

GEOVANE VIEIRA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICA, QUÍMICA E ESTRUTURAL DA CERÂMICA
VERMELHA COM SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DOS AGREGADOS POR LODO
PROVENIENTE DA INDÚSTRIA TÊXTIL.**

JOINVILLE

2010

GEOVANE VIEIRA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICA, QUÍMICA E ESTRUTURAL DA CERÂMICA
VERMELHA COM SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DOS AGREGADOS POR LODO
PROVENIENTE DA INDÚSTRIA TÊXTIL.**

Projeto de pesquisa que será
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de mestre em
Engenharia de Processos na
Universidade da Região de Joinville.
Professor Orientador: Rogério de
Almeida Vieira

JOINVILLE

2010

Termo de Aprovação

“Estudo das propriedades física, química e estrutural da cerâmica vermelha com substituição de parte dos agregados por lodo proveniente da indústria têxtil”

por

Geovane Vieira

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Rogério de Almeida Vieira
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dr.-Ing. Alexandre Magno de Paula Dias
(UDESC)



Prof. Dra. Denise Abatti Kasper Silva
(UNIVILLE)



Prof. Dr. Renato Cristofolini
(UNIVILLE)

Joinville, 26 de novembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde, força e perseverança para alcançar meus objetivos. Agradeço a minha família por se colocar sempre ao meu lado. Agradeço aos amigos por me alegrarem em momentos difíceis. Agradeço aos meus colegas de trabalho, especialmente ao Saulo Luiz Vieira que sempre me apoiou nesta jornada. Agradeço aos professores do mestrado pelos conhecimentos repassados e especialmente a prof. Dra. Ana Paula Testa Pezzim pela paciência em sanar minhas dúvidas e pela contribuição dada no momento da defesa da qualificação deste trabalho. Agradeço ao meu orientador pela contribuição e encaminhamentos realizados. Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do beneficiamento têxtil	21
Figura 2: Caracterização e classificação de resíduos.	24
Figura 3: Fluxograma das etapas que foram utilizadas neste projeto	35
Figura 4: Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente da empresa	37
Figura 5: Ponto de coleta do lodo têxtil. (A=filtro prensa, B= ponto de coleta e C= Lodo têxtil).....	38
Figura 6: Moinho de bolas da UDESC	39
Figura 7: Etapas para preparação da matéria prima (argila) e lodo têxtil.	40
Figura 8: Equipamento de análise de difração de raio-X da UDESC Joinville	43
Figura 9: Equipamento TG / DTA. (A = equipamento TG /TGA / B = <i>Display</i>)	44
Figura 10: Corpos de prova antes da queima (A) e após queima (B) dentro do forno. .	46
Figura 11: esquema do corpo de prova posicionado para o ensaio de flexão de três pontos.	49
Figura 12: Equipamento para compactação dos corpos de provas e análise de flexão de ruptura.....	50
Figura 13: Comparação da composição química dos materiais.	58
Figura 14: DRX do lodo " <i>in natura</i> ".	59
Figura 15: DRX do lodo Calcinado a 550 °C	59
Figura 16: Difração de raio x da argila	60
Figura 17: Difração de raios-X da argila calcinada a 550 °C	61
Figura 18: TG e DSC do Lodo.....	62
Figura 19: A = TG do Lodo e B = DSC do lodo.	62
Figura 20: EDS do lodo	64
Figura 21: Medição dos aglomerados a 50X da argila	65
Figura 22: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 10 % de lodo ...	66
Figura 23: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 15 % de lodo ...	66
Figura 24: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 20 % de lodo ...	67
Figura 25: Imagem a 1000X da argila	67
Figura 26: Imagem a 1000X com 10 %	67
Figura 27: Imagem a 1000X com 15 %	68
Figura 28: Imagem a 1000X com 20 %	68
Figura 29: Variação da contração da argila em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova.	71
Figura 30: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 10 % de lodo incorporado).....	75
Figura 31: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 15 % de lodo incorporado).....	78

Figura 32: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 20 % de lodo incorporado).....	81
Figura 33: Avaliação da influência do lodo para contração linear em função da temperatura de sinterização. (medidas do comprimento do corpo de prova).....	83
Figura 34: Avaliação da influência do lodo para contração linear em função da temperatura de sinterização. (diminuição do volume do corpo de prova).	83
Figura 35: Variação da contração em função da quantidade de lodo incorporada. (volume do corpo de prova).....	84
Figura 36: Variação da perda ao fogo em função da temperatura de queima	88
Figura 37: Variação da perda ao fogo em função do percentual de lodo incorporado na argila.	88
Figura 38: Variação da absorção de água da argila em função da temperatura de queima.	90
Figura 39: Variação da absorção de água da mistura de argila com 10 % de lodo incorporada em função da temperatura de queima.....	92
Figura 40: Variação da absorção de água da mistura de argila com 15 % de lodo incorporada em função da temperatura de queima.....	93
Figura 41: Variação da absorção de água da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado em função da temperatura de queima.....	95
Figura 42: Variação da absorção de água em função da temperatura de queima.	96
Figura 43: Variação da absorção de água em função da quantidade de lodo incorporado a argila.....	96
Figura 44: Tensão de rupura à flexão em função da temperatura de queima	98
Figura 45: Tensão de rupura à flexão em função da variação da quantidade de lodo. .	98
Figura 46: Análise TRF da argila queimada a 800 °C	107
Figura 47: Análise TRF da argila queimada a 900 °C	108
Figura 48: Análise TRF da argila queimada a 1000 °C	108
Figura 49: Análise TRF da argila queimada a 1150 °C	109
Figura 50: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 800 °C.....	109
Figura 51: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 900 °C.....	110
Figura 52: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 1000 °C.....	110
Figura 53: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 1150 °C.....	111
Figura 54: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 800 °C.....	111
Figura 55: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 900 °C.....	112
Figura 56: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 1000 °C.....	112
Figura 57: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 1150 °C.....	113
Figura 58: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 800 °C.....	113
Figura 59: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 900 °C.....	114
Figura 60: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 1000 °C.....	114
Figura 61: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 1150 °C.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Importância do setor têxtil na economia brasileira	21
Tabela 2: Classificação do solo segundo a granulometria	30
Tabela 3: Equipamentos utilizados para análise físico química	42
Tabela 4: Resultado análise de massa	54
Tabela 5: Resultado análise de lixiviação	55
Tabela 6: Resultado análise do solubilizado	56
Tabela 7: Análise química quantitativa de fluorescência de raios X do lodo	57
Tabela 8: Análise química quantitativa de fluorescência de raios X da argila	57
Tabela 9: Comparação da composição química do lodo com a argila	58
Tabela 10: Retração linear da argila queimada a 800 °C	70
Tabela 11: Retração linear da argila queimada a 900 °C	70
Tabela 12: Retração linear da argila queimada a 1000 °C	71
Tabela 13: Retração linear da argila queimada a 1150 °C	71
Tabela 14: Teste de Tukey com 5 % de significância, para a contração linear da argila em função da variação da temperatura	73
Tabela 15: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 800 °C	73
Tabela 16: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 900 °C	74
Tabela 17: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 1000 °C	74
Tabela 18: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 1150 °C	75
Tabela 19: Retração linear do composto com 18 % de lodo queimado a 800 °C	77
Tabela 20: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 900 °C	77
Tabela 21: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 1000 °C	78
Tabela 22: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 1150 °C	78
Tabela 23: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 800 °C	80
Tabela 24: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 900 °C	80
Tabela 25: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 1000 °C	81
Tabela 26: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 1150 °C	81
Tabela 27: Análise de perda ao fogo da argila nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	86
Tabela 28: Análise de perda ao fogo da argila com 10 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	87
Tabela 29: Análise de perda ao fogo da argila com 15 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	87
Tabela 30: Análise de perda ao fogo da argila com 20 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	88
Tabela 31: Absorção de água da argila nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	91
Tabela 32: Absorção de água da da mistura de argila com 10 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	92
Tabela 33: Absorção de água da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	94

Tabela 34: Absorção de água da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C	95
Tabela 35: Ruptura à flexão da argila pura, com 10 %, 15 % e 20 % de lodo incorporado	98
Tabela 36: Parâmetros avaliados do produto solubilizado antes do teste de toxicidade	100
Tabela 37: Parâmetros avaliados do produto solubilizado após o teste de toxicidade	101
Tabela 38: Contagem do microorganismo sobreviventes a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado do lodo 1	101
Tabela 39: Contagem do microorganismo sobreviventes a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado do lodo 2	101
Tabela 40: Contagem do microorganismo sobreviventes a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado da argila	102
Tabela 41: Indicações das temperaturas de processos em função dos resultados dos ensaios mecânicos	106

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	-	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	-	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA		Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONMETRO		Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
DRX	-	Difração de Raio-X
DSC	-	Calorimetria Exploratória Diferencial
ETE	-	Estação de Tratamento de Efluentes
FRX	-	Fluorescência de Raio-X
NBR	-	Norma Brasileira
TGA	-	Análise Termogravimétrica
UDESC	-	Universidade do Estado de Santa Catarina
UNIVILLE	-	Universidade da região de Joinville
ICDD	-	International Center for Diffraction Data
T_{onset}	-	Temperatura inicial de perda de massa
T_{peak}	-	Temperatura máxima de degradação

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivo geral.....	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. Evoluções das indústrias e seus impactos Ambientais.....	18
2.2. Expansão do setor têxtil.....	19
2.2.1. Lodo gerado nas estações de tratamento do efluente.....	20
2.3. Classificação dos resíduos sólidos.....	22
2.4. Cerâmicas.....	25
2.4.1. Cerâmica Vermelha.....	25
2.4.2. Argila.....	25
2.4.3. Plasticidade dos materiais.....	27
2.4.4. Porosidades dos materiais.....	28
2.4.5. Granulometria dos materiais.....	29
2.5. Incorporação do lodo à cerâmica.....	30
2.6. Análise dos materiais.....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. Coleta e preparação da amostra do lodo.....	36
3.2. Caracterização dos materiais.....	40
3.2.1. Produção Confecção dos corpos de prova.....	44
3.2.1.1. Procedimento contração linear.....	46
3.2.1.2. Procedimento perda ao fogo.....	47
3.2.1.3. Procedimento absorção de água.....	47
3.2.1.4. Procedimento tensão de flexão.....	48
3.2.2. Ensaios de toxicidade.....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1. Caracterização do residuo têxtil.....	53
4.1.1. Fluorescência de Raio X.....	56
4.1.2. Difração de Raios X.....	58
4.1.3. Análise térmica dos materiais.....	61
4.1.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das misturas.....	64
4.2. Ensaios mecânicos após queima.....	68
4.2.1. Análise de contração linear.....	68
4.2.1.1. Análise de contração linear da argila.....	69
4.2.1.2. Análise de contração linear do composto com 10 % lodo incorporado ..	72
4.2.1.3. Análise de contração linear do composto com 15% lodo incorporado ..	75
4.2.1.4. Análise de contração linear do composto com 20% lodo incorporado ..	78

4.2.1.5.	Avaliação da influência da incorporação do lodo para contração linear	81
4.2.2.	Perda ao fogo.	84
4.2.3.	Absorção de água	89
4.2.3.1.	Análise de absorção de água da argila	89
4.2.3.2.	Análise de absorção de água da mistura com 10% de lodo	91
4.2.3.3.	Análise de absorção de água da mistura com 15% de lodo	92
4.2.3.4.	Análise de absorção de água da mistura com 20% de lodo	94
4.2.3.5.	Avaliação da influência da quantidade de lodo incorporada a argila no percentual de absorção de água	95
4.2.4.	Tensão de flexão de ruptura	97
4.3.	Ensaio toxicológicos	99
Conclusão		102
Anexo A		107
REFERÊNCIAS		116

RESUMO

A influência da temperatura de queima nas propriedades tecnológicas da cerâmica incorporada com lodo da estação de tratamento da água foi avaliada. O lodo e a argila foram submetidos inicialmente aos testes da caracterização para determinar a composição química, física, mineralógica, o comportamento térmico, os aspectos morfológicos e a avaliação toxicológica. As misturas foram preparadas com quantidades de 0, 10, 15 e 20 % de lodo incorporado na argila. Os corpos de provas são retangulares, com dimensões de 70 X 30 X 5 mm. Os corpos de provas foram queimados nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C em um forno de cerâmica. As propriedades cerâmicas relacionadas à retração linear, perda ao fogo, absorção de água e tensão de flexão de ruptura foram determinadas. Os resultados indicam que a incorporação do lodo aumenta a perda ao fogo, absorção de água e reduz a tensão de flexão dos corpos de provas cerâmicos. Esta é uma consequência das mudanças causadas na porosidade pela perda de massa durante o estágio de queima. Os resultados também mostraram que a temperatura de queima interfere na qualidade do produto. Quanto maior a temperatura de queima, maior será a retração, perda ao fogo e a tensão de flexão e menor será a absorção de água. A análise estatística destas variáveis mostrou que tem diferença significativa entre uma matriz de cerâmica pura em relação à matriz com incorporação de lodo, mas atendem as normas brasileiras, quando seguidos os procedimentos e também as proporções citadas neste projeto. A análise de toxicidade dos materiais mostrou que após a confecção dos corpos de provas incorporados com lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma empresa têxtil da região de Joinville, Santa Catarina, não mostraram características tóxicas ao meio ambiente.

ABSTRACT

The influence of firing temperature on the technological properties of ceramic incorporated with sludge from water treatment plant was evaluated. The silt and clay were subjected to tests for characterization to determine the chemical, physical, mineralogical, thermal behavior, the morphological and toxicological evaluation. The mixtures were prepared with amounts of 0, 10, 15 and 20% of sludge built on clay. The test samples are rectangular, with dimensions of 70 X 30 X 5 mm. The test samples were fired at temperatures of 800, 900, 1000 and 1150 ° C in a ceramic oven. The ceramic properties related to linear shrinkage, loss on ignition, water absorption and bending load of rupture were determined. The results indicate that the incorporation of the sludge increases the loss on ignition, water absorption and reduces the bending load of ceramic test samples. This is a result of changes in porosity caused by weight loss during firing. The results also showed that the firing temperature interferes with the quality of the product. The higher the firing temperature, the greater the shrinkage, loss on ignition and bending load and lower the water absorption. Statistical analysis showed that these variables have significant difference between an array of ceramic matrix compared with the incorporation of sludge, but meet Brazilian regulations, when followed the procedures and also the proportions cited in this project. The analysis showed that toxicity of the material after preparation of test samples incorporated with sludge from the treatment plant effluent from a textile company in the region of Joinville, Santa Catarina, showed no toxic characteristics of the environment.

1. INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis constituem fator de grande importância na economia brasileira, e o Estado de Santa Catarina concentra um grande número dessas indústrias, algumas das mais importantes desse setor no Brasil, instaladas principalmente na região do Vale do Itajaí. A atividade econômica predominante na região de Joinville está embasada na indústria, dividida principalmente nos setores têxtil, metal-mecânico e plástico. O aumento da industrialização na última década teve como consequência o aumento significativo na geração de resíduos.

Embora haja a necessidade do enquadramento legal dos resíduos industriais seguindo a resolução CONAMA, é difícil e oneroso para as empresas tratá-los, pois a maior parte das tecnologias existentes é inviável por apresentarem altos custos de implantação e manutenção, ou ainda, terem sido desenvolvidas em outros países necessitando de adequação às empresas brasileiras.

Um exemplo disso é o sistema de tratamento biológico de efluentes implantado por uma empresa da região, que atua no ramo da indústria têxtil, a qual adquiriu um sistema de tratamento com tecnologia italiana e adaptou-o ao seu processo. Este processo apesar de inúmeras vantagens resultou na geração de um resíduo sólido em larga escala. Esta empresa, atualmente gera uma quantidade deste resíduo de aproximadamente 250 m³ por mês, tornando seu acondicionamento oneroso para empresa e prejudicial ao meio ambiente. Assim surgiu o interesse na formação de uma parceria Empresa/Universidade com o intuito de analisar a viabilidade econômica de aproveitamento do lodo gerado no sistema de tratamento da empresa no desenvolvimento de novos materiais, o que poderia minimizar os impactos ambientais gerados pelo acondicionamento destes rejeitos no aterro industrial da empresa, culminando no prolongamento da vida útil do aterro.

A sociedade cada vez mais tem exigido das empresas, tanto públicas quanto privadas a implementação de políticas ambientais que geralmente iniciam pelo tratamento de efluentes. As empresas estão fazendo sua parte no momento em que

tratam os efluentes gerados nos processos de produção e procuram formas de acondicionamento dos resíduos gerados nos sistemas de tratamento condizentes com a Legislação Ambiental. Entretanto, deve-se considerar que o reaproveitamento dos resíduos faz com que se deixe de colocar no meio ambiente, substâncias químicas que ao longo do tempo acabam acumulando e em grande escala tornam-se poluentes do solo, ar e água.

As sociedades industrializadas estão constantemente sendo obrigadas a se adequar as mudanças das diretrizes da gestão de lodos e resíduos. Com isso, as indústrias buscam pela perspectiva de um desenvolvimento sustentável, fazendo-se necessário desenvolver métodos eficazes em substituição ao simples descarte desses em aterros industriais.

Por outro lado, as indústrias cerâmicas desafiam a crescente escassez das reservas de matéria-prima para sua linha de produção de materiais de uso na construção civil. Somado com a exigente legislação ambiental para extração mineral, surgem expectativas de associar o resíduo de indústria têxtil com argila, produzindo materiais de boa qualidade e otimizando os custos operacionais e ambientais para ambas as partes.

