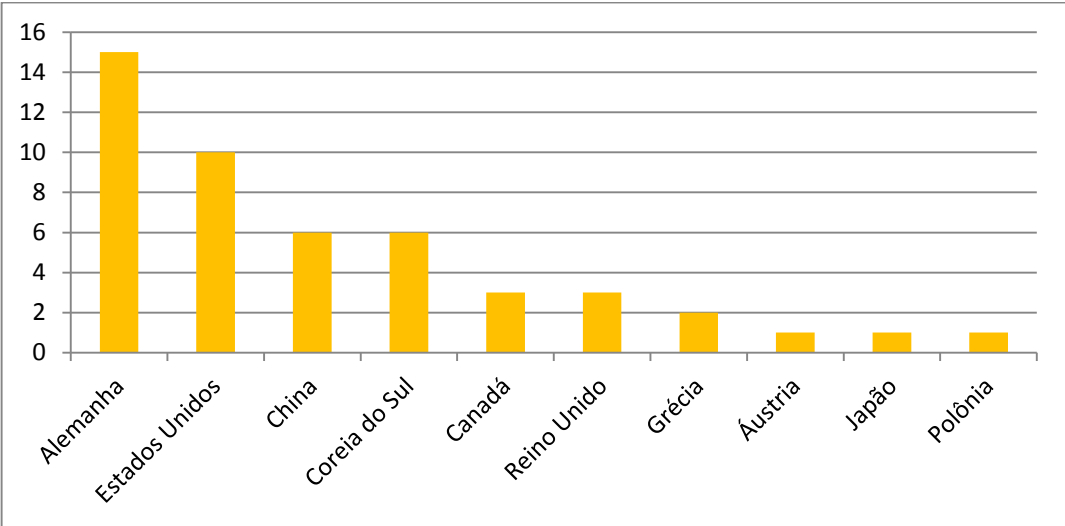


Figura 54: Países com maiores solicitação de depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 55 apresenta os países com solicitação de depósitos de patentes. O Japão lidera com 85 solicitações, e novamente, China e Coreia do Sul com 9 e 6 depósitos respectivamente.

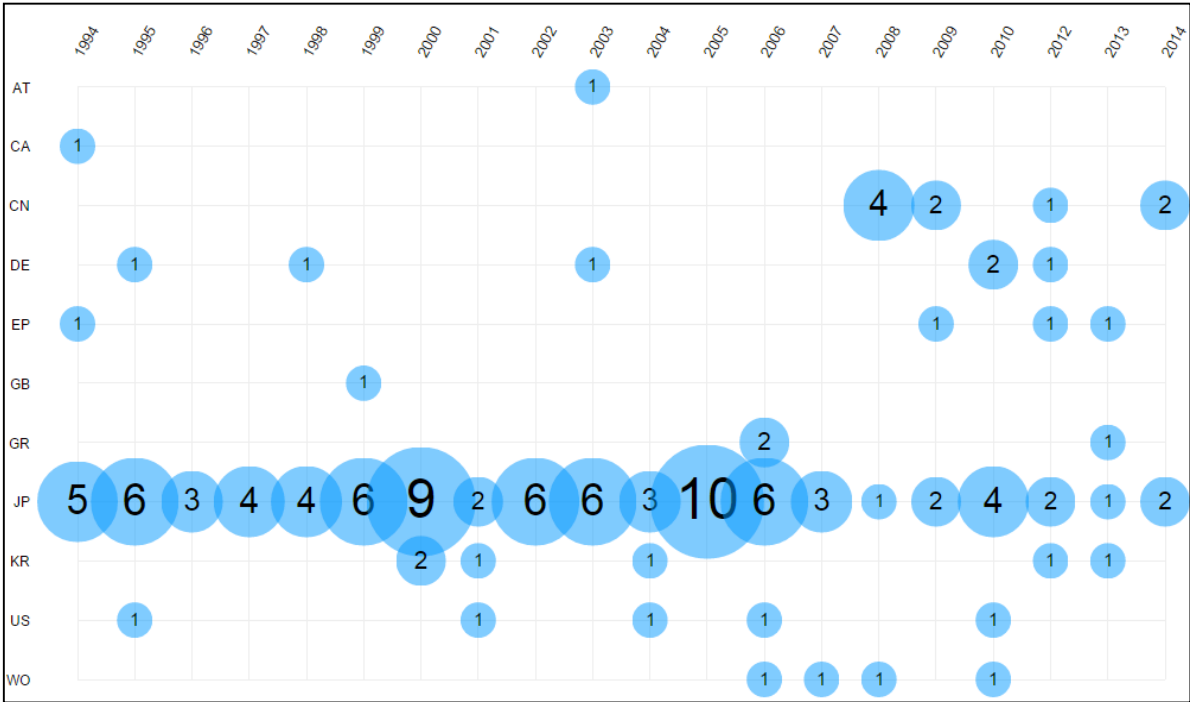


Figura 55: Países com maiores depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 56 demonstra que a principal classificação de patentes (IPC – International Patent Classification) obtida com a pesquisa foi o C04B (33) - Cal, Magnésia, Escória, Cimentos, Pedra Artificial, Tratamento da Pedra Natural. C02F (26) - Tratamento de Água, Efluente Industrial, Esgoto ou Lodo, seguida do Y02E (21) - Tecnologias para Produção de Combustível de Origem não Fóssil.

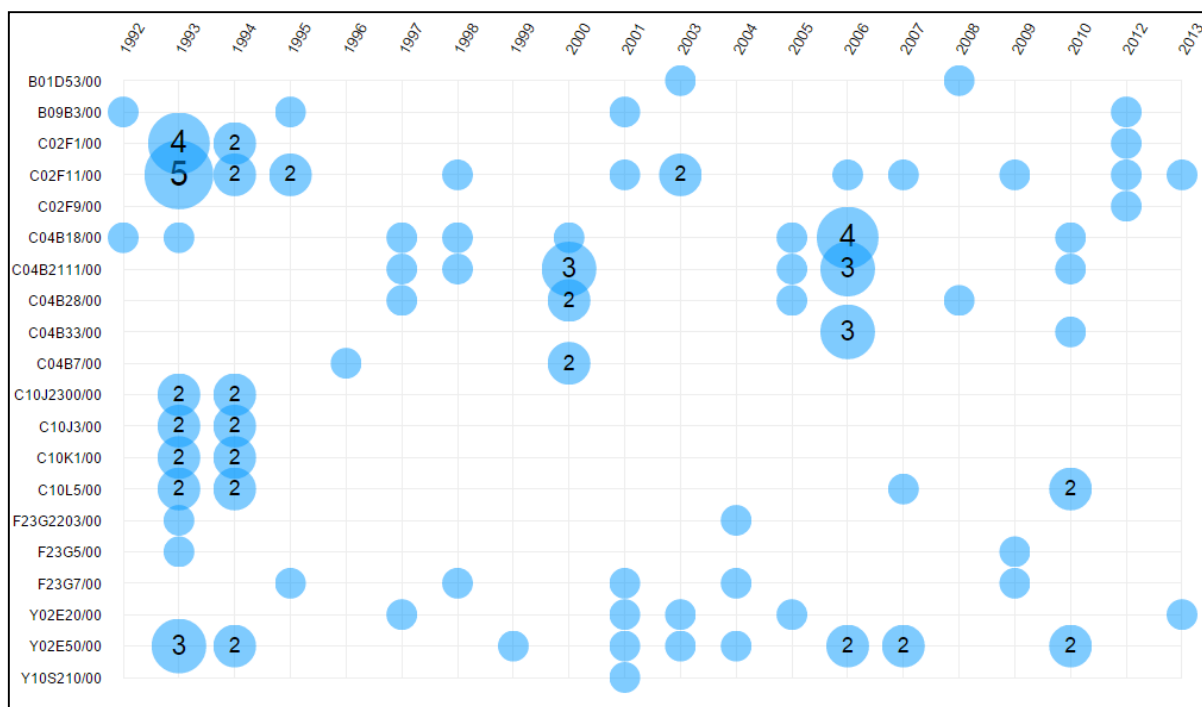


Figura 56: Principais classificações IPC

Fonte: Aulive

A Figura 57 demonstra a distribuição das requisições de patentes nos últimos 20 anos por requerente. Destacam-se Taiheiyo Cement Corporation, maior empresa de cimento no Japão, com 7 patentes e a Metawater, empresa de engenharia ambiental japonesa, com 6 patentes.