O avanço tecnológico e a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, aliados à abundância de matérias-primas, fazem dos materiais cerâmicos, um dos principais objetos de pesquisa atualmente.

O aperfeiçoamento dos processos conhecidos e o desenvolvimento de novos métodos de processamento e produção de cerâmicas são constantes. As propriedades dos materiais cerâmicos podem torná-los substitutos eficientes em aplicações que exijam refratariedade alta, resistência mecânica em altas temperaturas, resistência ao desgaste, inércia química, além de boas propriedades elétricas e magnéticas.

As aplicações das cerâmicas estruturais de alto desempenho mecânico como substitutas de materiais convencionais são consideradas muito promissoras. Contudo, a principal barreira para estas aplicações é a sua baixa confiabilidade, causada pela dificuldade de manter uma adequada reprodutibilidade de produção destas cerâmicas.

Para se obter uma cerâmica estrutural com propriedades mecânicas compatíveis com a sua utilização é necessária uma microestrutura com características químicas

(composição e homogeneidade) e físicas (distribuição de tamanho e forma de grãos e de poros) adequadas.

Neste trabalho foi estudado a composição química e os melhores parâmetros e processos na transformação do lodo sólido proveniente da indústria têxtil em cerâmica sinterizada densa com o menor tamanho de defeitos possível e realizado testes de toxicidade dos materiais indicando que a adição deste resíduo na matriz cerâmica, não altera sua classificação ambiental. A transformação do lodo em um novo produto evitaria seu destino em aterros industriais, agregando valor e minimizando custos às empresas envolvidas. Ainda não existe no mercado nenhum produto sendo desenvolvido, com a utilização de lodo têxtil em sua composição. Alguns autores já realizaram o estudo da incorporação do resíduo têxtil em cerâmicas, indicando bons resultados técnicos.

As composições físicas e químicas dos resíduos do lodo gerado em estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil são variadas. Cada indústria, dependendo da sua produção gera resíduo e possui um sistema de tratamento deste efluente diferente umas das outras, resultando em resíduos diferentes, o que indica a necessidade de serem estudados antes de indicar sua utilização para produção de novos produtos.

1.1. Objetivo geral

Substituir parte dos agregados da cerâmica vermelha por lodo proveniente da Estação de tratamento de efluente da indústria têxtil.

1.2. Objetivos específicos

- Reduzir impactos ambientais gerados pelo descarte do lodo;
- Agregar valor ao resíduo do lodo;

- Analisar a viabilidade de utilização do lodo sólido gerado na estação de tratamento de efluente têxtil no processo de fabricação de telhas e tijolos;
- Caracterizar o resíduo sólido gerado no processo de tratamento de efluente na indústria têxtil;
- Identificar percentuais de incorporação desse lodo no processo de fabricação cerâmica vermelha;
- Caracterizar o composto sólido gerado com a adição de lodo na argila;
- Verificar teor de toxicidade dos materiais;
- Realizar análises das amostras conforme normas pertinentes ao setor cerâmico brasileiro;
- Analisar estatisticamente os resultados encontrados nas análises das amostras;
- Mostrar que a classificação do resíduo cerâmico não será alterada com a adição do lodo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os problemas causados pela poluição dos resíduos sólidos industriais são de grande importância e preocupam toda a sociedade e também o setor industrial. Embora haja a necessidade do enquadramento legal dos resíduos industriais seguindo a resolução CONAMA, é difícil e oneroso para as empresas tratarem os mesmos.

Segundo Oliveira (2002) os resíduos sólidos constituem um dos grandes problemas que ameaçam a vida no planeta, porque além de poluir o solo, a água e o ar, também atrai animais que veiculam doenças. Segundo a ABNT, NBR10004, resíduos sólidos industriais são todos os resíduos no estado sólido ou semi-sólido resultantes das atividades industriais, incluindo lodos e determinados líquidos, cujas características tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos.

2.1. Evoluções das indústrias e seus impactos Ambientais

Joinville é a maior cidade do Estado de Santa Catarina com uma população de 461.576 habitantes (SCHNEIDER, 1999), está situada na região nordeste do Estado, a economia predominante é embasada na indústria metal-mecânica, têxtil e plástico. Essa industrialização garantiu que o município obtivesse o terceiro maior Produto Interno Bruto do País. Para suprir a mão de obra, principalmente nas décadas de 70 e 80 houve um crescimento populacional exacerbado acima da capacidade suporte de infraestrutura existente, acarretando vários impactos sociais e ambientais, a exemplo da falta de saneamento básico do efluente doméstico e industrial. (SCHNEIDER, 1999).

A história remonta que desde 1850 o Rio Cachoeira foi utilizado por embarcações no transporte dos imigrantes à Colônia Dona Francisca. Após uma fracassada tentativa de aptidão agrícola, em função das características do meio físico local, os imigrantes iniciaram o processo de industrialização. Em 1860 Joinville entrou na era industrial e, simultaneamente, os problemas de poluição industrial cresceram.

Atualmente, com o aumento das exigências da legislação ambiental as indústrias estão buscando alternativas para tratar seus efluentes (SCHNEIDER, 1999).

Os mecanismos de gestão dos lodos produzidos por estação de tratamento deveriam ter sido contemplados no período da implantação dos sistemas, de modo a evitar os transtornos e os impactos ambientais relacionados à falta de planejamento para a utilização e disposição final desse resíduo, o que na maioria das empresas instaladas no país não acontece e que atualmente depositam os seus resíduos em aterros industriais. A deposição em aterros é uma alternativa que requer cuidadosos estudos de implantação, necessitando de dispositivos de controle ambiental avançados. Os aterros produzem líquidos percolados, seja devido ao excesso de água do lodo, ou à infiltração da água da chuva. Caso este percolado atinja o lençol freático, ele pode carrear metais pesados, contaminantes orgânicos, etc (PROSAB, 1999).

Barbosa *et al.*, 2000, concluíram que a disposição *in natura* dos efluentes das Estações de tratamento de efluentes (ETEs) prejudica a biota aquática, comprometendo a qualidade da água e do sedimento dos corpos receptores, o que é preocupante tendo em vista o número de estações de tratamento e o fato da disposição dos efluentes ser, via de regra, por lançamento nos corpos de água adjacentes.

Os líquidos percolados têm sido identificados na literatura como fontes potenciais de poluição das águas superficiais e subterrâneas, apresentando consideráveis variações, tanto de quantidade como de composição química (Barbosa *et al.*, 2000).

2.2. Expansão do setor têxtil

A indústria têxtil é um dos maiores seguimentos industriais em volume produção e, conseqüentemente, emprega um grande número de trabalhadores. Dentre suas características, as indústrias têxteis requerem uma grande quantidade de água, corante e diversos produtos químicos em seus processos. Desta forma, o setor têxtil possui grande importância na economia brasileira. Segundo Arruda (2007), este setor nos anos de 2005 e 2006 obtiveram uma participação de mercado em torno de 17,2 %. Este fato pode ser comprovado na Tabela 1.

Tabela 1: Importância do setor têxtil na economia brasileira

Receita bruta (US\$ BI)	2005	2006
Têxteis básicos	19,0	21,8
Confeccionados	30,6	30,2
Total da cadeia	32,9	33,0
Empregos (mil funcionários)		
Têxteis básicos	326,7	330,0
Confeccionados	1196,3	1193,9
Total da cadeia	1523,0	1523,9
Empregos indústria transformação (mil funcionários)	8861,5	8833,4
Participação %	17,2	17,3

Fonte: Arruda (2007)

O Estado de Santa Catarina possui mais de 5000 empresas têxteis e de vestuário, sendo responsável por aproximadamente 10 % do faturamento nacional no setor e por 30 % do total de produtos do setor têxtil exportados no país. Santa Catarina também concentra 80 % da produção nacional no segmento cama, mesa, banho e malharia (ABIT, 2007).

2.2.1. Lodo gerado nas estações de tratamento do efluente

O setor têxtil também chama a atenção devido ao grande volume de efluente gerado em seus processos, devido ao consumo de 15 % de toda a água destinada a indústria. Devido a complexibilidade de seu processo e grande parte do beneficiamento dos produtos, as características quantitativas e qualitativas deste efluente são muito variadas. Os processos de alvejamento, tingimento e estampagem fazem parte do beneficiamento dos produtos (GANSKE, 2008).

Tratar os efluentes têxteis é uma tarefa difícil pois estes possuem grandes quantidades de compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade e em sua maioria composto orgânicos como corantes e aditivo (HASSEMER, 2006).

Os efluentes têxteis são altamente coloridos, devido aos corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento. Os principais processos envolvidos na produção de tecidos estão descritos na Figura 1.

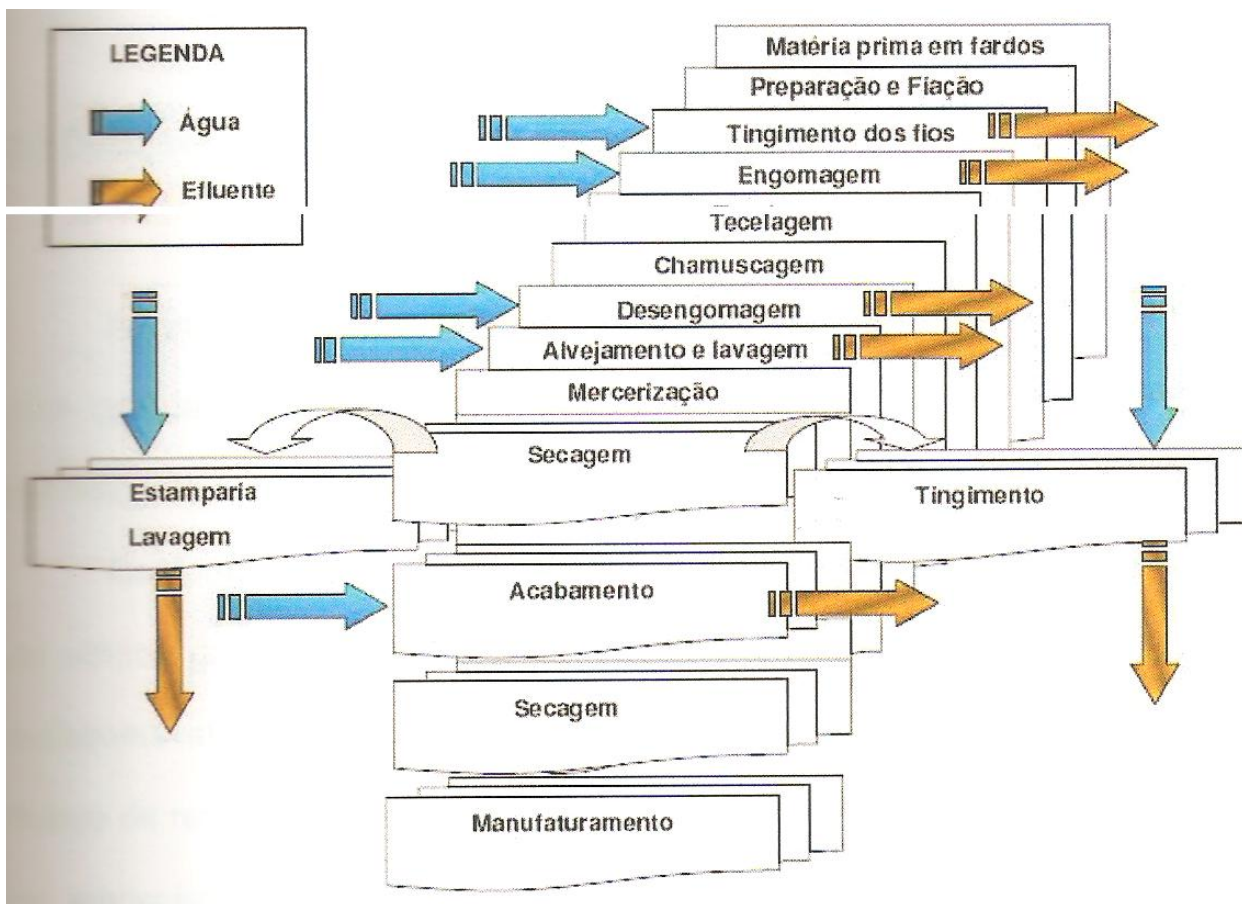


Figura 1: Etapas do beneficiamento têxtil

Fonte: Ganske, 2008

Atualmente, um dos principais problemas nos tratamentos de águas residuárias é a geração do lodo. Os sistemas para tratamento de efluentes domésticos e industriais existentes, tais como lodos ativados e lagoas aeradas são limitados pela concentração de biomassa e pelo tempo de retenção hidráulica, necessitando de grandes áreas para instalação e dependem da separação da fração sólida e líquida. A fração sólida é denominada de lodo de esgoto, ou simplesmente lodo (HASSEMER, 2006).

2.3. Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10004/04 é o único órgão brasileiro com *status* de Fórum Nacional de Normalização de acordo com a resolução número 7/92 do CONMETRO. O documento fixa os novos critérios técnicos para a classificação dos resíduos sólidos e sua elaboração contou com a colaboração de dezenas de técnicos, representantes de entidades e setores empresariais, de prestadores de serviços na área de resíduos e de instituições oficiais de fiscalização e controle ambiental (CASTRO, 2005 *apud* SIMAS, 2007, p. 4).

A Norma Brasileira NBR 10004/04, classifica os resíduos em três tipos, classe 1 (perigosos), classe II A (não inertes) e classe II B (inertes). A definição destes resíduos conforme NBR 10004/04 pode ser verificadas a seguir:

- **Resíduos classe I – perigosos** – São os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. São considerados como resíduos sólidos tóxicos, determinados resíduos do processamento industrial que apresentem, em teste de lixiviação, elementos ou compostos acima de níveis fixados no anexo F da NBR 10004/04. Esses elementos ou compostos tóxicos, que conferem periculosidade ao resíduo são: cromo total, cádmio, mercúrio, chumbo, arsênio, bário, selênio, cianeto, prata, compostos organoclorados, compostos organofosforados e produtos contendo bifenil-policlorado. A presença de alguns desses elementos ou compostos acima de certa concentração, no resíduo sólido, leva a considerá-lo como perigoso, ou seja, resíduo de classe I.
- **Resíduos classe II A – não inertes** - São os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I - perigosos ou na Classe II B - inertes. Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

- **Resíduos classe II B – inertes** - São os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10006 - "Solubilização de Resíduos - Procedimento") não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem G - "Padrões para o Teste de Solubilização".

A Figura 2 apresenta as etapas de classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente, definidos pela NBR 10004/04:

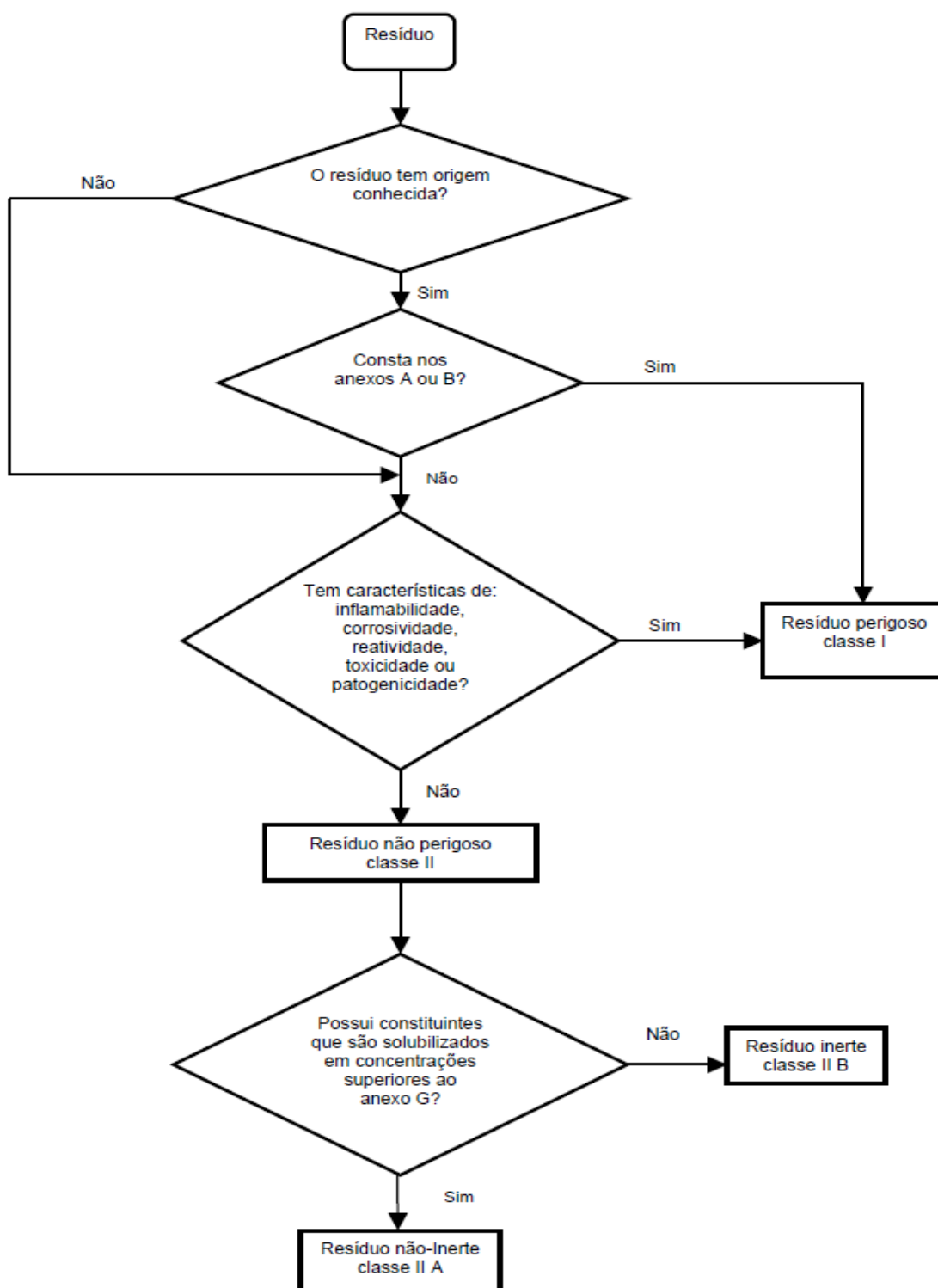


Figura 2: Caracterização e classificação de resíduos.
Fonte: ABNT NBR 10004:2004.

2.4. Cerâmicas

A cerâmica pode ser definida como todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. Ela é uma pedra artificial obtida por meio da moldagem e secagem de argila ou mistura contendo argila (ABC, 2009). O setor cerâmico é amplo e heterogêneo e é dividido em segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Segundo a associação brasileira de cerâmica indica que o setor cerâmico é dividido em:

- Cerâmica Vermelha;
- Cerâmica Branca;
- Cerâmica de Alta Tecnologia / Cerâmica Avançado.

2.4.1. Cerâmica Vermelha

A cerâmica vermelha compreende todos os materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. As lajetas muitas vezes são enquadradas neste grupo, porém o mais correto é em Materiais de Revestimento. Os produtos de cerâmica vermelha são constituídos de materiais argilosos que possuem características importantes como a plasticidade, resistência mecânica e estabilidade térmica (ABC, 2009).

2.4.2. Argila

As propriedades tecnológicas dos produtos cerâmicos são afetadas pelas características físicas, químicas e mineralógicas das matérias-primas cerâmicas. No processamento de produtos cerâmicos (tijolos, telhas, isoladores elétricos, porcelanas, revestimentos) as matérias-primas que fornecem a plasticidade e resistência, durante o estágio de conformação, são geralmente as argilas. A argila é um material natural, de granulação fina, que quando umedecido com água, adquire plasticidade. Segundo

Santos (1992) o “termo argila significa um material de textura terrosa e de baixa granulometria, que desenvolve plasticidade quando misturado com uma quantidade limitada de água” e geralmente suas análises químicas mostram que são constituídas por silício, alumínio, água e uma grande quantidade de ferro e metais alcalinos e alcalinos-ferrosos.

Devido a estas características os minerais da argila ou argilominerais, são formados pela decomposição de rochas feldspáticas, via processos geológicos. A Caulinita, um dos argilominerais mais comum, consiste de uma folha de silicatos, com camadas alternadas de $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ e $[\text{Al}_2(\text{OH})_4]^{2+}$. O Brasil possui atualmente indústrias que utilizam argilas de diversos tipos, onde uma delas é a cerâmica vermelha utilizada para fabricação de telhas, tijolos, ladrilho de pisos, lages e material ornamental. (SANTOS, 1992)

A caracterização de uma argila é muito importante para os processos industriais, pois duas argilas podem diferir amplamente uma da outra, seja pela composição mineralógica qualitativa e quantitativa, sejam pelas demais propriedades químicas, físicas, mecânicas e tecnológicas.

Caracterizar a argila para uso tecnológico é conhecer a variabilidade de suas propriedades. As propriedades a serem medidas podem ser a textura, a composição mineralógica dos argilominerais e não-argilominerais, natureza e teor dos componentes orgânicos, onde estes itens estão relacionados com a distribuição, tamanho e a granulometria das partículas (NEUMANN, 2000).

Os principais argilominerais conhecidos, ou seja, que já se conhece bem a sua estrutura cristalina podem ser listados por seus grupos, do tipo Caulinita, Nacrita, Diquita, Gibsita entre outros. Segundo Paixão *et. al.* (2005) as principais características da argila são a plasticidade, quando se adiciona água, e a resistência quando seca. A resistência mecânica depende principalmente da granulometria, sendo a composição granulométrica mais adequada para aquelas que possuem substâncias argilosas em torno de 60%, estando o resto dividido igualmente entre silte, areia fina e areia média. As argilas devem apresentar plasticidade máxima, quando úmida, máxima resistência quando queimada (seca) e mínima retração durante a secagem. Para os processos de

fabricação de cerâmica vermelha é comum a utilização de dois tipos de argila, as duras (ilitas) com as plásticas (conhecida como argila de várzea).

2.4.3. Plasticidade dos materiais

Dependendo das características do argilomineral, o solo pode ter comportamento muito diferente, pois as partículas dos argilominerais diferem acentuadamente pela estrutura mineralógica, bem como pelos cátions adsorvidos. Desta forma, todos estes fatores interferem no comportamento do solo, mas o estudo dos argilominerais é muito complexo (SANTOS, 1992).

À procura de uma forma mais prática de identificar a influência das partículas argilosas, a engenharia a substituiu por uma análise indireta, baseada no comportamento do solo na presença de água. Generalizou-se, para isto, o emprego de ensaios e índices propostos pelo engenheiro químico Attemberg, pesquisador do comportamento dos solos sob o aspecto agrônômico (SANTOS, 1992).

Os limites de Attemberg se baseiam na constatação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. Quando este solo é muito úmido, ele se comporta como um líquido; quando perde parte de sua água, fica plástico; e quando mais seco, torna-se quebradiço. Este fato é bem ilustrado pelo comportamento do mineral transportado e depositado por um rio, que transborda invadindo as ruas da cidade. Logo que o rio retorna ao seu leito, o barro resultante se comporta como um líquido: quando um automóvel passa, o barro é espirrado lateralmente e após um tempo parte da água é evaporada. Quando isso acontece, os veículos deixam moldado no material, agora plástico, em que se transformou o barro as marcas de seus pneus. Secando um pouco mais, os pneus dos veículos já não penetram no solo depositado (BERNARDES, 2006).

Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado são definidos como: Limite de Liquidez (LL) e limite de Plasticidade (LP) dos solos. A diferença entre estes dois limites, que indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico, é definida como o índice de Plasticidade (IP) do solo. Em condições normais, só são apresentados os valores do LL e do IP como índices de consistência dos solos. O LP só

é empregado para a determinação do IP. O Limite de Plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão. Este procedimento é padronizado no Brasil pelo Método NBR 7180.

2.4.4. Porosidades dos materiais

A porosidade de um material de cerâmica vermelha é a relação entre o volume dos poros e o volume total aparente da cerâmica vermelha. Está relacionado a natureza dos constituintes, forma, tamanho e posição das partículas e muitas vezes da variabilidade dos processos de fabricação (OLIVEIRA, *et al.*, 2002).

A porosidade tem influência negativa nas propriedades elásticas e na resistência dos materiais. O módulo de elasticidade diminui em função da fração volumétrica da porosidade, exercendo um efeito negativo sobre a resistência a flexão pois os poros reduzem a área da seção, a qual é aplicado uma carga e concentram a tensão sobre o material (PAIXÃO, *et al.*, 2005.). Além disso o aumento da porosidade aumenta a absorção de água, diminui a condutividade térmica e elétrica da cerâmica vermelha e/ou argila e a massa específica também diminui com o aumento da porosidade do material.

Segundo Paixão, *et al.* (2005), “quando os grãos de uma argila são grossos ela tem menos poros e mais permeabilidade” e “quando predominam os grãos mais finos, a argila tem mais poros e menor permeabilidade”. Quando a argila possui grãos de vários tamanhos, a porosidade e a permeabilidade diminuem.

A porosidade dos materiais cerâmicos podem ser de dois tipos, a real e a aparente. A aparente considera apenas os poros abertos, ou seja, que absorvem água, e que podem ser analisados pelo teste de absorção de água. A segunda leva em consideração os poros abertos e fechados, que podem ser avaliados pelo teste de porosidade real.

2.4.5. Granulometria dos materiais

A granulação é o processo pelo qual, as partículas de pó muito finas se aderem uma as outras para a formação de uma partícula maior, denominadas de grânulos. Dependendo da aplicação desejada, esses grânulos podem ter tamanhos que variam de 0,2 mm à 20 mm ou mais. Esse processo é muito utilizado nas indústrias de fertilizantes, farmacêuticas, alimentícias, químicas, siderúrgicas, mineração e produtos cerâmicos. Normalmente, a granulação começa depois de uma mistura, via seca ou via úmida, dos ingredientes pulverizados ou não, de tal forma que esses componentes alcancem uma distribuição uniforme dentro da mistura, conhecida como homogeneização (BERNARDES *et. al.*, 2006).

Os constituintes do solo podem ser classificados de acordo com o tamanho de suas partículas. A massa granulada, após sofrer um processo de secagem e classificação granulométrica, pode ser utilizada diretamente como produto final (adubos, medicamentos, alimentos, rações para animais, etc) ou como uma forma intermediária, dentro do processo industrial, para a obtenção de outros produtos (SANTOS, 1992).

Na prática, o solo para fabricação da cerâmica deve conter uma fração de argila, juntamente com silte e areia, de modo a conformar as desejáveis características de plasticidade, bem como de não trincamento e retração, de vitrificação, etc. Na Tabela 2 são mostrados os valores referenciais da granulometria das argilas.

Tabela 2: Classificação do solo segundo a granulometria

	Fração	Dimensões (mm)
Areia	Grossa	2 – 0,6
	Média	0,6 – 0,2
	Fina	0,2 – 0,02
Silte	Grosso	0,06 – 0,02
	Médio	0,02 – 0,006
	Fino	0,006 – 0,002
Argila	-----	Menor que 0,002

Fonte: Adaptado de Santos, 2002.

Os métodos de granulação podem ser divididos em dois tipos. Dentre estes tipos podemos citar o via úmida que utiliza líquido no processo e o via seca que não utiliza líquido no processo. Na granulação via seca ocorrem os processos de prensagem de uma mistura de pós em um molde e o processo de rolos compactadores, através de dois rolos, produzindo uma folha laminada de material.

Na granulação via Úmida é necessária à aplicação de um líquido sobre o pó, formando uma massa com um teor de umidade adequada ao processo. No processo tradicional de via Úmida, esta massa é forçada através de uma peneira (malha) para produzir grânulos úmidos, que posteriormente sofrem o processo de secagem. Então, uma classificação granulométrica é realizada para separar os tamanhos de grânulos desejados, onde os grânulos rejeitados podem ser reutilizados no processo (Santos, 2002).

2.5. Incorporação do lodo à cerâmica.

O lodo não deve ser considerado como um simples resíduo. Suas características físico-químicas o tornam um excelente condicionador do solo, podendo auxiliar na melhoria das práticas agrícolas atualmente em uso em nosso país (ANDREOLI, 1999; SANEPAR, 1997). Nesta ótica, o lodo de esgoto passa a ser entendido como biosólido, ou seja, é o lodo resultante do tratamento biológico dos esgotos condicionados de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola (TSUITIYA, 2001).

A reciclagem do lodo na agricultura é uma das alternativas quando este atende aos requisitos necessários com relação a concentração de metais pesados e patógenos (PROSAB, 1999). Por outro lado, recentes pesquisas vem sendo realizadas abordando o uso e/ou reutilização destes resíduos como materiais cerâmicos. Dentre estas pesquisas pode-se citar Weisse *et. al.* (2006); Teixeira (2006); Moreira *et. al.* (2001); Bitencourt *et. al.* (2002); Herek *et. al.* (2005).

A seguir serão mostrados alguns trabalhos de pesquisas já desenvolvidos com resíduos têxteis incorporados em matrizes de argila, onde segundo os diversos autores, obtiveram resultados que possibilitam o desenvolvimento de novos produtos.

Moreira *et. al.*, 2001 incorporaram o resíduo gerado na estação de tratamento de esgoto de indústria têxtil na fabricação de materiais de construção (cerâmica vermelha), utilizando até 10 % de lodo têxtil em argila e queimaram em forno a uma temperatura entre 1000 e 1100 °C, obtendo, assim, os melhores resultados quanto à resistência mecânica e absorção de água.

Bitencourt *et. al.*, 2002 caracterizaram o lodo gerado em indústria têxtil e detectaram a presença de metais, entre outros o cobalto, cobre e zinco, além do alumínio, utilizado no processo de decantação dos sólidos durante o tratamento físico-químico dos efluentes. De maneira geral, a lixiviação ocorrida nos corpos de prova sem lodo incorporado (branco) é da mesma ordem de grandeza daquela encontrada nos corpos de prova contendo lodo. Isso leva a conclusão de que a argamassa permite uma incorporação segura dos metais detectados no lodo da lavanderia têxtil industrial, objeto deste estudo.

HEREK *et. al.*, 2005 estudaram a solidificação/estabilização em proporções de 10 e 20 % de lodo seco de uma lavanderia têxtil, obtendo bons resultados no teste de resistência à compressão e absorção de água em blocos cerâmicos com 10 % de lodo incorporado na matriz argila.

KAMINATA *et. al.*, 2008 incorporaram resíduo têxtil de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos de vedação mostrando-se um processo viável para a destinação final deste tipo de resíduo. As características físicas e mecânicas das amostragens de bloco com 10% de resíduo têxtil realizadas com o processo de secagem e queima lenta em forno de olaria atenderam aos valores estabelecidos pela norma NBR15270- 3/2005.

MONTEIRO *et. al.* (2008) mostraram que a incorporação de 10 % de lodo proveniente de uma estação de tratamento têxtil na argila aumenta ligeiramente o absorção de água e diminui a força mecânica da argila após o estágio de queima. Com isso, a incorporação deste tipo de resíduo na fabricação de cerâmica vermelha é viável.

Entretanto, sua incorporação deve ser feita em baixos percentuais para evitar os danos ao processo e a qualidade do produto cerâmico.

PAIXÃO *et. al.*, 2005 verificaram que a adição do lodo de ETE na argila para fabricação de cerâmica vermelha alterou as propriedades mecânicas do produto, permanecendo dentro dos limites estabelecidos para cerâmica vermelha para uso na construção civil. Portanto, é possível o aproveitamento do lodo de ETE estudado em cerâmica vermelha para adições de até 10 % do lodo à argila.

2.6. Análise dos materiais

A caracterização dos materiais é necessária pois somente com ela pode ser realizada a análise das substâncias presentes neste material. Para as aplicações industriais, os resultados das análises geram suporte para otimização dos processos bem como a busca da qualidade do produto. Os resíduos gerados nestes processos também devem ser analisados, pois somente desta forma poderá se fazer o correto gerenciamento de resíduos, identificando a classificação do mesmo conforme norma NBR10004. Para realização destas análises existem algumas técnicas muito utilizadas para este fim. Dentre elas pode-se citar a DRX (Difração de raios-X), o MEV (microscopia eletrônica de varredura), EDS (microscopia de energia dispersiva), TGA (análise termogravimétrica) e a lixiviação (CANEVAROLO, *et al.*, 2004).

Dentre as várias técnicas de caracterização de materiais, a técnica de difração de raios X é a mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes amostra. Isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios X. Ao incidir um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração. A identificação das fases presentes é baseada na comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado anteriormente (CORREA, *et al.*, 2006).

Segundo Canevarolo, *et. al.* (2004), A técnica de difração de raio-X “utiliza o espalhamento coerente da radiação X, por estruturas organizadas (cristais), permitindo realizar estudos morfológicos em materiais, determinando sua estrutura cristalina.”

Dentre as vantagens da difração de raios X para a caracterização de fases, destaca-se a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina), a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases (CANEVAROLO *et. al.*, 2004).

Durante a fase de produção ou análise de materiais, quase sempre se torna necessário analisar a sua microestrutura. Esta análise microestrutural é muito importante, pois permite realizar correlações entre a microestrutura, defeitos e propriedades, onde com isso, é possível detalhar as propriedades do material (CANEVAROLO *et. al.*, 2004).

A função de um microscópio é produzir uma imagem ampliada do material, contendo a informação estrutural necessária, fazendo ser percebida pelo nosso sistema olho-cérebro. Além disso é necessário uma variação na intensidade luminosa ou cor, melhorando esta percepção. O desenvolvimento desses microscópios se fez necessário para que se consiga ultrapassar a barreira da luz visível. Para tanto foi desenvolvido os microscópio eletrônicos. As várias técnicas de microscopia eletrônica existentes são as principais técnicas para verificação da morfologia e estrutura fina dos materiais (DUARTE, *et. al.*, 2003).

Segundo Canevarolo, *et. al.* (2004) “o microscópio eletrônico de varredura é, sem dúvida, o microscópio mais versátil, devido as suas várias características.” Ele é geralmente utilizado para avaliar as estruturas superficiais das amostras, que possuem dimensões relativamente grandes.

Um aspecto importante na microscopia eletrônica de varredura (MEV) é o volume de interação. Este está relacionado ao volume que o feixe de luz efetivamente interage ao incidir sobre um ponto na superfície da amostra. Um dos aspectos mais atrativos para escolha da técnica do MEV é a facilidade de preparação das amostras (DUARTE, 2003).