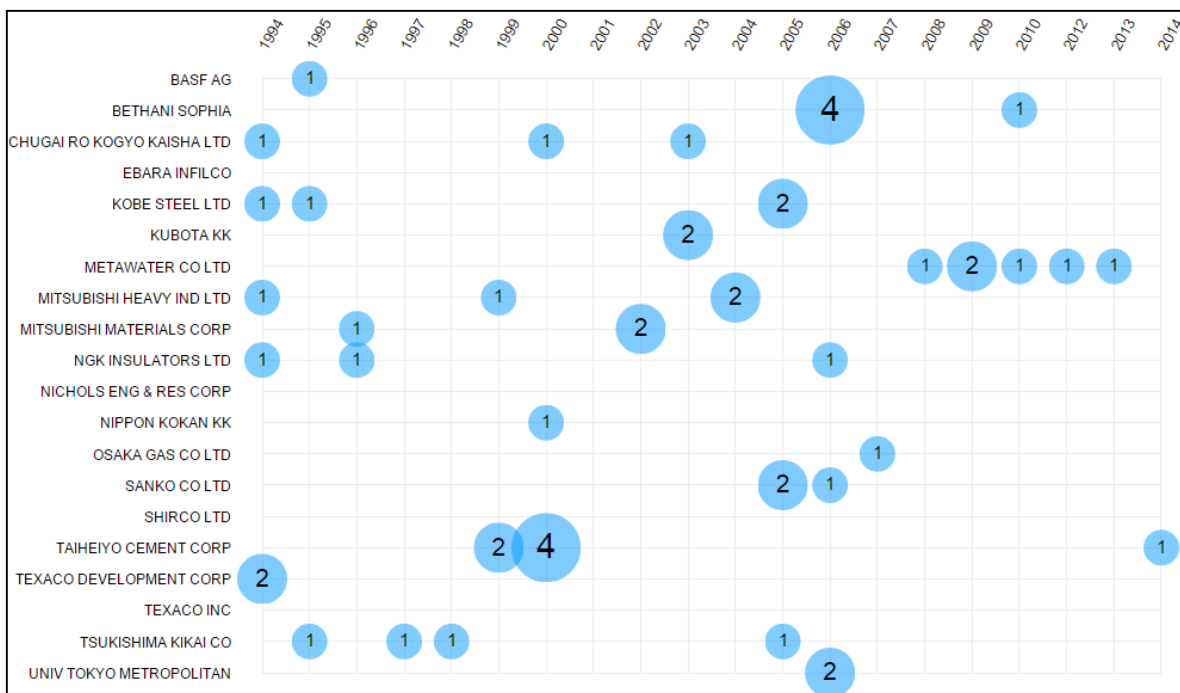


Figura 57: Maiores requerentes de patentes

Fonte: Aulive

As Figuras 58, 59, 60, 61 e 62 representam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto e aterro sanitário. Com palavras "Land", "Treatment" e "Sewage Sludge" foram encontrados 32 pedidos de patente.

A Figura 58 representa as publicações nos últimos 40 anos. No ano de 2014 não houve publicações. O ano com maior número de publicação foi 1993 (4).

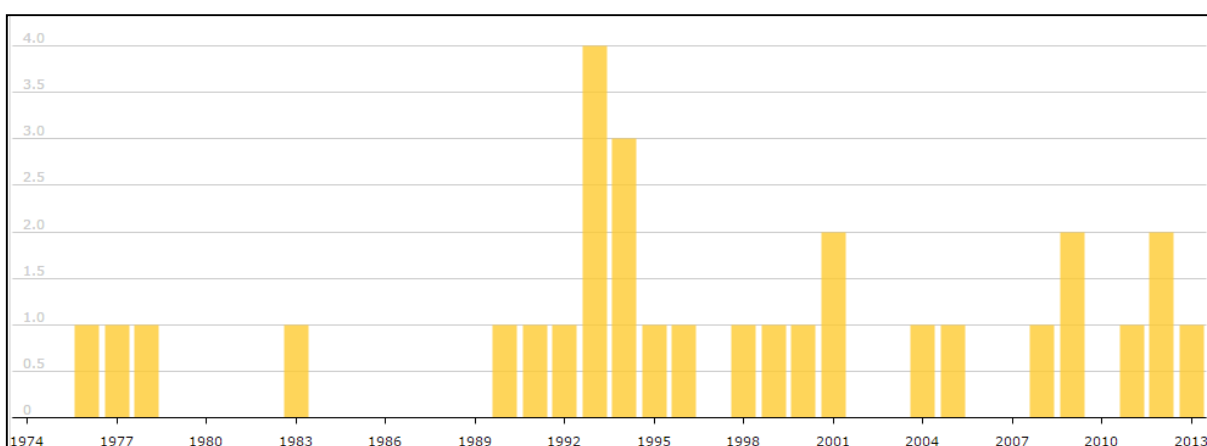


Figura 58: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 40 anos

Fonte: Aulive

A Figura 59 apresenta os países com solicitação de depósitos de patentes. Os maiores requerentes são: Estados Unidos (7), China (3) e Alemanha (3).

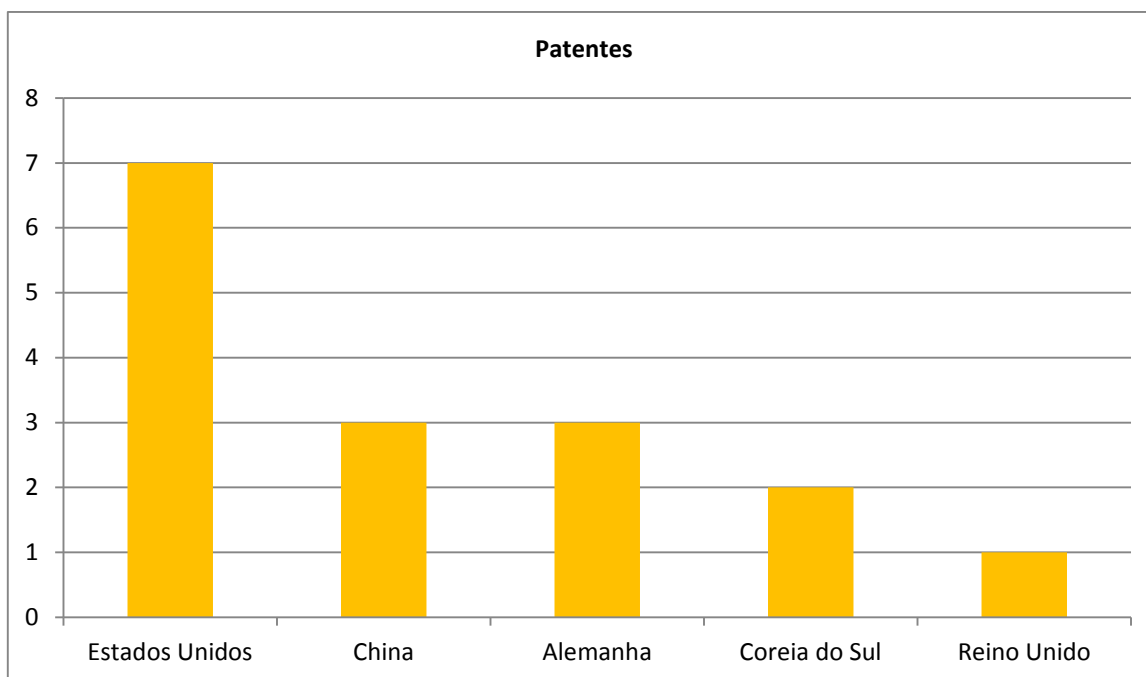


Figura 59: Países com maior número de depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 60 apresenta os países com solicitação de depósitos de patentes. O Japão, Estados Unidos e China as nações com mais depósitos de patentes. Entretanto, as patentes Chinesas foram concedidas nos últimos 10 anos.

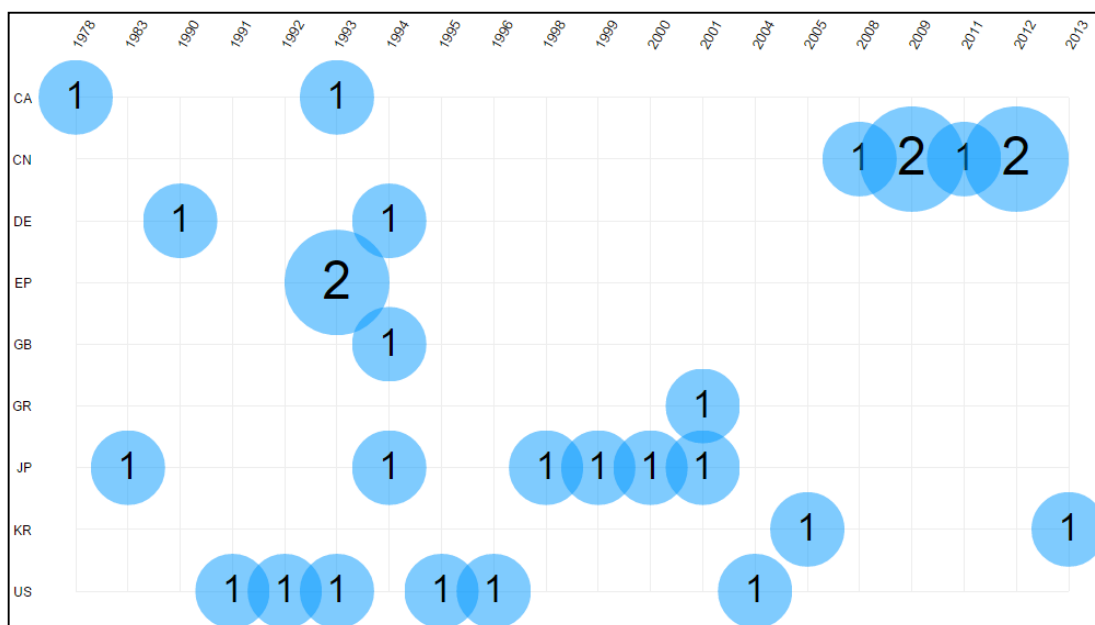


Figura 60: Distribuição dos depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 61 demonstra que entre 1997 e 2001 a principal classificação de patentes (IPC – International Patent Classification) obtida com a pesquisa foi o C02F (19) - Tratamento de Água, Efluente Industrial, Esgoto ou Lodo. Seguido do C05F (12) - Fertilizantes Orgânicos.