A análise de TGA (termogravimétrica) é uma técnica na qual a massa de uma substância é medida em função da temperatura, enquanto a substância é submetida a uma programação controlada de temperatura. As principais aplicações da TGA é para decomposição térmica de substâncias inorgânicas, orgânicas e poliméricas, corrosão de metais em diferentes atmosferas a elevadas temperaturas, reações no estado sólido, calcinação de minerais, destilação e evaporação de líquidos, determinação de umidade e degradação termo-oxidativa de polímeros (CANEVAROLO *et. al.*, 2004).

A classificação dos resíduos, quanto a sua toxicidade, é baseada na avaliação do seu comportamento em contato com um solvente. A lixiviação é o procedimento mais utilizado para analisar a potencialidade de transferência de matéria para o meio natural. Os ensaios de lixiviação podem ser utilizados para se determinar o comportamento de substâncias durante a percolação dos líquidos e também para caracterizar a periculosidade de um resíduo, visando o controle dos resíduos sólidos perigosos. A lixiviação é um ensaio que procura reproduzir em laboratório, o arraste, diluição e dissolução que ocorrem no resíduo sólido, devido à passagem de água das chuvas, por exemplo, através do resíduo, quando disposto no meio ambiente. A lixiviação tem o objetivo de diferenciar os resíduos perigosos dos não perigosos, conforme a classificação da ABNT (PIETROBON *et. al.*, 2004).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos deverão ser integradas metodologias específicas das áreas de Engenharia de Materiais e de Processos. Os materiais e os métodos que serão foram utilizados para realização dos ensaios estão descritos neste capítulo.

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho foi seguido algumas etapas, que abrangem desde a caracterização até a discussão dos resultados. A figura 3 mostra através de um fluxograma as etapas utilizadas neste trabalho.

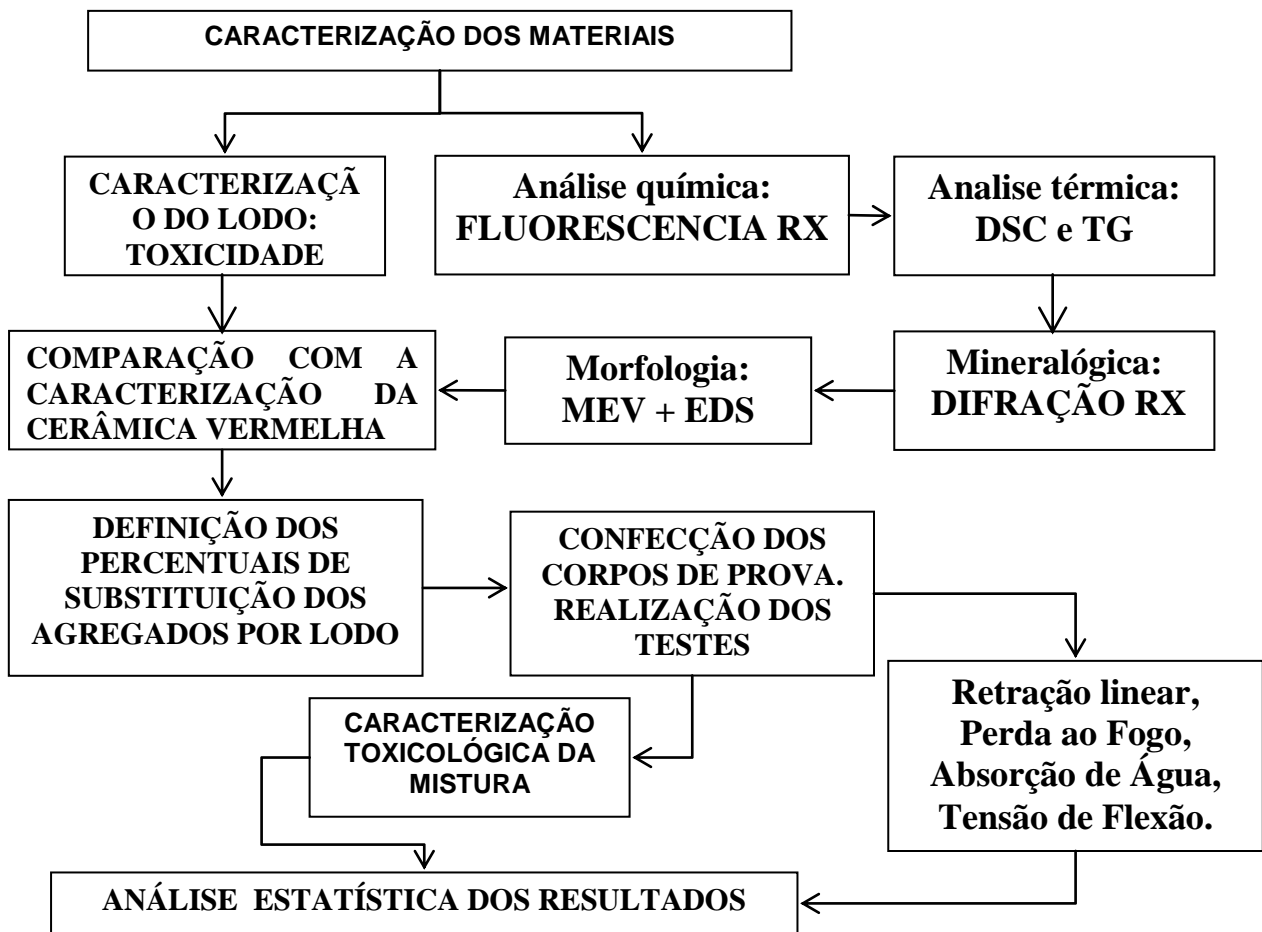


Figura 3: Fluxograma das etapas que foram utilizadas neste projeto

Inicialmente foi realizado a caracterização dos materiais, ou seja, argila coletada em uma indústria cerâmica da região de Joinville e lodo proveniente de uma estação de tratamento de efluentes têxtil, também da região de Joinville. Com os resultados da caracterização dos materiais foi realizado uma comparação entre eles e assim foi verificado a possibilidade de incorporação deste resíduo têxtil na matriz cerâmica. Foi desta forma também que foi definido os percentuais de incorporação de resíduo. Após a definição dos percentuais de incorporação foi iniciado a confecção dos corpos de provas para realização dos ensaios mecânicos indicados pelas normas pertinentes ao setor cerâmico brasileiro. Paralelamente a estes ensaios foi realizado o teste de toxicidade deste material formado. O objetivo deste teste é verificar se a incorporação do resíduo têxtil a matriz cerâmica, altera a classificação do resíduo cerâmico. A descrição destes métodos estão descritos a seguir.

3.1. Coleta e preparação da amostra do lodo

Foram realizadas visitas à empresa têxtil para fazer um melhor acompanhamento do funcionamento do sistema de tratamento de efluentes até a obtenção do lodo sólido e extensa pesquisa científica sobre o tema.

A estação de tratamento de efluentes da Empresa é composta por processo de tratamento biológico, seguido de tratamento físico químico.

Após avaliação da Estação de Tratamento de Efluentes, foi verificado que a ETE está dividida em algumas etapas bem definidas. As etapas pela qual o efluente líquido que é gerado nos processos da Empresa é processada, podem ser verificadas na figura 4.

A Identificação da composição química do lodo sólido gerado no processo de tratamento de efluentes da empresa foi avaliada. Foram utilizadas técnicas de caracterização química e física para identificar os componentes existentes na formação do lodo sólido. A descrição desta técnica pode ser verificada no item 3.2 deste trabalho. As matérias-primas que foram usadas neste trabalho são argila, da região de Joinville, no estado de Santa Catarina, Brasil, utilizada no processo de fabricação de uma Empresa Cerâmica, aplicado geralmente na fabricação de tijolos e telhas, e um lodo residual do processo de decantação, coletado após o estágio do filtro prensa na estação de tratamento de efluentes da empresa e o local de coleta deste resíduo pode ser verificado na Figura 5.

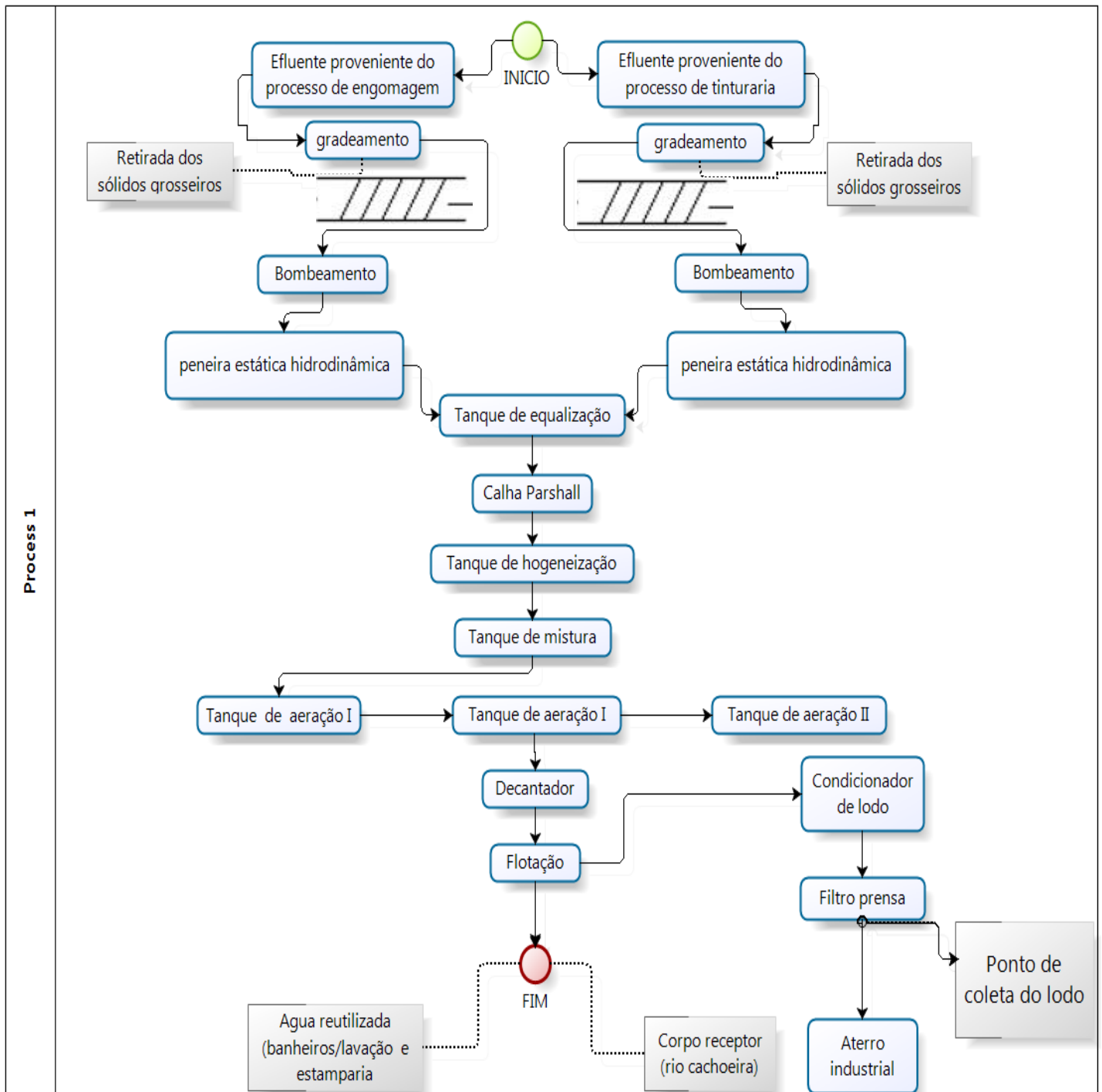


Figura 4: Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluente da empresa
 Fonte: Adaptado Ganske, 2008



Figura 5: Ponto de coleta do lodo têxtil. (A=filtro prensa, B= ponto de coleta e C= Lodo têxtil)

Após a coleta do lodo e da argila *in natura*, ambas as matérias-primas foram secas inicialmente em 110 °C em uma estufa ventilada até peso constante, identificando o teor de massa seca do lodo e da argila. Foi preparado neste momento 30 kg da matéria prima (argila) e 15 kg de lodo. Após este processo de secagem foi separado 500 gramas de cada material, lodo e argila, realizando a fragmentação

peneiramento. A peneira utilizada foi uma peneira número 50 e a moagem foi realizada em um moinho de bolas do CCT da UDESC em Joinville, conforme Figura 6, em um jarro de porcelana com tampa, com capacidade de 3 litros da Servitech modelo CT 240 com esferas de 13 mm e 20 mm de Alumina. Foi utilizado um jarro e conjunto de esferas para Cada material, para evitar a contaminação dos materiais.



Figura 6: Moinho de bolas da UDESC

Em seguida, os materiais passaram novamente por um processo de secagem a 110 °C até peso constante em uma estufa ventilada do laboratório caracterização de materiais da UNIVILLE. A Figura 7 mostra as etapas realizadas para preparação das matérias primas.

A determinação da quantidade de sólidos secos foi realizada por meio dos procedimentos apresentados pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 20th Edition*. Separou-se 300 mg em volume de amostra bem homogeneia e realizado a transferência através de um agitador magnético para um prato com peso inicial pré estabelecido. Após esta etapa foi levado a estufa durante aproximadamente 1 hora na temperatura de 110 ° C, e após deixou-se o prato esfriar no Dessecador até a temperatura de equilíbrio, onde em seguida à amostra foi pesada. O ciclo de secagem, resfriamento, dessecação e pesagem foram repetidos até peso constante.

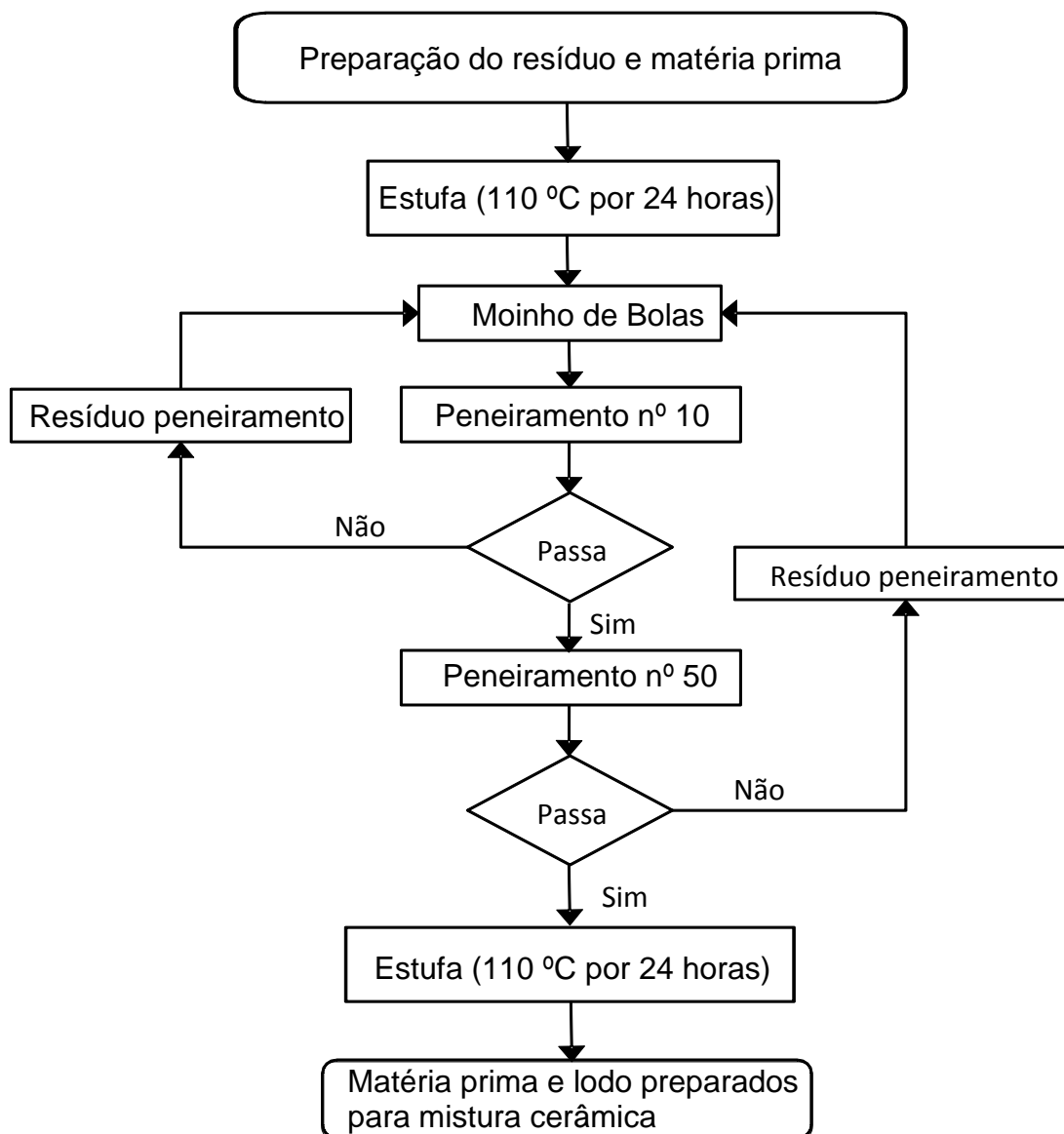


Figura 7: Etapas para preparação da matéria prima (argila) e lodo têxtil.