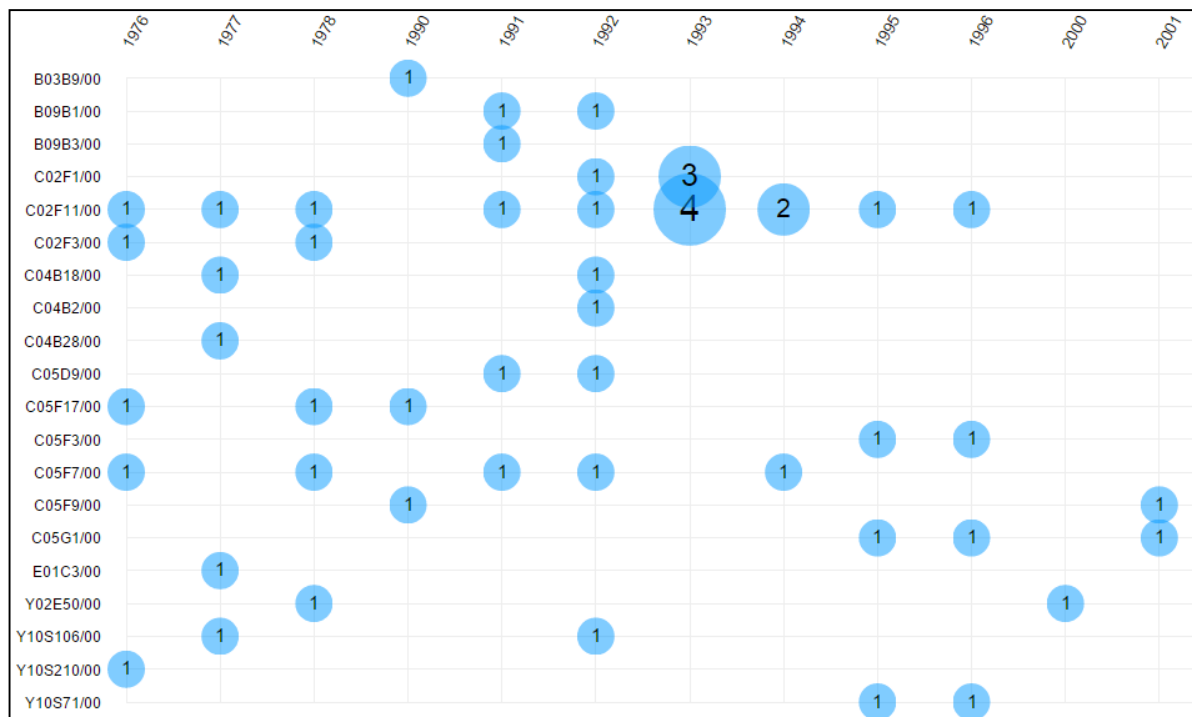


Figura 61: Principais classificações IPC

Fonte: Aulive

A Figura 62 demonstra a distribuição das requisições de patentes entre 1977 e 2001 por requerente. Destacam-se empresas americanas American Fly Ash, empresa do ramo da construção civil, Hondo Chemical, empresa do ramo de fertilizantes, com duas patentes e o conglomerado da petroleira Texaco com três patentes.

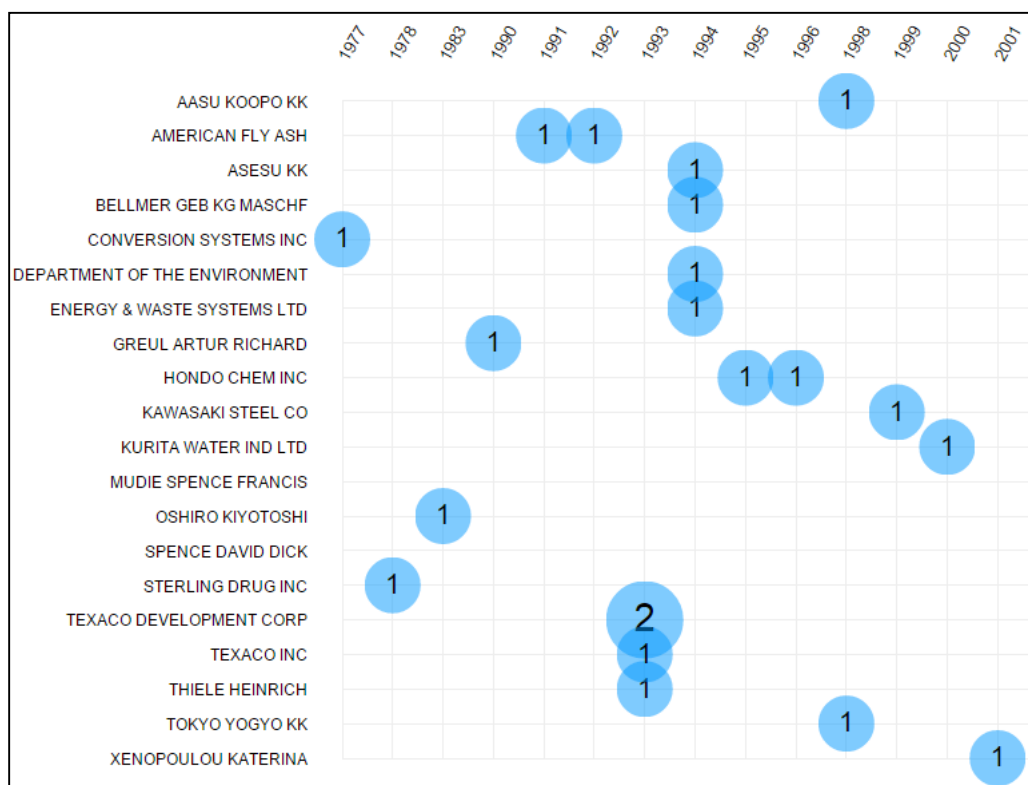


Figura 62: Maiores Requerentes de patentes

Fonte: Aulive

As Figuras 63, 64, 65, 66 e 67 apresentam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto. Com as palavras “Recycle” e “Sewage Sludge” foram encontrados 364 pedidos de patentes.

A Figura 63 representa as publicações nos últimos 20 anos. No ano de 2014 foram 13 publicações. O ano com maior número de publicação foi 2012 (29).

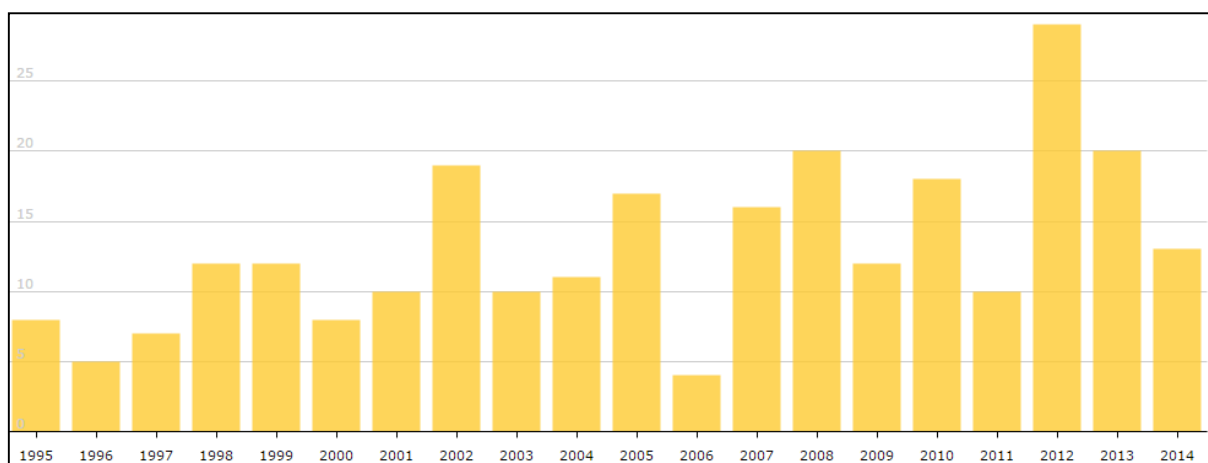


Figura 63: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 20 anos

Fonte: Aulive

A Figura 64 demonstra os países com o maior número de depósitos de patentes relacionados ao resultado da pesquisa realizada foram: Coreia do Sul (62), Alemanha (52) e Estados Unidos (43).