3.2. Caracterização dos materiais

Inicialmente, foi realizada a avaliação dos resultados encontrados pelos testes de lixiviação e solubilização realizados pela empresa têxtil. Os procedimentos de análises estão baseados nas normas descritas pela NBR 10004/04, 10005/04, 10006/04.

Estes testes seguiram as etapas descritas *no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 20 th Edition.* , onde para execução das análises foi utilizado os equipamentos espectrofotômetro de absorção atômica, espectrofotômetro calorimétrico e cromatógrafo de íons a gás com espectrometria de massa e periféricos em geral.

As análises físico química da torta de lodo, obtida após o filtro prensa, na etapa de decantação dos resíduos sólidos da estação de tratamento da empresa, foram verificadas. Inicialmente foi avaliada as análises realizadas pelo laboratório da Aquaplant e os modelos de cada equipamento utilizado pode ser verificado na Tabela 3:

Tabela 3: Equipamentos utilizados para análise físico química

<i>Equipamento</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>
<i>Balança analítica</i>	Shimadzu	AW220
<i>Phmetro</i>	Toledo	SG 2
<i>Cromatógrafo de íons</i>	Dionex	ICS 90
<i>Especfotômetro calorimétrico</i>	Marck	Nova 60
<i>Especfotômetro de absorção atômica</i>	Varian	SpectAA 55B

Fonte: Aquaplant (2009)

Tambem foi realizado a análise de massa do resíduo, identificando o pH, a quantidade de matéria orgânica e os óleos e graxas existentes na massa.

Nesta análise foi verificado as constituintes físicos químicas da torta do lodo da ETE da empresa. Estes resultados foram avaliados para indicar a classificação do resíduo segundo a NBR 10004 e realizar comparações com os resultados quantitativos e qualitativos que foram realizados para identificação química do resíduo.

Os padrões de comparação utilizados para avaliação deste resíduo são os valores de referência indicados no anexo G, padrões para ensaio de solubilização, da NBR 10004.

Alem da análise de lixiviação foi realizada a análise de solubilização da torta de lodo gerado após a etapa de decantação e passagem pelo filtro prensa. As constituintes

solubilizadas são utilizadas atualmente pela empresa têxtil da região de Joinville como base para indicação da classificação do resíduo e do corpo líquido depositado nos mananciais da região após o tratamento. Esta comparação é feita em relação aos valores de referência indicados no anexo F, padrões para ensaio de lixiviação, da NBR 10004.

A lixiviação tem o objetivo de diferenciar os resíduos perigosos dos não perigosos, conforme a classificação da ABNT NBR 10004.

Após a análise de lixiviação e solubilização realizado no laboratório de análises da Aquaplant foi separado 50 gramas de pó do lodo e 50 gramas de pó da argila e encaminhados à caracterização mineralógica, física e química pelos testes de fluorescência de raios-X, difração de raios-X (XRD), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva (EDS), para definir a distribuição de tamanho das partículas e análise química.

A composição química foi determinada por fluorescência de Raio-X (FRX), usando um espectrômetro EDX 700 Shimadzu do Laboratório Interdisciplinar de Materiais Cerâmicos da Universidade Estadual de Ponta Grossa. A análise por FRX foi escolhida para realizar a caracterização química dos materiais, pois é uma técnica que consegue identificar e quantificar a presença de alguns elementos importantes para um composto cerâmico.

A avaliação da estrutura cristalina dos materiais, lodo e argila, foi realizada por Difração de Raios X (DRX). Para a realização desta análise foi utilizado o difratômetro Shimadzu (XDR 6000) com tubo de raio X de cobre, voltagem 40 kV e corrente 30 mA. A leitura foi realizada no eixo de direção 2θ , entre 5° até 40° , com velocidade de $2^\circ / \text{min}$, Figura 8. Foi realizada a análise com as amostras secas até peso constante e também após calcinação a 550°C por 2 horas. Os minerais identificados apresentam-se comparados com padrões do banco de dados do *International Center for Diffraction Data – ICDD*.



Figura 8: Equipamento de análise de difração de raio-X da UDESC Joinville

O lodo foi submetido também às análises termogravimétrica (TG) e termo diferencial (DTG) para avaliar o comportamento térmico da amostra de lodo, já que a base do processo de fabricação de cerâmica está condicionada a queima.

A análise termogravimétrica (TG) determina a perda ou ganho de massa que uma amostra sofre em função da temperatura e /ou tempo. Desta forma, o objetivo de realiza-las é poder verificar a perda de massa de cada um dos materiais e assim, avaliar similaridade dos materiais, podendo determinar o percentual possível de incorporação do lodo na argila.

A DSC tem o objetivo de avaliar as possíveis incompatibilidades entre componentes de formulações. A análise é feita por intermédio da comparação das curvas termoanalíticas das substâncias puras com aquelas obtidas da mistura, em massa.

Estas análises foram conduzidas simultaneamente em um instrumento marca Netzsch, modelo STA 449C, conforme Figura 9, que opera sob um fluxo de argônio (30 mL / minuto) para aquecimento e de um gás protetivo de nitrogênio a uma taxa de 15 ml / min. A taxa de aquecimento foi de 10 °C / min até a temperatura máxima de 1200 °C usando uma amostra de 25 mg de pó, peneirada. Para condução da análise foi utilizado um cadinho em alumina com massa da amostra 154 g.



Figura 9: Equipamento TG / DTA. (A = equipamento TG / TGA / B = *Display*)

Os aspectos morfológicos das partículas do lodo foram estudados por microscopia eletrônica de varredura, MEV, usando um equipamento modelo Jeol JSM 6460 LV acoplado com espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Neste equipamento também foi realizado a análise química através dos materiais do EDS para comparar com a análise de FRX.

3.2.1. Produção Confecção dos corpos de prova

As diferentes misturas foram preparadas com quantidades de 0, 10, 15 e 20 % de lodo incorporado na argila. Os corpos de provas são prismáticos (70 X 30 X 5 mm), contendo aproximadamente 8 % de umidade, onde foram moldados com pressão uniaxial de 20 MPa. Estes corpos de prova foram secos a 110 °C por 24 h em um forno ventilado.

A preparação dos corpos de prova iniciou com a moagem dos materiais em grãos de aproximadamente 15 mm. Após esta etapa foi realizado a secagem das matérias primas em forno ventilado até peso constante e realizado fragmentação em moinho de bolas e posterior peneiramento com granulometria de 60 micra.

Este processo foi realizado com bateladas de 500 gramas de matéria prima ou lodo com 1 kg de esferas de alumina. Após obter a quantidade necessária para realização dos corpos de provas, foi novamente colocado em estufa ventilada a 110 °C até peso constante.

Com os materiais preparados foram iniciados as misturas conforme estabelecido anteriormente, 0, 10, 15 e 20 % de lodo. A cada mistura foi preparado 1,2 kg de

material, já com a mistura da argila incorporada com o percentual necessário de lodo. Desta forma foi realizada a pesagem de 1080 gramas de argila e 120 gramas de lodo (10 %) e misturado os materiais em um cadinho do laboratório de cerâmica da UNIVILLE, durante 10 minutos. Então foi depositada esta mistura dentro do jarro de porcelana e adicionado 70 %, ou seja, 840 gramas de água na mistura e levado ao moinho de bolas da UDESC, durante 4 horas, com o objetivo de homogeneizar a mistura. Então foi realizado uma etapa de decantação e peneiramento com peneira de 5 micron para retirada do excesso de água na mistura.

O material resultante sobre a peneira, retirado após 24 horas, foi realizado a moagem preliminar e levado a estufa ventilada para retirada da umidade até peso constante. Então foi adicionado 8 % de umidade a mistura e levado ao moinho de bolas durante 24 horas e armazenado para iniciar o processo de compactação dos corpos de prova.

Este mesmo procedimento foi utilizado para as misturas de 15 % e 20 %. Para a argila foi realizado a etapa de homogeneização e, moagem, peneiramento e armazenamento para o processo de compactação dos corpos de provas.

A compactação dos corpos de prova planos (70 X 30 X 5 mm) foi realizada em uma prensa uniaxial, Instron 5582, conforme figura 10 , usando 23 gramas de material por peça com uma pressão de compactação de 20 MPa. Após a compactação, os corpos de provas foram identificados e levados a secagem em estufa ventilada a 110 °C até peso constante, queimados e resfriados naturalmente. As outras misturas seguiram o mesmo procedimento alterando apenas a concentração de lodo.

A queima dos corpos de prova foi realizada em um forno elétrico do laboratório de cerâmica da UDESC Joinville nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C. Esta escala de temperatura foi escolhida pois segundo a literatura estas são as temperaturas usadas normalmente na fabricação de cerâmica vermelha. A taxa de aquecimento do forno para a queima foi de 5 °C / min, permanecendo por 2 h na temperatura máxima. A refrigeração dos corpos de prova ocorreu por convecção natural dentro do forno após o término do ciclo.

Foram testados quatro (4) corpos de prova para cada combinação da composição de mistura e da temperatura de queima para obter as propriedades

mecânicas tecnológicas relacionadas à retração linear pela queima, perda de massa, a absorção da água e a força flexão de ruptura em três pontos. A Figura 10 mostra os corpos de prova compactados antes da queima (A) e após queima (B) .



Figura 10: Corpos de prova antes da queima (A) e após queima (B) dentro do forno.

3.2.1.1. Procedimento contração linear

A contração linear é um ensaio realizado para avaliar a propagação do processo de sinterização do material durante a queima. Através deste ensaio é possível verificar o grau de qualidade do bloco cerâmico. Segundo Paixão (2005), “normalmente uma boa qualidade de bloco cerâmico possui contração linear abaixo de 8 %”. Esta contração se manifesta no corpo de prova na forma tridimensional, alterando o seu volume quando submetido à processo de sinterização. O procedimento para realização desta análise foi baseado na ABNT NBR 9623, onde a medida é realizada linearmente e expressa na forma de coeficiente, conforme equação a seguir:

$$\Delta L/L_0 = 100 * (L_s - L_0) / L_0$$

Onde,

ΔL = Variação do comprimento;

L_0 = Comprimento corpo de prova após queima;

L_s = Comprimento corpo de prova seco, antes da queima.

Foi realizada a análise da retração linear medindo-se o comprimento do corpo de prova. Também foi avaliado com relação à largura do corpo de prova, da espessura do corpo de prova e em relação ao seu volume. Esta análise foi realizada para argila pura, com 10 %, 15 % e 20 % de lodo incorporado, avaliando a influência da temperatura (800, 900, 1000 e 1150 °C) em cada uma das composições.

3.2.1.2. Procedimento perda ao fogo

A perda ao fogo de um material está atribuída a matéria orgânica contida na mistura. Segundo Santos, (1992), a perda ao fogo aceitável para um bloco cerâmico pode chegar até 15 %. Paixão, 2005, também indicou que o valor máximo de perda ao fogo é 15 %. Soares (2008) apud Senai (2006), indicam que este valor deve ficar entre 6 a 16 %. Neste projeto será utilizado como referencial o valor indicado por Paixão (2005).

3.2.1.3. Procedimento absorção de água

A absorção de água reflete o grau de sinterização dos materiais. A absorção de água é um importante fator que interfere na durabilidade dos produtos de cerâmica vermelha. Segundo Paixão (2005), esta característica está relacionada com a resistência aos ataques químicos e físicos ao meio ambiente. Segundo a NBR 15270-3 os valores referenciais de absorção de água para blocos cerâmicos / tijolo maciço são de no mínimo 8 % e máximo 22 % e as telhas é de 20 %. A porosidade do material interfere diretamente no percentual de absorção de água pois a quantidade elevada desses poros compromete a qualidade do produto cerâmico, indicando, por exemplo, que o corpo cerâmico não sofreu uma queima ideal. Portanto a boa sinterização é indicada, pois diminui a quantidade destes poros. O cálculo para se definir o percentual da absorção de água de um produto cerâmico é mostrado a seguir:

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

AA = Absorção de água

Mu = Massa do corpo de prova úmido. (após queima)

Ms = Massa do corpo de prova seco. (após queima)

A absorção de água foi determinada de acordo com o procedimento padrão, descrito na ABNT NBR 15270.

3.2.1.4. Procedimento tensão de flexão

O ensaio de flexão à ruptura tem o objetivo de avaliar características relacionadas ao grau de compactação e consistência do material. Desta forma pode-se avaliar o grau de sinterização de um material. Segundo Paixão (2005), “os valores da tensão de ruptura a flexão aumentam com o acréscimo da temperatura de queima. Isto é devido a densificação do material, ou seja, a redução da porosidade dos corpos de provas.” Segundo Lopes (2005), para realização do teste de tensão de ruptura, os corpos de provas devem ficar na posição bi-apoiados, com aplicação de uma carga concentrada no ponto médio do vão livre.

A Figura 11 mostra um esquemático do corpo de prova para ensaio de flexão.

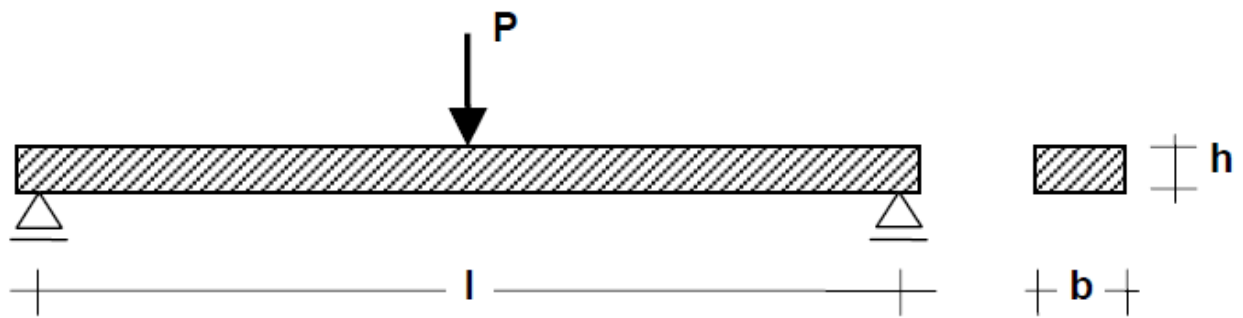


Figura 11: esquema do corpo de prova posicionado para o ensaio de flexão de três pontos.

Para avaliação do resultado de ruptura à flexão é realizado cálculo expresso pela equação abaixo:

$$TRF = \frac{3PI}{2bh^2}$$

Onde,

TRF = tensão de ruptura flexão (MPa)

P = carga de ruptura (N)

l = distância entre os apoios (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

Para realizar a avaliação de resistência mecânica dos corpos de prova foi realizado a análise da força flexão de ruptura em três pontos. Este teste foi realizado em uma máquina universal de teste Instron 5582, de acordo com o procedimento padrão, em ASTM C 674-77 e comparados com os valores estabelecidos na NBR 15270. Todos estes testes atenderam as normas pertinentes ao setor cerâmico nacional.



Figura 12: Equipamento para compactação dos corpos de provas e análise de flexão de ruptura.

3.2.2. Ensaios de toxicidade

Após a realização dos ensaios mecânicos dos materiais, foi avaliada a caracterização toxicológica deste composto. Esta ação tem por objetivo verificar se a incorporação do lodo, (resíduo classificado como classe IIA), interfere na toxicidade de toda a massa cerâmica. Esta condição pode inviabilizar a utilização de lodo têxtil, proveniente do processo da ETE, após o estágio do filtro prensa. Esta avaliação foi realizada antes, ou seja, com o lodo e a argila pura e também depois, após o processo de queima dos compostos. Foi escolhido para preparação do material após queima, os corpos de provas com 20 % de lodo incorporado. Esta composição foi escolhida pois se constitui no maior percentual de incorporação à argila.

Para verificação da toxicidade foi avaliado a temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade e pH do meio de cultivo do microorganismo *Daphnia similis* e também do solubilizado dos materiais.

Foi realizado o teste de toxicidade aguda, seguindo os passos da NBR 10006, procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e NBR 10007. Inicialmente foram preparadas 4 concentrações de solubilizado.

Para a preparação dos solubilizados, inicialmente foi retirado 1,2 kg de lodo *in natura* e 1,2 kg argila e levado a estufa com ventilação forçada a ar e exaustão na

temperatura de 42 °C até atingir peso constante. Este procedimento levou aproximadamente 5 dias, pois o percentual de umidade do lodo era de aproximadamente 50 % e da argila era de 41 %. Após atingir peso constante, ou seja, base seca, foram pesados 250 gramas de base seca do lodo e realizado moagem e peneiramento com peneira de 9 mm.

O material seco e moído foi colocado em um frasco de 1500 ml e adicionado 1000 ml de água destilada e levado ao equipamento para agitação, modelo Certomat, durante 5 minutos. Após esta etapa, iniciou o processo de decantação onde o frasco foi fechado com filme de PVC e armazenado na temperatura de 20 °C durante 7 dias.

Após terminado o processo de decantação, foi realizado filtração da solução com aparelho de filtração com membrana filtrante de 0,45 micron.

Este material filtrado resultou no extrato solubilizado utilizado para o teste de toxicidade, onde inicialmente foi determinado o pH deste extrato solubilizado.

Os passos identificados anteriormente para obtenção de extrato solubilizado foi replicado para o solubilizado do lodo e realizado para o solubilizado da argila com réplica e nos corpos de prova realizado com concentração de 20 % de lodo incorporado, queimados a 800 °C, também realizando a réplica do extrato.