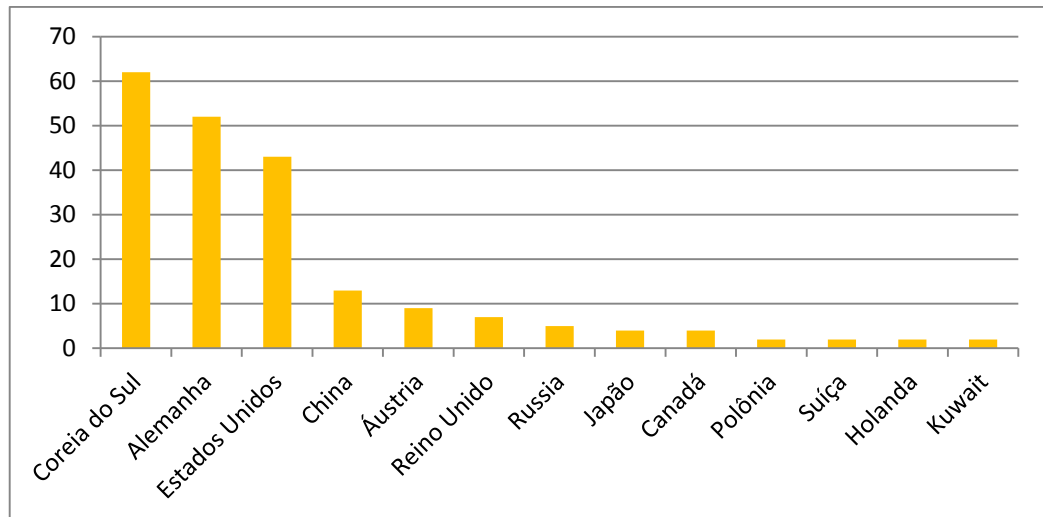


Figura 64: Países com maior número de depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 65 demonstra a distribuição das requisições das patentes nos últimos 20 anos. Na figura é possível a evolução da China e a Coreia do Sul elevando o número de depósitos de patentes.

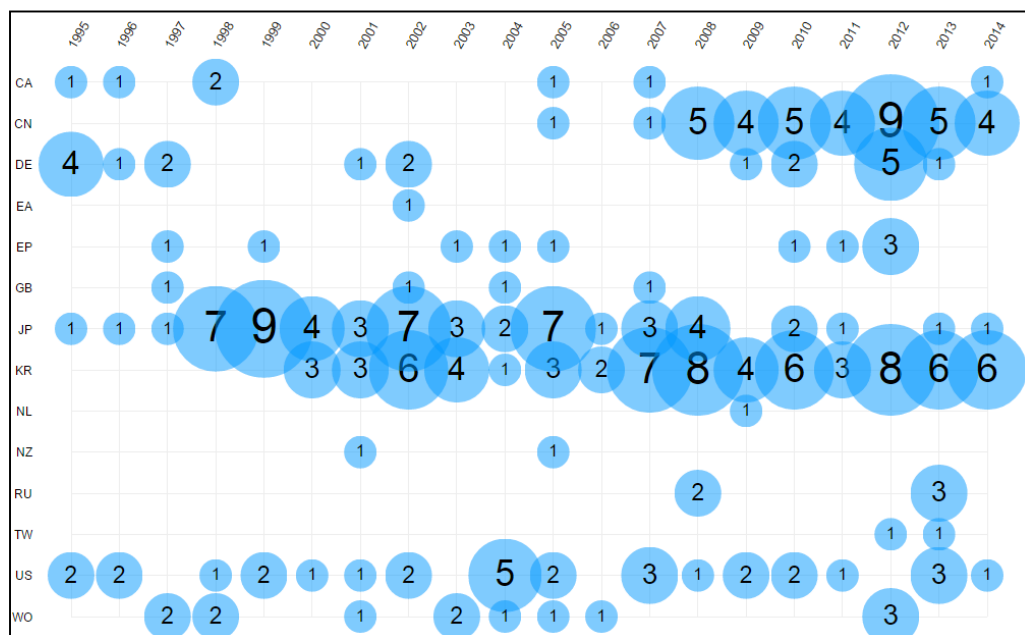


Figura 65: Distribuição dos depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 66 representa que a principal classificação de patentes (IPC – International Patent Classification) obtida com a pesquisa foi o C02F (Tratamento de água, águas residuais, esgotos ou de lamas e lodos) C05F (Fertilizantes orgânicos).

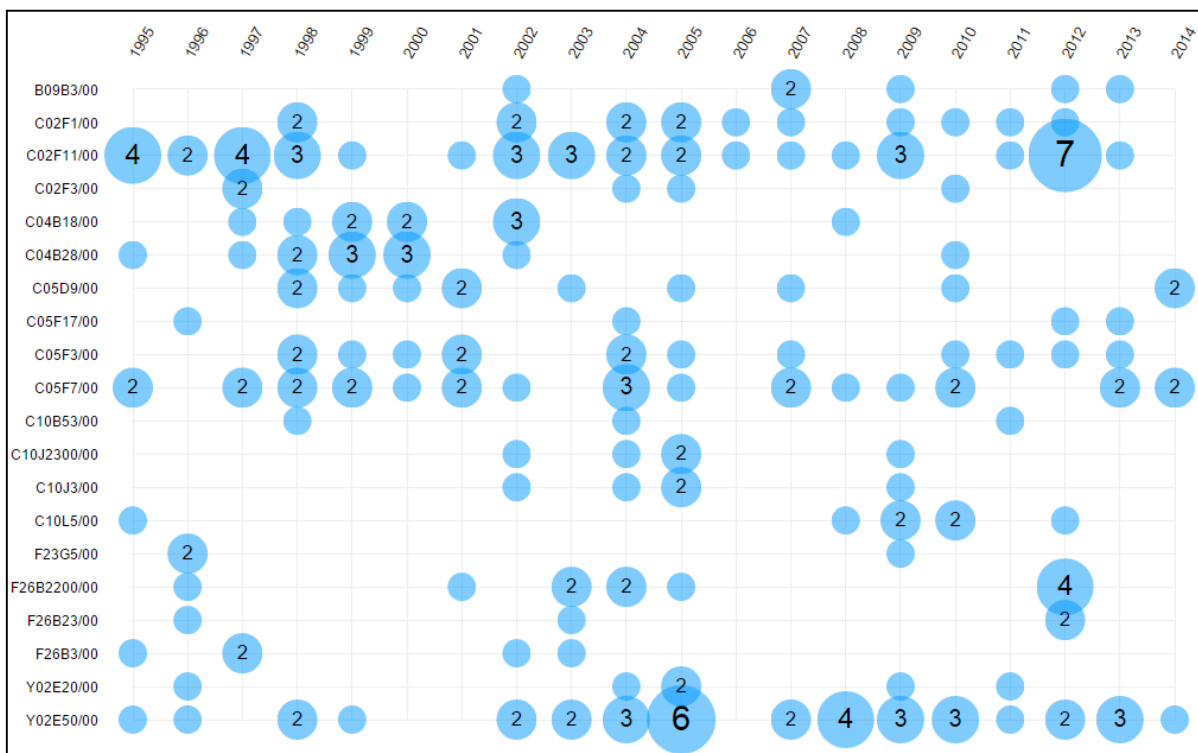


Figura 66: Principais classificações IPC

Fonte: Aulive

A Figura 67 representa os principais requerentes de pedidos de patentes nos últimos 20 anos. Os maiores requerentes foram: TAIHEIYO (9), DAHMS GARY (5), GREER GARY (5) e UNITY (5).