Foram utilizados 20 organismos *Daphnia similis* em cada tratamento. A duração de cada teste foi de 48 horas e os recipientes que foram utilizados são béqueres com capacidade para 200 mL. Não foi feita renovação da solução, ou seja, dos lodos e da água de manutenção dos organismos. Durante os testes os organismos foram mantidos sem alimentação, sob temperatura de 20 ±2 °C.

Durante os ensaios os organismos foram expostos a diferentes concentrações de lodo, correspondendo a diferentes diluições (0,01 %, 01 %, 10 % e 100 %). A água de diluição utilizada foi a água de manutenção dos organismos no laboratório. No dia anterior aos testes, fêmeas ovígeras de *D. Similis* (mantidas em cultura com meio alimentar de 105 células / mL de algas) foram separadas para a obtenção de neonatas com idade inferior a 24 horas.

Foram realizadas as seguintes análises: pH, temperatura, condutividade, dureza da água de diluição antes do início dos testes e de todas as concentrações no final dos testes. Após o período do ensaio foi realizado a contagem dos organismos

sobreviventes e os resultados expressos em porcentagem de organismos mortos ou imobilizados em cada tratamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atualmente o lodo sólido gerado no final do processo de tratamento de efluente na indústria têxtil é disposto em aterro industrial. Através da investigação proposta neste trabalho espera-se obter resultados que atendam as normas regulamentadoras brasileiras pertinentes ao setor cerâmico e também aos requisitos ambientais.

4.1. Caracterização do resíduo têxtil

A análise de massa da torta de lodo foi avaliada e o resultado pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4: Resultado análise de massa

Ponto de coleta	Torta de lodo proveniente do filtro prensa		
Aspecto da amostra	Sólido	Umidade da amostra	50%
Parâmetros	Equipamento	Modelo	Resultado
Matéria orgânica	Vidraria geral		16,4%
PH (-)	Phmetro Toledo	SG 2 1228055239	10,04

Fonte: Aquaplant (2009)

Este resultado mostra que o aspecto da amostra é sólido, mas possui 50 % de umidade, indicando que o processo de filtragem e prensagem do lodo não é muito eficiente, gerando um volume de resíduo desnecessário. Pode-se verificar um elevado percentual de matéria orgânica em sua composição, devido ao tratamento utilizado que é o de lodo ativado. O pH indicou que a torta de lodo é alcalina.

O ensaio de lixiviação foi realizado de acordo com a ABNT NBR 10005, onde se qualquer contaminante com concentrações maiores que o indicado no anexo F da norma NBR 10004, o resíduo deve ser caracterizado como tóxico.

Conforme os resultados indicados na Tabela 5 e comparados com o anexo F da NBR 10004, a torta de lodo proveniente da etapa de decantação da ETA de uma

indústria têxtil da região de Joinville não é considerado um resíduo perigoso, mas conforme o anexo A, também da NBR 10004, resíduos provenientes de estação de tratamento de efluentes, mesmo estando dentro dos limites aceitáveis pela norma, deve ser considerado como resíduo tóxico. Desta forma, segundo o resultado da análise de lixiviação, a torta de lodo desta indústria têxtil não é um resíduo perigoso e sua classificação é dada com classe II A.

O ensaio de solubilização foi realizado de acordo com a ABNT NBR 10007, onde se qualquer contaminante com concentrações maiores que o indicado no anexo G da norma NBR 10004, o resíduo deve ser caracterizado como perigoso e tóxico.

Os resultados da solubilização da torta de lodo são apresentados na Tabela 6. Conforme verificado na Tabela 6, todas as constituintes analisadas estão dentro do valor limite, indicando que sua classificação é classe II A.

Tabela 5: Resultado análise de lixiviação

<i>Parâmetros</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Modelo</i>	<i>Resultado</i>	
Arsênio AS	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,0001 mg/L	1,0
Bário Ba	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,27 mg/L	70,0
Cádmio Cd	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,015 mg/L	0,5
Chumbo Pb	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,01 mg/L	1,0
Cromo total Cr	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,030 mg/L	5,0
Fluoretos F	Cromatografo de íons	ICS 90 série 080310	0,449 mg/L	150,0
Mercúrio Hg	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,0019 mg/L	0.1
Prata Ag	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,02 mg/L	5,0
Selênio Se	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,0001	1,0

Fonte: Aquaplant (2009)

Tabela 6: Resultado análise do solubilizado

Parâmetros	Equipamento	Modelo	Resultado	
Arsênio AS	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,0001 mg/L	0,01
Bário Ba	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,20 mg/L	0,7
Boro B	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,50 mg/L	-----
Cádmio Cd	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,001 mg/L	0,005
Chumbo Pb	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,01 mg/L	0,01
Cianetos CN	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,005 mg/L	0,07
Cobre Cu	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,114 mg/L	2,0
Cromo hexavalente CR	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,03 mg/L	-----
Cromo total Cr	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,030 mg/L	0,05
Fenol C6H5OH	Espectrofotômetro calorimétrico	Nova 60 série 06420101	> 0,01 mg/L	0,01
Ferro total Fe	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,025 mg/L	0,3
Ferro total dissolvido Fe	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,025 mg/L	0,3
Fluoretos F	Cromatografo de ions	ICS 90 série 080310	1,649 mg/L	1,5
Fósforos total P	Espectrofotômetro calorimétrico	SpectrAA 55B	0,6 mg/L	-----
Manganês Mn	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,005 mg/L	0,1
Mercúrio Hg	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,0001 mg/L	0,001
Níquel Ni	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,0051 mg/L	-----
Nitrogênio Total N	Espectrofotômetro calorimétrico	Nanocolor 400D	231 mg/L	-----
Prata Ag	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	< 0,02 mg/L	0,05
Selênio Se	Vidraria geral		0,00025	0,01
Sulfeto S2-	Espectrofotômetro de absorção atômica	SpectrAA 55B	0,050 mg/L	-----
Sulfito SO3 2-	Standart Methods 20a 4500 B	Vidraria geral	4,0 mg/L	-----
Zinco Zn	Standart Methods 20a 3111 B	Espectrofotômetro de absorção atômica	0,012 mg/L	5,0

Fonte: Aquaplant (2009)

4.1.1. Fluorescência de Raio X

Após analisar a avaliação química realizada pela empresa, identificando a classificação do resíduo e a forma de armazenamento deste resíduo, foram iniciadas as análises químicas qualitativas e quantitativas do resíduo e da argila.

Por meio do teste de fluorescência de RX (FRX), os resultados dessa análise podem ser verificados na Tabela 7. Este teste indicou a possibilidade de incorporação deste resíduo na argila, usada para fabricação de tijolos de uma Empresa da região de Joinville.

Tabela 7: Análise química quantitativa de fluorescência de raios X do lodo.

Composição	Al₂O₃	MgO	CaO	SiO₂	TiO₂	K₂O
(%)	25,865	24,614	21,252	18,046	4,173	3,421

Composição	Fe₂O₃	SO₃	CuO	MnO	ZnO	SrO
(%)	1,264	0,799	0,239	0,189	0,113	0,023

Fonte: O autor

A Tabela 8 mostra os resultados da análise química quantitativa por FRX da argila, os quais foram usados para comparação com a análise química do lodo.

Tabela 8: Análise química quantitativa de fluorescência de raios X da argila.

Composição	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	K₂O	TiO₂
(%)	46,250	45,891	3,850	2,576	1,061

Composição	SO₃	CaO	Zr₂O₃	MnO	SrO
(%)	0,180	0,110	0,053	0,024	0,007

Os resultados apresentados na Tabela 7 e Tabela 8 mostram relações entre os dois materiais. A argila tem em sua composição a predominância de óxido de silício e

óxido de alumínio, onde juntas correspondem a mais de 90 % de sua composição química. Estes mesmos elementos fazem parte da composição química do lodo. O óxido de alumínio também é predominante na composição química do lodo, juntamente com o óxido de magnésio, óxido de cálcio e também óxido de sílica. O lodo possui uma composição mais diversificada e a alta concentração de óxido de magnésio e cálcio, pode esta relacionada à utilização destes produtos no processo de tratamento de efluentes da Empresa. Segundo Herec, “o alumínio, ferro, sódio e o potássio são metais provenientes, do tratamento de efluentes têxtil que se fixam no resíduo sólido.” Ainda segundo Herec (2005), o cálcio e o magnésio são provenientes do processo de lavagem da indústria têxtil, onde a mesma é considerada uma água com altos teores de cálcio e magnésio, porém estes metais não são avaliados na norma NBR 10004.

Na Tabela 9, pode ser verificada a diferença na composição química dos materiais.

Tabela 9: Comparação da composição química do lodo com a argila

Composição da argila	% na argila	% no lodo
SiO ₂ – Óxido de sílica	46,250	18,046
Al ₂ O ₃ - Óxido de alumínio	45,891	25,865
CaO – Óxido de cálcio	0,110	21,252
MgO – Óxido de magnésio	-----	24,614
TiO ₂ - Oxido de titânio	1,061	4,173
K ₂ O – Óxido de potássio	2,576	3,421
Fe ₂ O ₃ - Óxido de ferro	3,850	1,264

Conforme a comparação identificada na Tabela 9, com a adição do lodo pode-se ter uma baixa na resistência mecânica, devido a menor concentração de óxidos de sílicas, mas em compensação, possui um percentual significativo de óxido de titânio, que segundo Monteiro (2008) a presença desta constituinte tende a compensar. A concentração de óxido de alumínio encontrada no lodo, indica que o material possui características plásticas, podendo ser facilmente trabalhado. O lodo também possui alta

concentração de óxidos de magnésio que por suas características devem propiciar ao material elevado ponto de fusão. A Figura 13 mostra através de um gráfico, esta comparação.

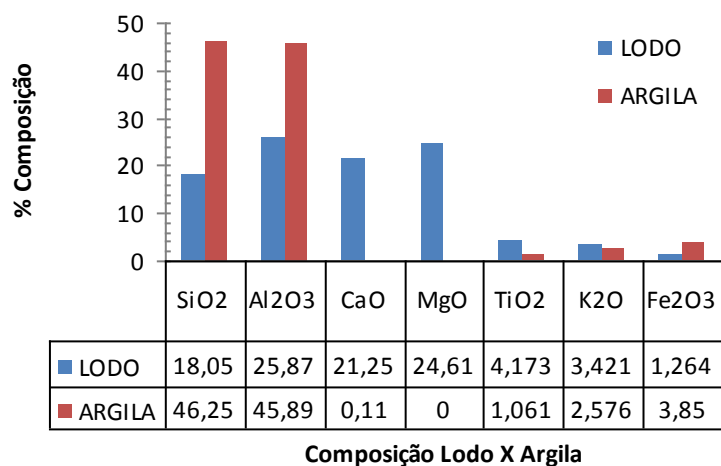


Figura 13: Comparação da composição química dos materiais.

4.1.2. Difração de Raios X

O difratograma foi realizado com as matérias primas *in natura* e após calcinação realizada a 550 °C. O difratograma do lodo *in natura* e após calcinação pode ser verificado nas Figuras 14 e 15 respectivamente.

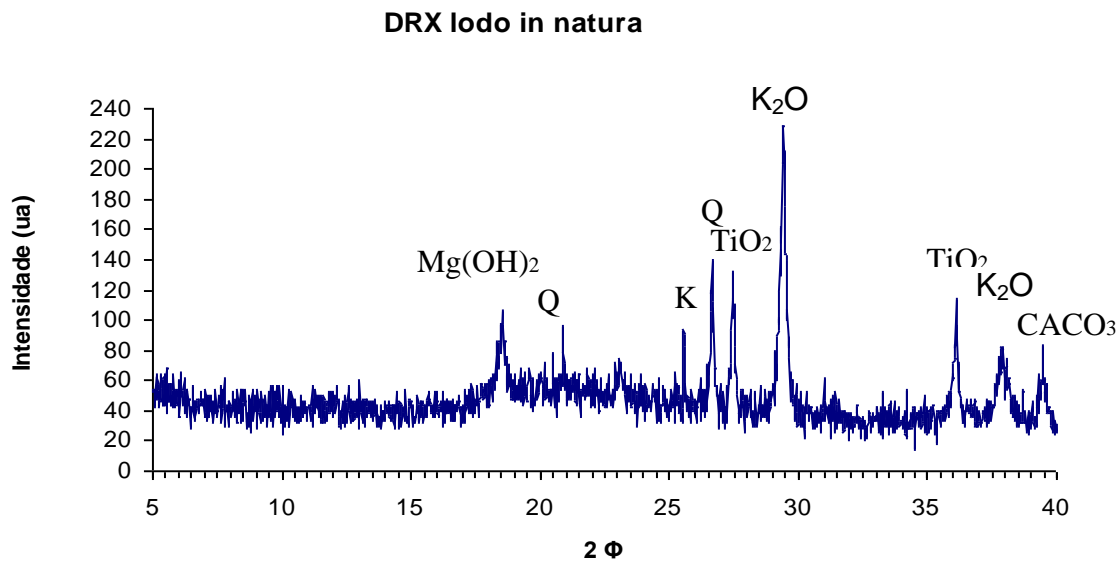


Figura 14: DRX do lodo “*in natura*”

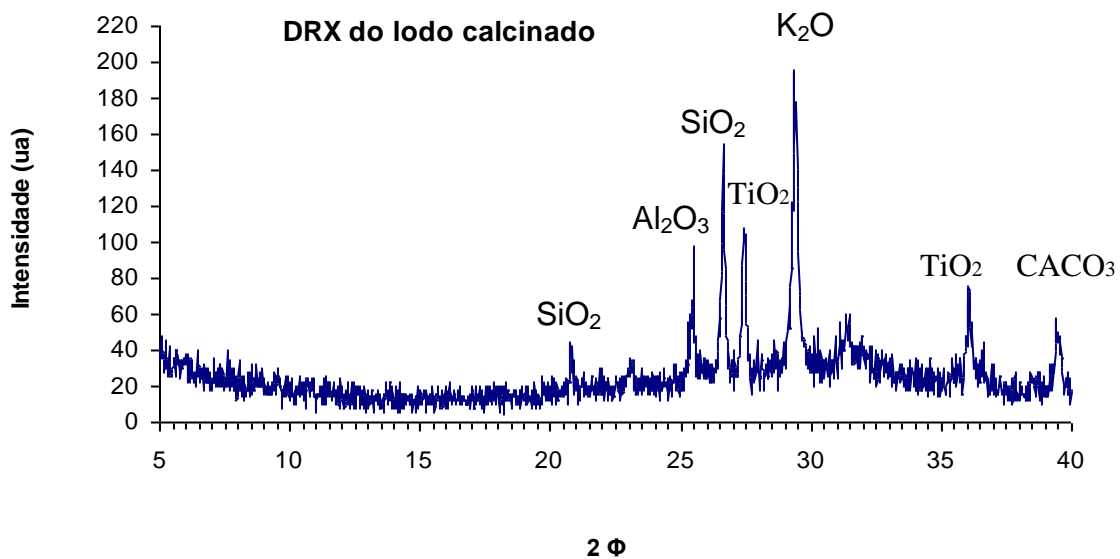


Figura 15: DRX do lodo Calcinado a 550 °C

O difratograma do lodo calcinado e sem calcinação apresentam picos característicos de fase cristalina, podendo-se dizer que há o mineral Kaolinita, referente a formação dos cristais de alumina (Al_2O_3), quartzo, referente a formação dos cristais

de silício (SiO_2) e Rutila, referente a formação dos cristais de titânio (TiO_2). Observa-se ainda a ocorrência da calcita, referente a formação dos cristais de cal (CaO) utilizada para redução do pH no tratamento físico químico e óxido de potássio (K_2O).

O resultado após calcinação mostra que não houve alteração significativa, indicando que a temperatura de calcinação utilizada não foi suficiente.

A avaliação por Difração de raio-X, também foi realizada para a argila. Esta análise teve o objetivo de realizar a comparação entre a matéria prima e o lodo que será incorporado nesta massa. A Figura 16 e Figura 17 mostram o resultado da análise de difração da argila “*in natura*” e após calcinação a 550 °C. Desta forma, pode-se perceber que existem algumas semelhanças na estrutura cristalina do lodo em relação da argila.