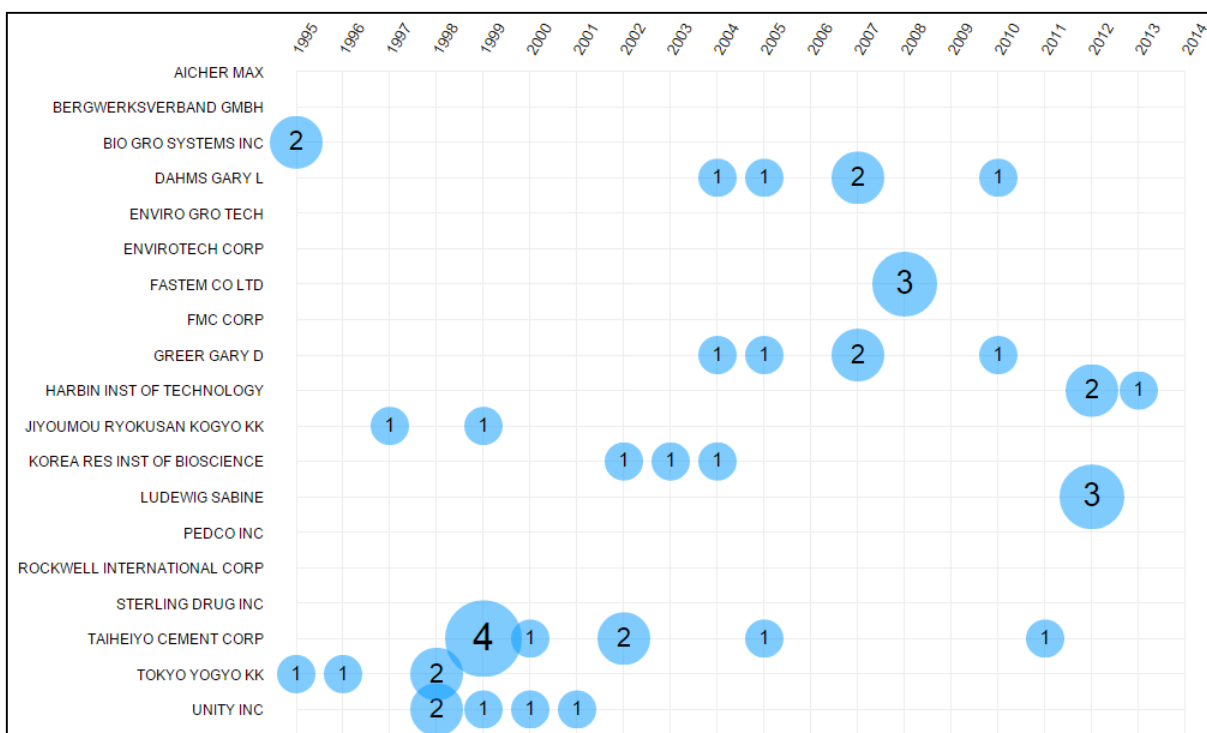


Figura 67: Maiores Requerentes de patentes

Fonte: Aulive

As Figuras 68, 69, 70 e 71 apresentam a pesquisa relacionada ao tratamento do lodo de esgoto. Com as palavras “Ceramic Materials” e “Sewage Sludge” foram encontrados 7 pedidos de patente.

A Figura 68 representa os depósitos nos últimos 20 anos, o baixo número de depósitos evidencia um possível a necessidade de desenvolvimento desta tecnologia.

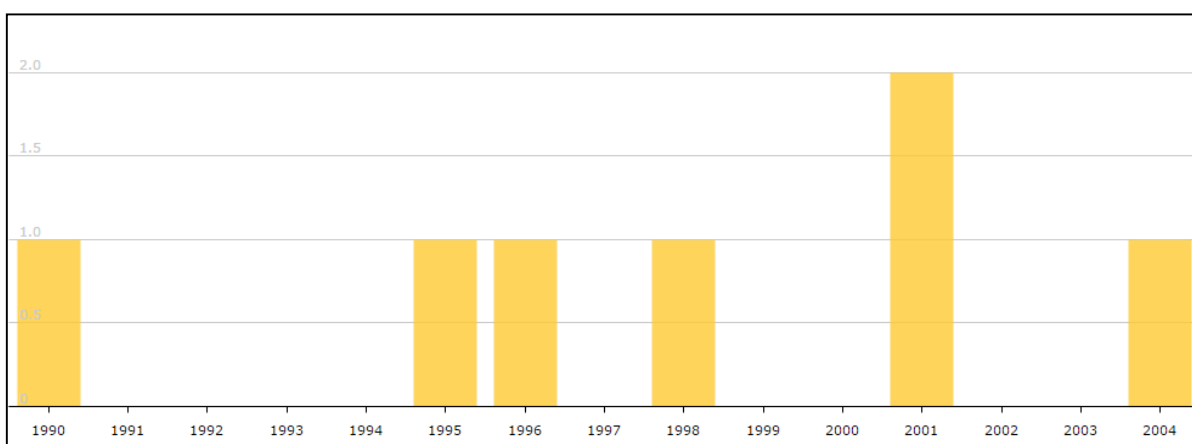


Figura 68: Distribuição dos registros de patentes nos últimos 20 anos

Fonte: Aulive

A Figura 69 apresenta os países onde receberam depósitos de patentes.

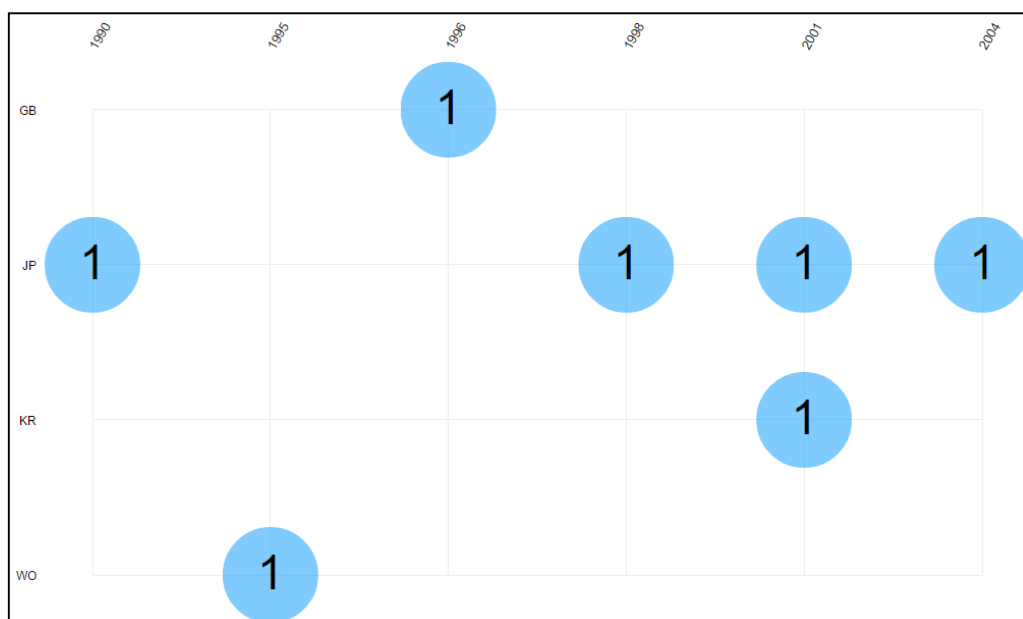


Figura 69: Distribuição dos depósitos de patentes

Fonte: Aulive

A Figura 70 representa que a principal classificação obtida com a pesquisa foi o C04B - Cal; magnésia; escória; cimentos; suas composições; pedra artificial; cerâmica, refratários; tratamento da pedra natural.

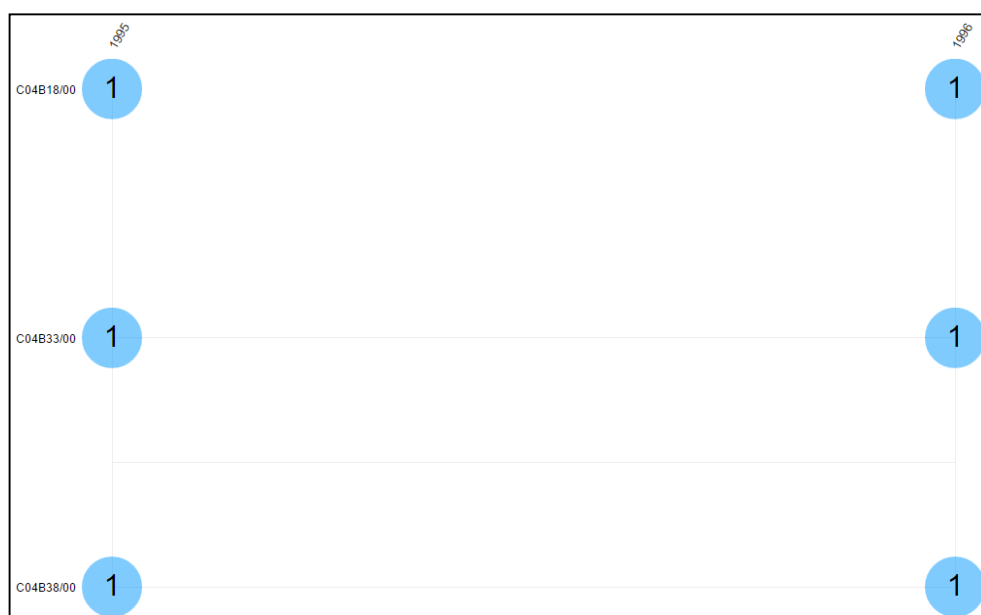


Figura 70: Principais classificações IPC

Fonte: Aulive

A Figura 71 representa os principais requerentes de pedidos de patentes nos últimos 20 anos. O maior requerente foi a NORITAKE (2), empresa japonesa de cerâmica.



Figura 71: Maiores Requerentes de patentes

Fonte: Aulive

Como a busca com as palavras "*ceramic materials*" e "*sewage sludge*" na base de dados retornou sete patentes, procedeu-se a leitura das patentes para verificar a aderência ao objetivo deste trabalho. O Quadro 7 apresenta os resumos das patentes analisadas. A análise das patentes revelou uma preocupação dos inventores com o tamanho das partículas, temperatura de sinterização e utilização de argilas com alto teor de alumina.

Quadro 7: Síntese das patentes

Código Patente	Título	Reivindicação	IPC
JP2004131331A	<i>Production method for tile using molten slag</i>	Fabricação de azulejos com utilização de cinzas de lodo de esgoto, controle do tamanho das partículas, umidade, prensagem e temperatura de sinterização.	C04B
KR20010077878A	<i>Mullite crystal-containing ceramic and its manufacturing</i>	Fabricação de material cerâmico com utilização de cinzas de lodo de esgoto, argilas com alta concentração de alumina e controle de temperatura de sinterização	C04B
JP2001097765A			C02F
JPH1095658A	<i>Production of ceramic material and ceramic tiles by effectively recycling garbage incineration molten-ash slag</i>	Fabricação de telhas e piso intertravado, a partir de resíduos urbanos, lodo de esgoto e outros resíduos industriais. Com controle de moagem e matéria-primas.	E04F
GB2297971A	<i>Ceramic materials and method of manufacturing such materials</i>	Técnica de encapsulamento de metais pesados proveniente do lodo de esgoto.	C04B
WO9511865A1			
JPH02129061A	<i>Production of ceramics utilizing incineration ash of sewage sludge</i>	Obtenção de materiais sustentáveis a partir da utilização de cinzas de lodo de esgoto, com adição de argilas com alto teor de alumina e silicatos e controle da sinterização	C04B

Fonte: autor

Durante a consolidação dos dados da pesquisa, foi possível observar um crescimento dos pedidos de patentes pela China a partir do ano 2000.

Segundo Xie e Zhang (2014), houve uma explosão de pedidos de patentes na China nas últimas três décadas. Pode-se esperar um crescimento ainda maior para os próximos anos. Em novembro de 2012, durante a 18^o Congresso do Partido Nacional, a China anunciou a transição para uma economia orientada para a inovação (Fan, 2014).

Zheng (2014) afirma que poucos pesquisadores chineses não procuram patentear suas ideias no exterior. Entre 2005 e 2009 menos de 5% das patentes

registradas no Escritório Chinês foram patenteadas em outros países. Nos Estados Unidos, o valor era de 27%; na Europa, mais do que 40%.

O Quadro 8 resume a pesquisa sobre patentes na base da AULIVE, o quadro foi elaborado a partir das informações fornecidas pela ferramenta PatentInspiration em cada pesquisa realizada.

Quadro 8: Resumo da pesquisa na base de dados da AULIVE

Cluster	Classificação	Escritório	Requisitante
<i>"Treatment" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (1377)</i>	C02F (435) Y02E (128) C05F (38) F26B (38) C12M (22)	Japão (257) China (177) Coreia do Sul (87) Estados Unidos (78) WIPO (59)	Taiheiyo Cement Corp (13) Japan Sewage Works Agency (8) Harbin Inst of Technology (8) Meidensha Electric Mfg (7) Tsukishima Kikai Co (7)
<i>"Landfill" AND "Treatment" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (33)</i>	C02F (24) Y02E (7) B09B (5) C10L (4) Y10S (4)	Alemanha (7) China (7) Coreia do Sul (6) EPO (5) Estados Unidos (3)	Basf AG (4) Univ Hehai (2) Anyang Univ Acad Ind (1) Babcock Anlagen Gmbh (1) Black Clawson Fibreclaim (1)
<i>"Incineration" AND "Treatment" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (199)</i>	C04B (33) C02F (26) Y02E (21) F23G (9) C10J (8)	Japão (85) China (9) Alemanha (6) Coreia do Sul (6) Estados Unidos (5)	Taiheiyo Cement Corp (7) Metawater Co Ltd (6) Bethani Sophia (5) Kobe Steel Ltd (4) Mitsubishi Heavy Ind Ltd (4)
<i>"Land" AND "Treatment" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (32)</i>	C02F (19) C05F (12) Y10S (5) C04B (4) C05G (3)	Estados Unidos (8) Japão (7) China (6) Alemanha (2) EPO (2)	Texaco Inc (3) American Fly Ash (2) Hondo Chem Inc (2) Aasu Koopo Kk (1) Asesu Kk (1)
<i>"recycle" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (364)</i>	C02F (65) C05F (50) Y02E (44) C04B (31) F26B (20)	Coreia do Sul (72) Japão (58) China (39) Estados Unidos (31) Alemanha (20)	Taiheiyo Cement Corp (9) Unity Inc (8) Greer Gary D (5) Dahms Gary L (5) Tokyo Yogyo (4)
<i>"ceramic materials" AND "sewage sludge" in Title or Abstract (7)</i>	C04B (12) E04F (1) C02F (1)	Japão (4) Coreia do Sul (1) Reino Unido (1) WIPO (1)	Noritake Co Ltd (2) Anderson Michael (1) Birchall Colin (1) British Tech Group (1) Kanko Unyu Kk (1)

Fonte: Adaptado de AULIVE (2015)

5. CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA

A geração de lodo é intrínseco às atividades de saneamento. O tratamento de esgoto produz resíduos que demandam destinação adequada, a fim de potencializar os efeitos favoráveis ao meio ambiente.

Este foi o desafio deste trabalho: contribuir com uma alternativa para reciclagem do lodo e promover o desenvolvimento sustentável do setor de saneamento.

Os resultados deste trabalho têm aplicação em dois setores: Saneamento Básico e Cerâmico.

Para o setor de saneamento básico destaca-se que a valorização do lodo de tratamento de esgoto como matéria-prima alternativa para indústria cerâmica, podendo fazer com que uma fonte de despesa transforma-se em uma fonte de receita para o setor, favorecendo a sustentabilidade ambiental e econômica.

A utilização do lodo proporcionará ao setor cerâmico a produção de produtos sustentáveis, com menor custo de produção associados as matérias-primas

Outro produto do trabalho, as informações patentárias, forneceram informações relevantes sobre tecnologias associadas à temática estudada. A partir das informações levantadas é possível verificar os principais requerentes, países e classificações (IPC). Por tanto, direcionando ações de Pesquisa & Desenvolvimento.

6. CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica relacionada a utilização de lodo de estação de tratamento de esgoto como matéria-prima alternativa na obtenção de materiais cerâmicos, que visa contribuir com uma alternativa de reciclagem do lodo de esgoto e promover o desenvolvimento sustentável do setor.

Para tanto, a construção do referencial teórico apresentado buscou compreender os aspectos do desenvolvimento sustentável, sustentabilidade, disposição do lodo, reciclagem e informações patentárias.

A pesquisa realizada na literatura revelou que o aterro sanitário é a disposição mais comum no Brasil, chegando ao patamar de 45%, considerado os aterros não controlados. A reciclagem agrícola ainda é muito tímida, entretanto vem ganhando espaço pelo avanço de estudos na área liderada pelas empresas de saneamento.

A análise química do lodo comprovou a presença de 31% de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 e Fe_2O_3), que confirmaram outras caracterizações encontradas na literatura, como estudos de Mike *et al.* (2001) e Santos e Tsuttiya (1997). As fases cristalinas do lodo comprovam a presença de quartzo, caulinita, illita entre outros minerais. Esta composição demonstra o potencial do lodo de esgoto como matéria-prima na produção de cerâmicas.

Os resultados da pesquisa demonstram a presença de aproximadamente 65% de matéria orgânica, sendo necessária a inclusão de uma operação unitária no processo de reciclagem do lodo na obtenção de materiais cerâmicos a calcinação do lodo de esgoto.

O planejamento experimental {3,2}, originando seis formulações dos três componentes (dois tipos de argila e lodo) mostrou-se adequada.

Com a utilização do Software *Statistica 10.0* foram obtidos modelos de regressão com a composição, relativos às propriedades de retração linear (a seco), absorção de água (sinterizado) e resistência mecânica à flexão (a seco e sinterizado). A análise estatística mostrou que todos os modelos foram significantes.