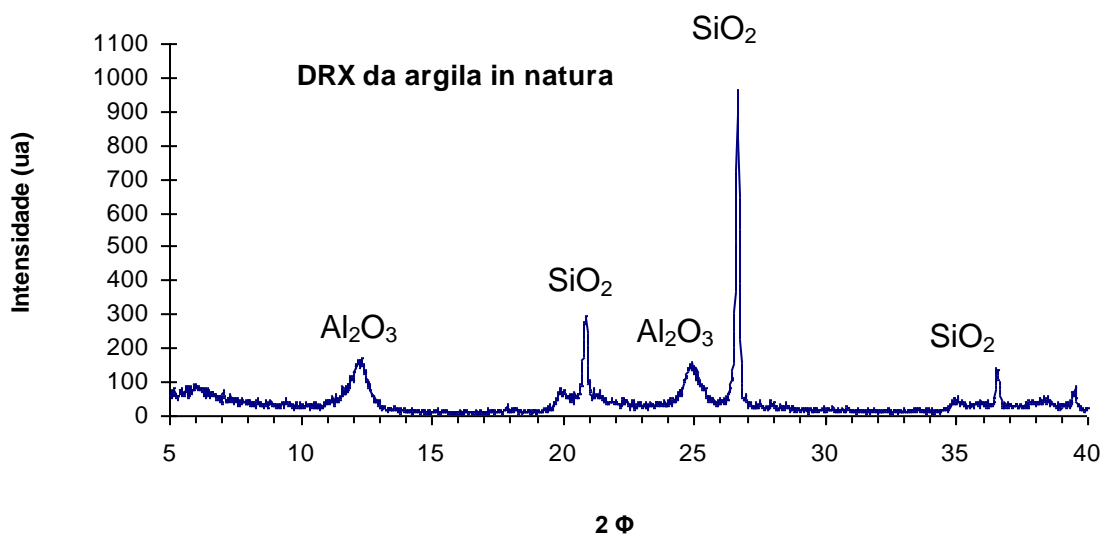


Figura 16: Difração de raio x da argila

A argila possui uma estrutura cristalina mais definida em relação ao lodo, com a presença de mais de 90 % de sua composição de óxido de sílica (SiO_2) óxido de alumínio (Al_2O_3). Esta condição também está de acordo com a análise de fluorescência de raio X (FRX), onde por consequência resultou em picos predominantes de Quartz e Kaolinite. Se comparado com o lodo, pode-se comprovar a análise de FRX mostrado na item 4.1.1, que indicou que o lodo possui uma composição química bem diversificada.

Apesar desta diversidade de constituintes em sua massa, verificam-se picos bem definidos na composição do lodo, sugerindo a possibilidade de incorporação de lodo na massa de argila. Na avaliação após a calcinação houve diferenças significativas, pois os picos ficaram pontuais e bem definidos.

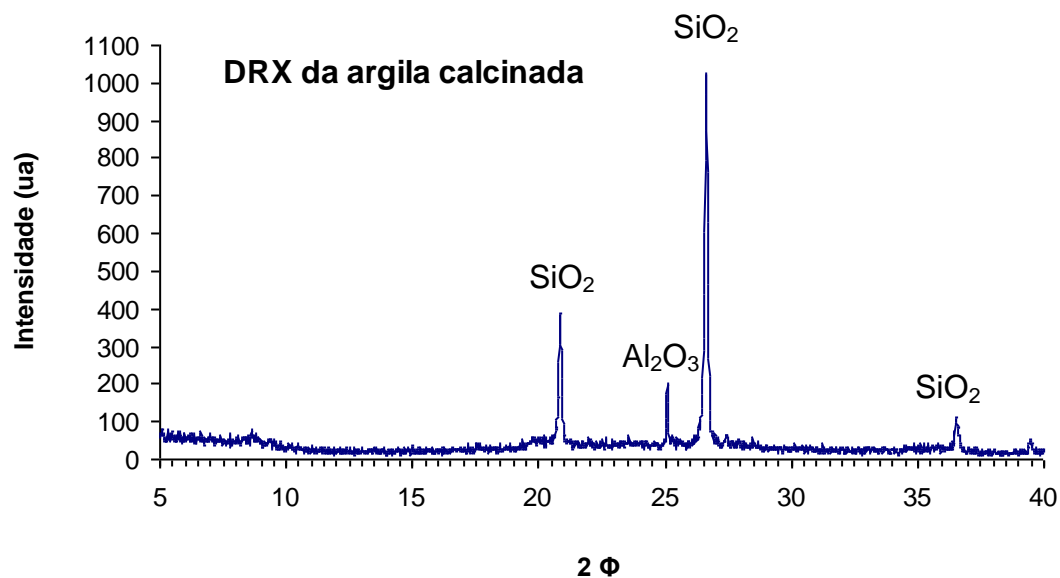


Figura 17: Difração de raios-X da argila calcinada a 550 °C

4.1.3. Análise térmica dos materiais

Foi realizado as análises termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC), com o objetivo de avaliar o comportamento térmico do lodo. Os resultados obtidos podem ser verificados nas Figuras 18 e 19.

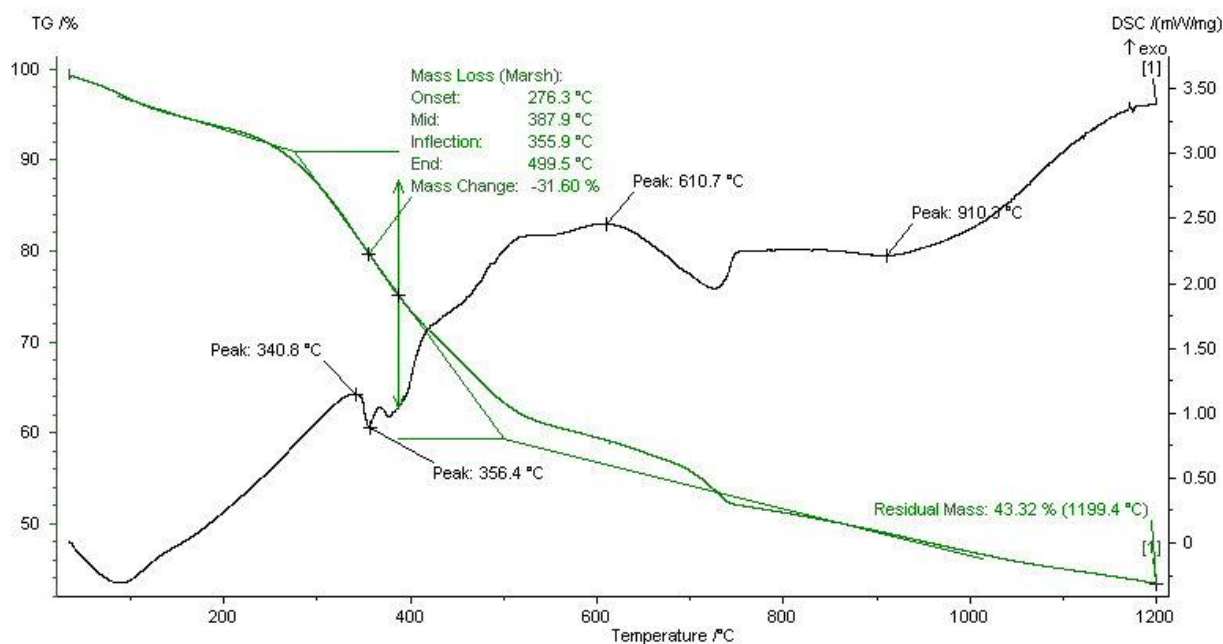


Figura 18: TG e DSC do Lodo.

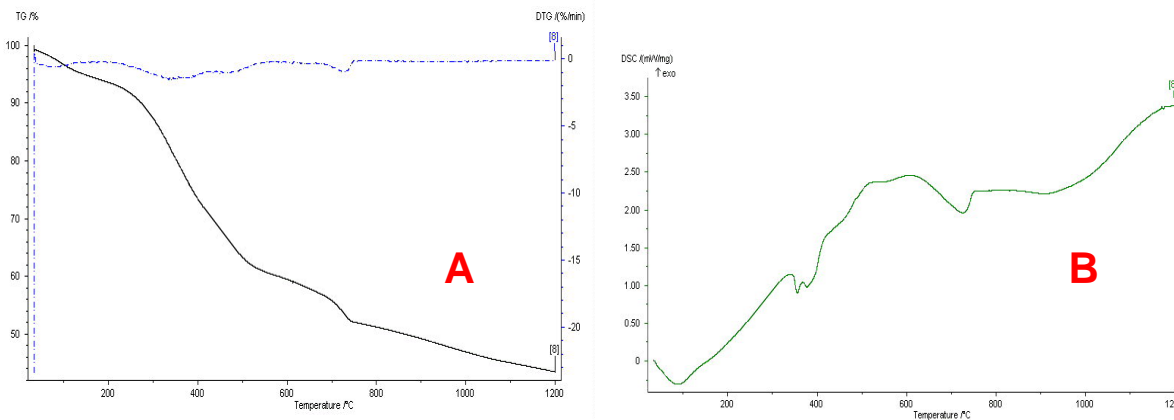


Figura 19: A = TG do Lodo e B = DSC do lodo.

A curva de TG do lodo obtida por TGA mostra 3 estágios de perda de massa. O primeiro estágio ocorre a cerca de 100 °C, podendo ser atribuído a perda de água adsorvida no lodo, sendo responsável por aproximadamente 5 %. O segundo estágio, que apresenta a maior perda de massa (cerca de 32 %), ocorre na faixa de temperatura (280-500 °C), indica elevada perda térmica, devido provavelmente ao seu elevado teor de matéria orgânica. O terceiro estágio ocorre por volta de 700 °C, que pode ser

atribuída a perda de grupos de hidroxilas durante a transformação da caulinita em metacaulinita. Esta reação pode ser responsável por uma perda de massa de aproximadamente 7 %. Ao final do experimento, restou aproximadamente 43 % de resíduo no cadinho, referente ao material inorgânico que não se degradou na faixa de temperatura estudada (até 1200 °C), podendo ser atribuído a presença de óxidos de alumina, silício e titânio, identificados na análise de DRX deste projeto. Monteiro *et. al.* (2008) no estudo de lodo têxtil de Campos de Goitacás, também atribuiu a perda de massa ocorrida entre as temperaturas 520°C e 600°C pela transformação da caulinita em metacaulinita. Este evento também foi verificado por Correia *et. al.* (2006), quando estudou argilas da região de Joinville, atribuindo a mesma transformação, na ocorrência de um pico endotérmico na temperatura de 600°C.

A curva de DSC mostra um pico endotérmico em 100 °C, que segundo Rodrigues (2002) é referente ao processo de desidratação do material, na mesma região de perda de água obtida por TGA. Em cerca de 340 °C observa-se um pico exotérmico, que pode estar associado à oxidação da matéria orgânica. Moreira *et. al.* (2001), que avaliou o lodo têxtil para fabricação de materiais de construção por DSC, observou dois picos exotérmico no intervalo de temperatura de 300 e 600°C e atribuiu a oxidação da matéria orgânica contida no lodo. O pico endotérmico que ocorreu a cerca de 610 - 700 °C, ocorre na mesma faixa de temperatura da transformação da caulinita em metacaulinita, podendo ser atribuído ao mesmo evento. O pico a cerca de 910 °C pode corresponder ao início do processo de sinterização do material, representada pelo início da formação da Mulita. Correia *et. al.* (2006), quando estudou argilas da região de Joinville, Associou o evento ocorrido na temperatura de 980 °C, como sendo o início da formação da Mulita. Monteiro *et. al.* (2008) no estudo de lodo têxtil de Campos de Goitacás, também atribuiu o pico exotérmico na temperatura de 932 °C a dissociação da metacaulinita, dando início a formação da mulita.

A análise térmica do lodo mostrou similaridade nos eventos ocorridos em outros trabalhos realizados com lodo e com argilas. Esta condição reforça a possibilidade de incorporação de lodo a argila.

4.1.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das misturas

Após preparação das misturas foi avaliado pelo MEV a homogeneização das misturas e também realizado análise de energia dispersiva (EDS) acoplado ao mesmo equipamento. Esta análise tem o objetivo de confirmar a análise química realizado por FRX. A Figura 20 mostra os resultados do EDS do lodo.

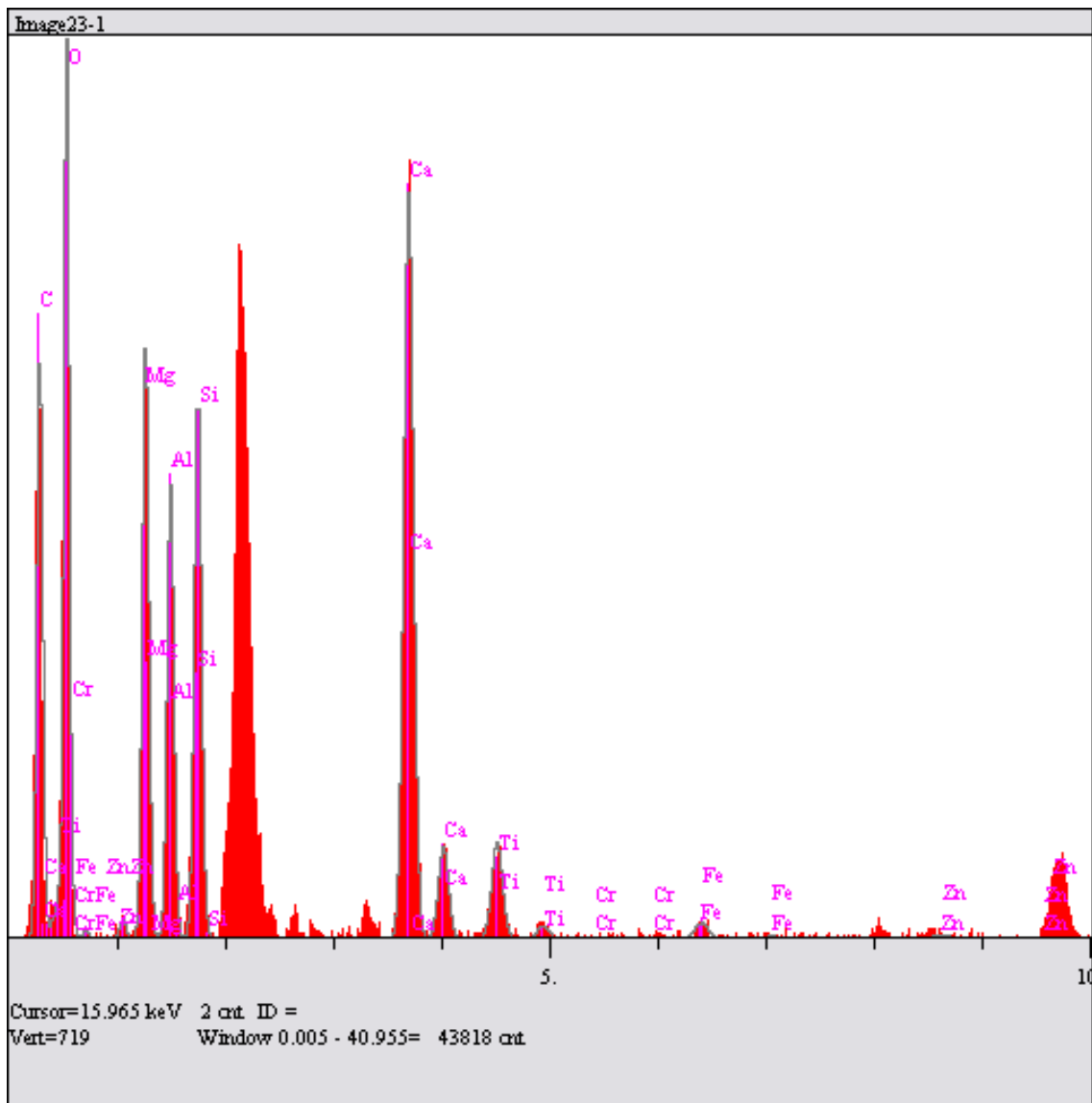


Figura 20: EDS do lodo

Fonte: O autor

Mediante a análise de EDS pode-se comprovar a presença de cálcio, silício, alumínio, magnésio, titânio, oxigênio, carbono, entre outros, servindo como base para identificação dos minerais indicados na análise de difração de raio X.

As imagens realizadas com *zoom* de 50 X foram utilizadas para avaliação da formação de aglomerados e podem ser visualizadas nas Figuras 21, 22, 23 e 24 para argila pura, com incorporação de 10, 15 e 20 %, respectivamente. Esta formação de aglomerados pode ter influência na homogeneização da mistura e por conseqüência na qualidade final do produto. Com a adição do lodo, a formação destes aglomerados foi prejudicada. Na mistura de 10 % de lodo, houve uma maior homogeneização da mistura. Com a incorporação de 15 % e 20 % a mistura ficou esfarelada, com pouca formação de aglomerados. Esta condição pode estar relacionada com a baixa presença de umidade nos materiais, pois foram secos a 105 °C até peso constante, antes da realização desta análise.