Neste trabalho evidenciou-se a possibilidade de desenvolver materiais cerâmicos classificados como poroso (Grupo III) com adição de até 10% de lodo na composição da massa cerâmica.

A partir das informações levantadas na base de dados da AULIVE (2015), foi possível verificar que no universo de 69 milhões de depósitos de patentes, foram encontradas 1377 depósitos, ou seja, 0,002% dos depósitos de patentes estão relacionados ao tratamento de lodo de esgoto.

Em relação aos demais *cluster* pesquisados, os depósitos de patente são ainda menores 364 depósitos para reciclagem de lodo de esgoto e somente sete depósitos para materiais cerâmicos e lodo de esgoto.

Pode-se levantar três hipóteses com o resultado da pesquisa: (1) Os pesquisadores não tiveram interesse no depósito da patente, (2) Área carente de pesquisa ou (3) As pesquisas falharam.

Na pesquisa ficou evidenciado que o Japão recebeu a maior quantidade de depósitos de patentes com 417, correspondente a 23,86%. A classificação IPC com maior representatividade foi o C02F (576) - Tratamento de água, águas residuais, esgotos ou de lamas e lodos. A fabricante de cimento Taiheiyo foi o principal requerente de patentes na pesquisa realizada com 29 solicitações de patentes.

Outro achado de pesquisa foi o avanço chinês nos depósitos nos últimos anos, chegando hoje a 238 depósitos. A China ficou atrás somente do Japão. Este fato foi evidenciado pelos chineses Xie e Zhang (2014) que observaram uma explosão de pedidos de patentes na China nas últimas três décadas. Fan (2014) espera um crescimento ainda maior para os próximos anos, já que a partir de novembro de 2012, a China anunciou a transição para uma economia orientada para a inovação.

Retomando ao objetivo proposto, acredita-se na possibilidade de produção de material cerâmico a partir do lodo de esgoto. A ferramenta PatentInspiration mostrou-se uma grande fonte de informações tecnológicas a serem explorada pelos pesquisadores na busca do "estado da arte".

Sugere-se para pesquisas futuras a ampliação do escopo desta pesquisa com: (a) alinhamento do processamento cerâmicos com as informações patentárias, (b) a ampliação do delineamento experimental para {3,3} aumentando para 10 formulações de massa cerâmica (c) um refinamento das palavras chaves na ferramenta PatentInspiration.

REFERÊNCIAS.

- ABC. <http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=2>. **Associação Brasileira de Cerâmica – ABC**, 2013. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/>>. Acesso em: 2 maio 2013.
- ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica. **Associação Brasileira de Cerâmica**, 2011. Disponível em: <www.abceram.org.br>. Acesso em: 30 jan. 2015.
- ABNT. **NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2004.
- ABNT. **NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2004.
- ALEXANDRE, J. et al. Utilização de planejamento em rede Simplex na previsão de propriedades mecânicas de peças cerâmicas vermelhas. **Cerâmica [online]**, v. 47, n. 303, p. 170-174, 2001. ISSN 0366-6913.
- ALVES, H. J. et al. Porosidade Susceptível ao Manchar em Porcelanato Polido. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 1, p. 21-26, 2009.
- AMORÓS, J. L. et al. Elasticidade dos suportes e vidrados cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3, p. 19-27, 1997.
- ANDREASSI, T. **Repensar a Graduação da Eaesp**: um estudo de caso de inovação. São Paulo: FGV-EAESP, 2004.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. **Gestão de Biossólidos**: Situação e Perspectivas. Anais do I Seminário de Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. Curitiba: SANEPAR/ABES. 1998. p. 11-18.
- ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgoto: Tratamento e Disposição Final**. 1. ed. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento do Paraná, v. 6, 2001.
- ARAÚJO, F. S. D. et al. **Caracterização de matérias-primas para reuso de lodo de ETE em produtos cerâmicos**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande: [s.n.]. 2008.
- BARBIERI, J. C. et al. Inovação e Sustentabilidade: Novos Modelos e Proposições. **RAE**, São Paulo, 50, n. 2, abr./jun. 2010. 146-154.
- BARBIERI, J. C.; ÁLVARES, A. C. T.; CAJAZEIRA, J. E. R. E. R. **Gestão de ideias para inovação contínua**. [S.l.]: Bookman, 2009.
- BARBOSA JR, J. C. **Controle da distribuição de tamanho de partículas cerâmicas no processamento de pavimentos gresificado**. (Dissertação) Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p. 185. 1997.
- BARCELLOS, E. E. et al. **Utilização do lodo de estação de tratamento de efluentes como matéria prima para compósitos cerâmicos**. Encontro Pós-Graduação UFPEL. Pelotas: [s.n.]. 2012.
- BAZZO, W. A.; LINSINGEN, I. V.; PEREIRA, L. T. Introdução aos estudos (CTS) (Ciências, Tecnologia e Sociedade). **Cadernos de Ibero-América**, 2003.

BELLEN, H. M. V. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 7, n. 1, 2003.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. **Oportunidades de eficiência energética na indústria**: relatório setorial: setor cerâmico. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2010.

BERTOLINO, L. C. et al. Influence of iron on kaolin whiteness: An electron paramagnetic resonance study. **Applied Clay Science**, v. 49, p. 70-75, 2010.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Lodo de esgoto**: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BETZ, F. **Managing Technology**: competing through new ventures, innovation and corporate research. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall College, 1987.

BRASIL. **Lei Federal n.º 12.305 de 02 de agosto 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_3/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 15 outubro 2012.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering an introduction**. 8. ed. New York: John Wiley & Sons, 2010.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

CASAGRANDE JR, E. F. Inovação tecnológica e sustentabilidade: possíveis ferramentas para uma necessária interface. **Revista Educação & Tecnologia**, 8, 2004.

CASAGRANDE, M. C. **Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**. UFSC, Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Santa Catarina. 2002.

CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 1/2, p. 34-42, Janeiro - Abril 2008.

CASTRO, R. R. **Estudo da Influência de aditivos na transformação de fase gama-alfa da alumina**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

CHIH-HUANG, W.; DENG-FONG, L.; PEN-CHI, C. Utilization of sludge as brick materials. **Advances in environmental reserch**, p. 679-785, 2003.

CHRISTENSEN, C. M.; OVERDORF, M. Meeting the challenge of disruptive change. **Harvard Business Review**, Mar-Abr 2000.

COMMISSION, E. **Final Report: Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land**. [S.l.]. 2010.

COMPETITIVO, M. –. M. B. **Manual de Inovação**. MBC/FINEP/MCT. Brasília. 2008.

CONAMA. Resolução n.º 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Ministério do Meio Ambiente**, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2012.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o Estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011. 126 p.

CUKJATI, N. et al. Composting of anaerobic sludge: An economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. **Journal of Environmental Management**, 106, 2012. 48-55.

CUSIDÓ, J. A.; CREMADES, L. V. Environmental effects of using clay bricks produced with sewage sludge: Leachability and toxicity studies. **Waste Management**, v. 32, p. 1202–1208, 2012.

DERANO, C. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Max Limonad, 2001.

DEVANT, M.; CUSIDÓ, J. A.; SORIANO, C. Custom formulation of red ceramics with clay, sewage sludge and forest waste. **Applied Clay Science**, 53, 2011. 669–675.

DINIZ, E. M.; BERMANN, C. Economia verde e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 323-330, 2012.

DUARTE, A. C. L. **incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2008.

EPO. **EPO - Home**, 2015. Disponível em: <www.epo.org>. Acesso em: 12 jan. 2015.

FAN, P. Innovation in China. **Journal of Economic Surveys**, 28, n. 4, 2014. 725-745.

FERNANDES, F. et al. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: _____ **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição Final**. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p. 484.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 1999.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e Características do biossólido. In: LARA, A. I. **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: FINEP, 1999.

FERREIRA, L. C. **Potencial da utilização de resíduos industriais na formulação de massa de cerâmica vermelha para a fabricação de blocos de vedação**. (dissertação) - Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2012.

FERREIRA, L. C. **POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA**. [S.l.].

FUJINO, A.; STAL, E. **Gestão da propriedade intelectual na universidade pública brasileira: diretrizes para licenciamento e comercialização**. Cadernos de Pós-Graduação. [S.l.], p. 57-73. 2004.

GARCÍA, C. M. et al. Sludge valorization from wastewater treatment plant to its application on the ceramic industry. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. 343-348, 2012.

GARCIA, V. M. et al. Materiales vitrocerámicos a partir de lodos procedentes de una estación de depuración de aguas residuales urbanas (en la Ciudad de El-Sadat, Egipto). **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 50, p. 261-266, Set/Out 2011.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2010.

INGUNZA, M. D. P. D. et al. Uso de Resíduo do Saneamento na Fabricação da Cerâmica Vermelha. In: ANDREOLI, C. V. **Usos Alternativos de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 2006. Cap. 9, p. 417.

INPI. Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Portal INPI**, 2015. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/portal/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

ISINNO, C. L. S.; RIZZO, A. C. L.; SANTOS, R. C. **Ecoeficiência aplicada à redução da geração de resíuos sólidos**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, p. 20. 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

JUNIOR, J. V. B.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 5, julho/dezembro 2013. 27-37.

KATO, M. T. et al. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: JOSÉ, C. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 3, p. 464.

KNIESS, C. T. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais Cerâmicos com Adição de Cinzas Pesadas de Carvão Mineral**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 253. 2005.

KON, A. Responsabilidade social das empresas como instrumento para o desenvolvimento: A função da política pública. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 41, p. 45-88, 2013.

LEE, E. S. H.; SANTOS, F. J. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético**. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Londrina: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 2011.

LIEW, A. G. et al. Reusability of sewage sludge in clay bricks. **J Mater Cycles Waste Manager**, v. 6, p. 41-47, 2004.

LOPES, M. A. J. B. M. et al. **Influência do Lodo de Esgoto em Características Físico-químicas do Solo Cultivado com Rabanete**. XI Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Fortaleza: [s.n.]. 2009.

LUDUVICE, M. **Gestão de Biossólidos no Mercosul**. I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul. Curitiba: SANEPAR-ABES. 1998. p. 9-10.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodo de estações de tratamento de esgoto na agricultura: um estudo de caso do município de Rio das Ostras - RJ**. FIOCRUZ. Rio de Janeiro. 2001.

MARTINS, C. B. et al. **Informações sobre patentes na área de valorização de resíduos industriais**: O caso do lodo de tratamento de esgoto doméstico. Anais do III SINGEP e II S2IS. São Paulo: [s.n.]. 2014.

MAYERHOFF, Z. D. V. L. Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, 1, n. 1, 2008. 7-9.

MELCHIADES, F. G. et al. Controle Dimensional e do Formato de Controle Dimensional e do Formato de. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 27-33, Set - Out 2001.

MENEZES, R. R. et al. Uso de resíduo da produção de alumina eletrofundida na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Cerâmica**, p. 244-249, 2010.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 303-313, 2002.

METCALF & EDDY. INC. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book, 2003.

MIKI, M. A.; SOBRINHO, P. A.; VAN HAANDEL, A. C. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417 p.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T., et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. Cap. 2, p. 41-87.

MONTERO, A. M. et al. The use of sewage sludge and marble residues in the manufacture of ceramic tile bodies. **Applied Clay Science**, n. 46, p. 404–408, 2009.

MORAES, M. L. V. N. **Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico**. (Dissertação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2007.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JR., M. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 6, p. 28-39, Março/Abril 2001.

MULLER, G. Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade? In: _____ **Desenvolvimento sustentável: notas para a elaboração de um esquema de referência**. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2002. p. 121-142.

NASSETTI, G.; PALMONARI, C. Moagem Fina à Seco e Granulação vs. Moagem à Umido e Atomização na Preparação de Massas de Base Vermelha para Monoqueima Rápida de Pisos Vidrados. **Cerâmica Industrial**, 5/6, n. 2, 1997. 11-15.

OECD. **Manual de OSLO**: proposed guidelines for collecting and interpreting innovation data. Paris: OECD: Statistical Office of the European Communities. [S.l.]: [s.n.]. 2005.

OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 6, p. 37-47, nov/dez 2000.

OLIVEIRA, A. P. N. D.; HOTZA, D. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos**. Florianópolis: UFSC, 2011. 120 p.

OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimento**. São Paulo: CETESB, 2006. 84 p.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Frascati manual 2002: proposed standard practice for surveys on research and experimental development**. P. Paris. 2002.

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

- POTTS, J. B. **Handbook of Silicate Rock Analysis**. New York: Blackie & Son, 1992. 622 p.
- PRADO, U. S.; BRESSIANI, J. C. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 1, p. 7-11, Janeiro/Fevereiro 2013.
- PRAHALAD, C. K.; HAMEL, G. **Competindo pelo Futuro**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- PUHLMANN, A. C. A.; MOREIRA, C. F. **Noções gerais sobre proteção de tecnologia e produtos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004.
- QUEIROZ, J. M. Desenvolvimento econômico, inovação e meio ambiente: a busca por uma convergência no debate. **Cadernos de desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 9, p. 143-170, Jul-Dez 2011.
- QUONIAM, L.; KNISS, C. T.; MAZIERI, M. R. A patente como objeto de pesquisa em Ciências da Informação e Comunicação. **Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 19, n. 39, p. 243-268, jan/abr 2014. ISSN 1518-2924.
- REED, S. J. **Principles of ceramics processing**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- RIELLA, H. G.; FRANJNDLICH, E. U. C.; DURAZZO, M. Caracterização e utilização de fundentes em massas cerâmicas. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 3, p. 33-36, mai/jun 2002.
- ROCHA NETO, I. **Gestão Estratégica de conhecimento & competências: administrando incertezas e inovações**. 1ª. ed. Brasília: Universa, 2003.
- ROCHA, A. F.; PALMA, M. A. Gestão da inovação e capacidade competitiva: uma análise não paramétrica no setor cerâmico de Campos dos Goytacazes, RJ. **Cerâmica**, v. 58, p. 244-252, junho 2012.
- RODRIGUES, A. M. et al. Propriedades de matérias primas selecionadas para a produção de Grês Porcelanato. **Cerâmica industrial**, v. 1, p. 33-38, 2004.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
- SAINZ, J. G.; RIPOLLÉS, R. R. Controles de laboratórios para o gres porcelanato. **Cerâmica Informação**, v. 5, 1999.
- SANCHEZ-MUNÓZ, L. et al. Modelamento do processo de gesificação de massas cerâmicas de revestimento. **Cerâmica**, v. 48, n. 308, p. 217-222, 2002.
- SANTIS, B. C. et al. Caracterização de massas cerâmicas do Estado de São Paulo para produção de agregados leves para o concreto. **Cerâmica Industrial**, v. 59, p. 198-205, 2013.
- SANTOS, A. **Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactante aplicadas na adsorção do azul de metileno e p-nitrofenol em solução aquosa**. (Dissertação) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava. 2010.
- SANTOS, A. D. D. **Estudos das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 265. 2007.

- SANTOS, C. **Prevenção a poluição industrial: Identificação de oportunidades, análise dos benefícios e barreiras**. Universidade de São Carlos. São Carlos. 2005.
- SANTOS, H. F.; TSUTIYA, M. T. Aproveitamento e disposição de lodo de estações de tratamento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, Abr/Jun 1997.
- SANTOS, P. D. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2ª. ed. São Paulo: Edgar Blucher, v. 1, 1992.
- SAWHNEY, M.; WOLCOTT, R. C.; ARRONIZ, I. The 12 different ways for companies to innovate., *MITSloan Management Review*, v. 47, n. 3, 2006.
- SCHNEIDER, C. L.; NEUMANN, R. **Considerações sobre a geração de superfície específica em minérios de ferro porosos**. XIX ENTMMME. Recife: [s.n.]. 2002.
- SCHUMPETER, J. A. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1984.
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1997.
- SCHWANDER, P. Las búsquedas sobre el estado de la técnica: una obligación para las pymes innovadoras, 2004. Disponível em: <http://www.wipo.int/sme/es/documents/prior_art.htm>. Acesso em: 30 jan. 2015.
- SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de Estação de Tratamento de água**. IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, p. 132. 2011.
- SOUZA, M. P. **Instrumentos de gestão ambiental: fundamentos e praticas**. São Carlos: Riani Costa, 2000.
- TIANA, Y.; ZUO, W.; CHENA, D. Crystallization evolution, microstructure and properties of sewage sludge-based glass–ceramics prepared by microwave heating. **Journal of Hazardous Materials**, v. 196, p. 370– 379, 2011.
- TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da Inovação**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.
- VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Campus, 2003. 567 p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.
- WIPO. **WIPO - World Intellectual Property Organization**, 2015. Disponível em: <<http://www.wipo.int/portal/en/index.html>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- XIE, Z.; ZHANG, X. **The patterns of patents in China**. IFPRI - Discussion paper 01385. [S.l.]: [s.n.]. 2014.
- XU, G. R.; ZOU, J. L.; LI, G. B. Stabilization of heavy metals in sludge ceramsite. **Water Research**, 2010. 2930 - 2938.

ZAHA, C. et al. Aspects Regarding Recycling Sludge by Composting. **Environmental Engineering and Management Journal**, 2, 2011. 219-224.

ZAHA, C.; DUMITRESCU, L. Sludge Recycling - Needs and Trends. **Bulletin of the Transilvania University of Brasov**, Brasov, v. 1, p. 299-304, 2008. ISSN 2065-2119.