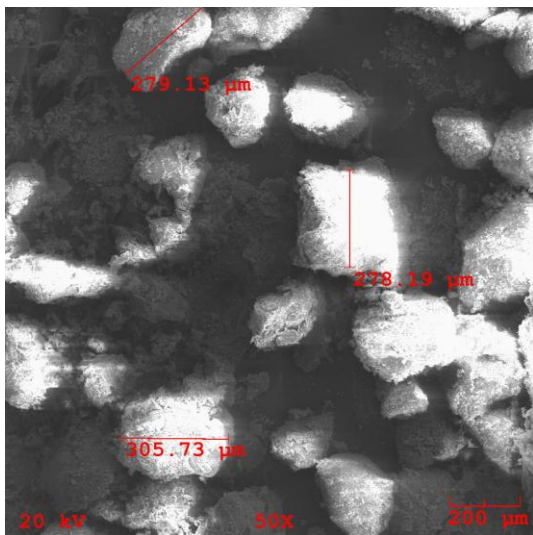


Figura 21: Medição dos aglomerados a 50X da argila

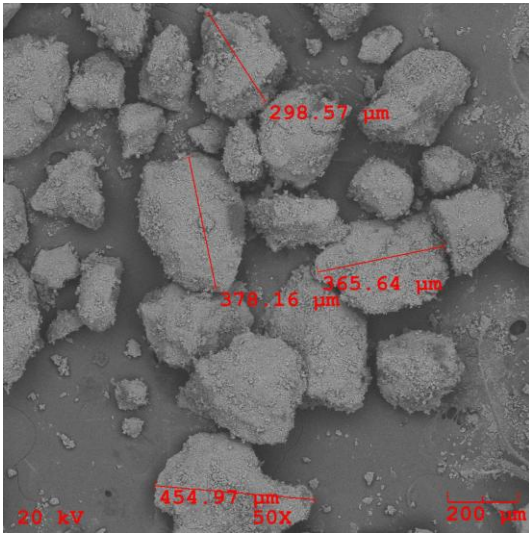


Figura 22: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 10 % de lodo

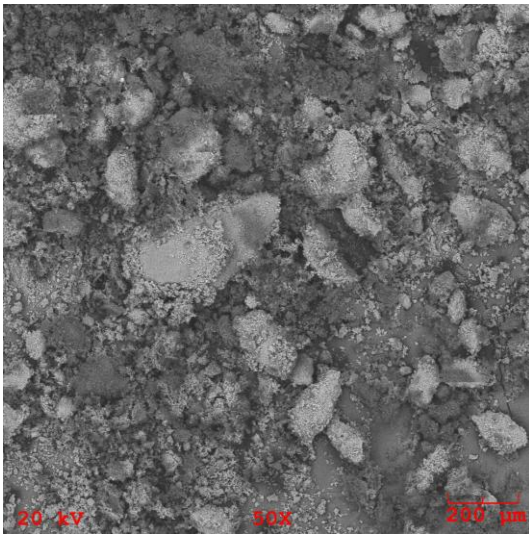


Figura 23: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 15 % de lodo

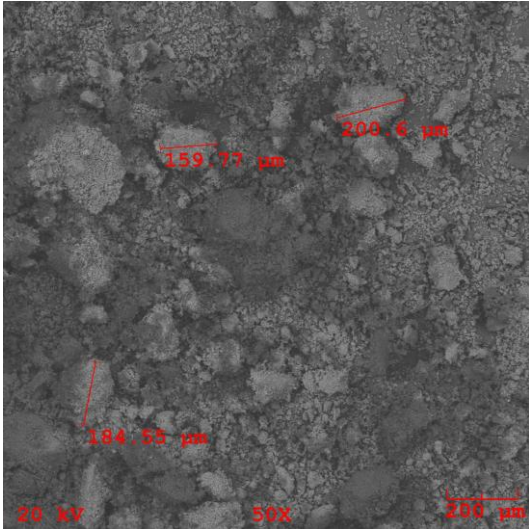


Figura 24: Medição dos aglomerados a 50X da mistura da argila com 20 % de lodo
Fonte: O autor

Também foram analisadas as amostras com zoom de 1000x e desta forma poder avaliar a textura dos aglomerados. As Figuras 25, 26, 27 e 28 mostram a textura do aglomerado da argila, na incorporação de 10 %, 15 % e 20 %, respectivamente.

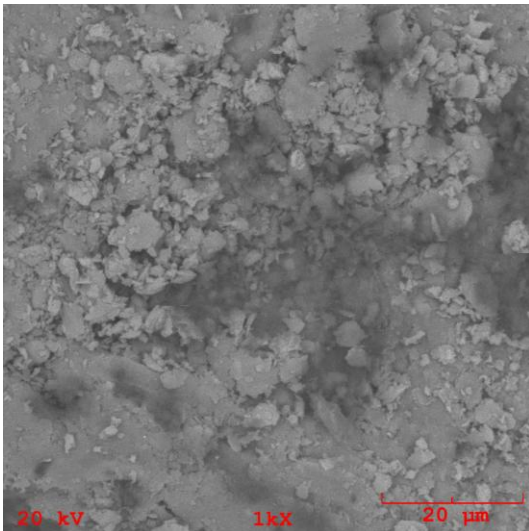


Figura 25: Imagem a 1000X da argila
Fonte: O autor

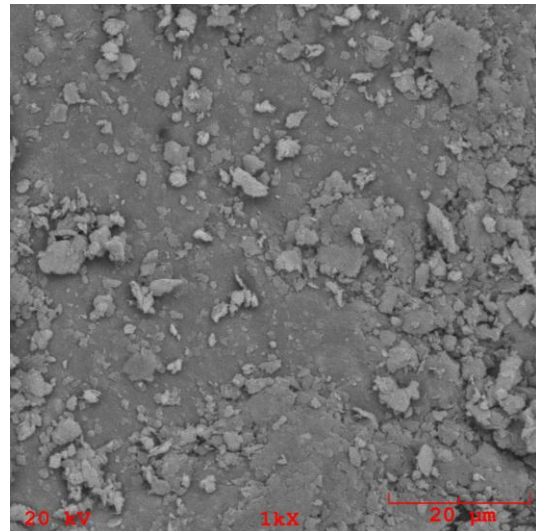


Figura 26: Imagem a 1000X com 10 %
Fonte: O autor

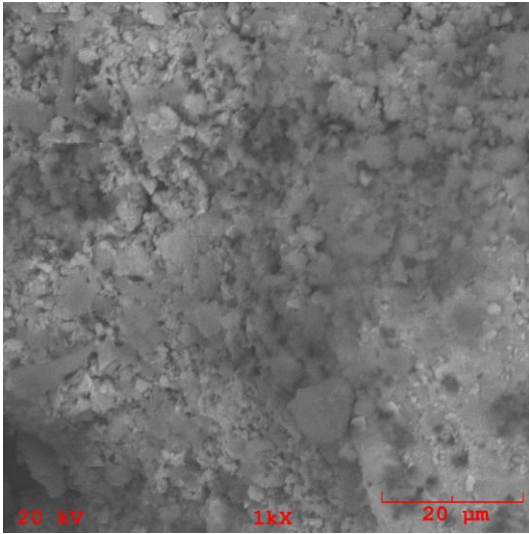


Figura 27: Imagem a 1000X com 15 %
Fonte: O autor

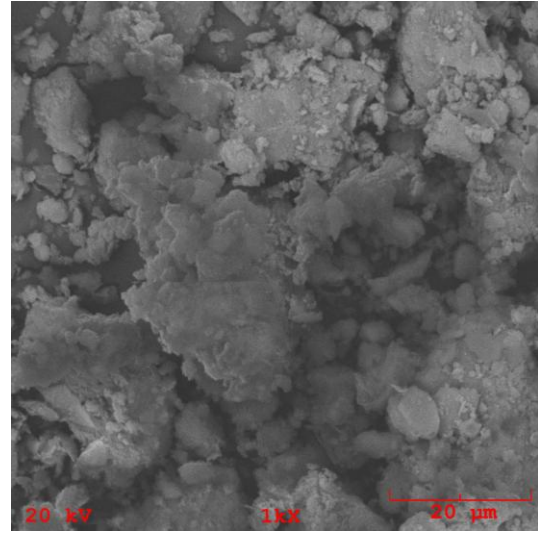


Figura 28: Imagem a 1000X com 20 %
Fonte: O autor

4.2. Ensaio mecânicos após queima

Os corpos de provas após queima nas 4 temperaturas foram submetidos aos ensaios de Contração linear, Absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão.

4.2.1. Análise de contração linear

Os resultados da contração linear em relação ao comprimento, largura e espessura e volume do corpo de prova, serão abordados a seguir. As misturas foram comparadas a matéria prima padrão, ou seja, argila e com os valores referenciados nas normas brasileiras e em literaturas que já trabalharam com a incorporação de resíduos

em cerâmica vermelha. Os dados foram tratados realizando análise estatística através do teste de Tukey, com nível de significância de 5 %.

4.2.1.1. Análise de contração linear da argila

Na Tabela 10 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas de argila pura, sem a incorporação do lodo, na temperatura de 800°C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 10: Retração linear da argila queimada a 800 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
22	70,2	30,1	5,15	10,882053	69,8	30	5,05	10,5747
23	70,2	30,1	5,1	10,776402	69,8	30	5	10,47
24	70,2	30,1	5,15	10,882053	69,8	30	5,05	10,47
25	70,2	30,1	5,05	10,670751	69,8	30	5	10,3653
Média	70,2	30,1	5,1125	10,80281475	69,8	30	5,025	10,47
% de encolhimento do produto após queima					0,57306	0,33333	1,741293	3,0808151

Na Tabela 11 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas de argila pura, sem a incorporação do lodo, na temperatura de 900 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 11: Retração linear da argila queimada a 900 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
27	70,2	30,2	5,05	10,706202	69,3	29,8	4,95	10,3257
28	70,2	30,3	5	10,6353	69,35	29,8	4,9	10,229818
29	70,3	30,2	5,05	10,721453	69,35	29,8	4,95	10,33315
30	70,2	30,2	5	0,6002	69,3	29,8	4,9	10,222443
Média	70,225	30,23	5,025	10,66581689	69,325	29,8	4,925	10,27777
% de encolhimento do produto após queima					1,2982329	1,426174	2,030456	3,63815

Na Tabela 12 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas de argila pura, sem a incorporação do lodo, na temperatura de 1000 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 12: Retração linear da argila queimada a 1000 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
11	70,5	30,3	5,2	11,10798	69,3	29,8	5,05	10,3257
12	70,4	30,4	5,1	10,914816	69,2	29,8	4,9	10,10458
13	70,4	30,3	5,2	11,092224	69,2	29,8	5,05	10,3108
14	70,3	30,3	5	10,65045	69,3	29,7	4,9	10,085229
Média	70,4	30,33	5,125	10,94126	69,25	29,775	4,975	10,206497
% de encolhimento do produto após queima					1,660649	1,847187	3,015075	6,715517

Na Tabela 13 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas de argila pura, sem a incorporação do lodo, na temperatura de 1150 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 13: Retração linear da argila queimada a 1150 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
1	70,3	30,2	5	10,6153	67,1	28,8	4,8	9,275904
2	70,3	30,2	5	10,6153	67,1	28,9	4,85	9,4050715
3	70,3	30,2	5	10,6153	67,1	29	4,8	9,34032
4	70,4	30,3	5	10,6656	67,15	29	4,9	9,542015
Média	70,325	30,23	5	10,62786	67,1125	28,925	4,8375	9,3906955
% de encolhimento do produto após queima					4,786738	4,494382	3,359173	11,640813

Realizando a avaliação das Tabelas 10, 11, 12, e 13 pode-se perceber que a temperatura de queima tem influência na contração linear. Quanto maior a temperatura maior é o percentual de encolhimento do produto. Esta condição é verificada em todas

as medidas (comprimento, largura e espessura do corpo de prova). Quando avaliado o volume, ou seja, considerando contração tridimensional, percebe-se que na temperatura de 1150 °C o índice de contração é superior 8 %. A análise estatística deste resultado, também indicou diferença significativa entre os valores encontrados antes e depois da queima, indicando 95 % de certeza que a temperatura de queima tem influência na contração linear da argila. A Figura 29 mostra a variação da contração linear em função das 4 temperaturas de sinterização para as dimensões do comprimento, largura, espessura e volume, respectivamente. A Tabela 14 mostra o resultado do teste de Tukey com nível de significância de 5 %, para contração linear (comprimento) da argila em função da variação da temperatura. Nota-se que mesmo entre a temperatura de 900 a 1000 °C, onde, aparentemente, ocorreu pouca variação, a análise estatística indicou diferença significativa entre os resultados.

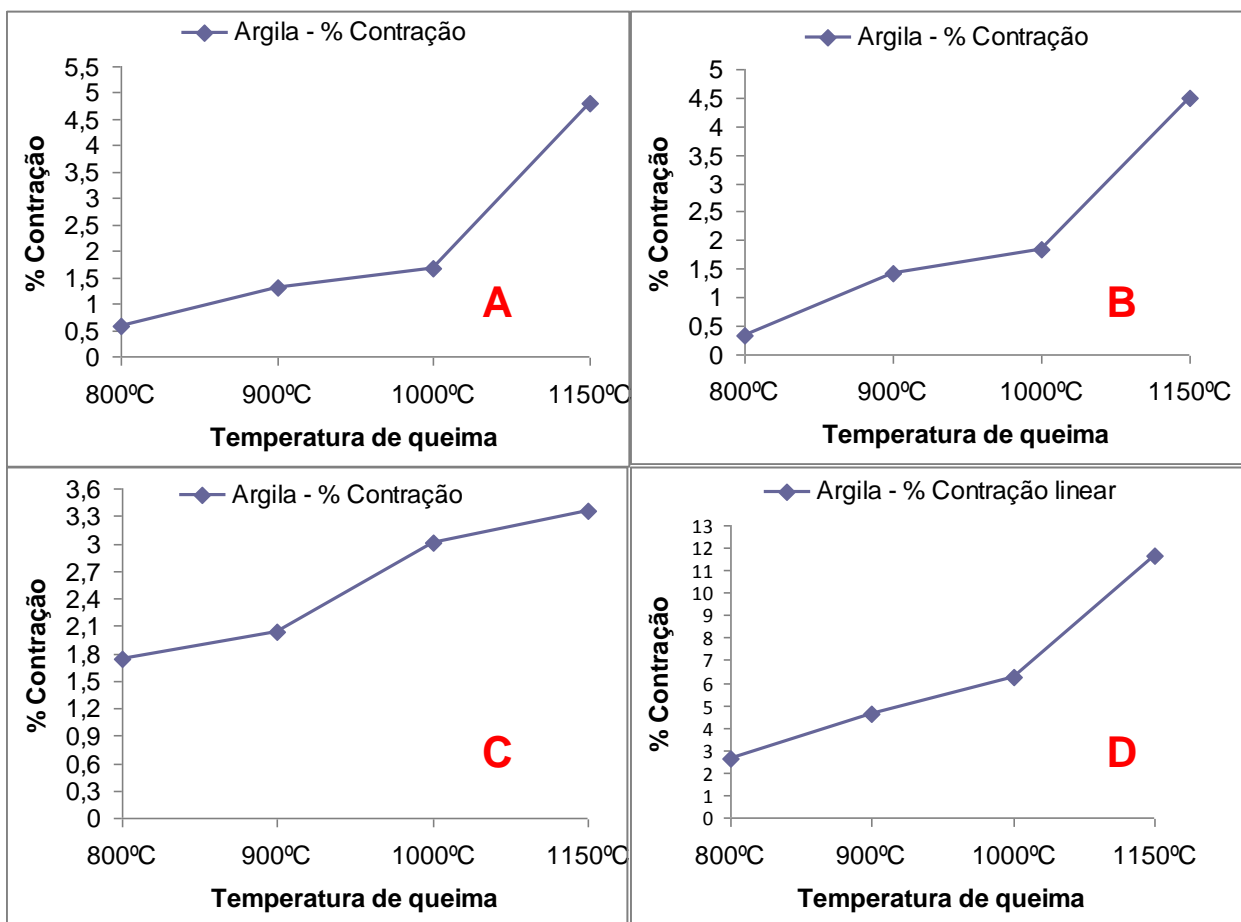


Figura 29: Variação da contração da argila em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova.

Tabela 14: Resultados do teste de Tukey com 5 % de significância, para a contração linear da argila em função da variação da temperatura.

Temp.	Média	Resultado análise estatística da argila			
		≠ médias	Mínimo	Máximo	Signif. 0,05
800°C	0,5698				
900°C	1,28157	-0,71177	-0,8747	-0,5487	Yes
		≠ médias	Mínimo	Máximo	Signif. 0,05
1000°C	1,63342	-0,35185	-0,5149	-0,1889	Yes
		≠ médias	Mínimo	Máximo	Signif. 0,05
1150°C	4,56806	-2,93464	-3,0976	-2,7716	Yes

4.2.1.2. Análise de contração linear do composto com 10 % lodo incorporado

Na Tabela 15 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 10% de lodo incorporado, na temperatura de 800°C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 15: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 800 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
51	70,1	30,1	5,15	10,86655	69,4	29,85	5,05	10,461529
52	70,2	30,2	5,15	10,918206	69,5	29,9	5,05	10,494152
53	70,2	30,2	5,15	10,918206	69,5	29,9	5,05	10,494152
54	70,2	30,2	5	10,6002	69,4	29,85	4,9	10,150791
Média	70,175	30,175	5,1125	10,825875	69,45	29,875	5,0125	10,400028
% de encolhimento do produto após queima					1,043916	1,0041841	1,9950124	3,933597

Na Tabela 16 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 10 % de lodo incorporado, na

temperatura de 900 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 16: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 900 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
61	70,2	30,1	5,2	10,987704	69,1	29,7	5,1	10,46657
62	70,2	30,2	5,2	11,024208	69,05	29,7	5,1	10,45900
63	70,2	30,2	5,15	10,918206	69,05	29,7	5,05	10,35646
64	70,2	30,2	5,1	10,812204	69,05	29,7	5	10,25392
Média	70,2	30,175	5,1625	10,93564	69,0625	29,7	5,0625	10,38397
% de encolhimento do produto após queima					1,647058	1,599326	1,975308	5,044674

Na Tabela 17 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 10 % de lodo incorporado, na temperatura de 1000 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 17: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 1000 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
71	70,3	30,3	5,15	10,969963	68,7	29,5	5	10,13325
72	70,3	30,3	5,1	10,863459	68,6	29,5	5	10,1185
73	70,3	30,3	5,1	10,863459	68,6	29,5	4,95	10,01731
74	70,3	30,2	5,1	10,827606	68,5	29,4	5,05	10,17019
Média	70,3	30,275	5,1125	10,881099	68,6	29,475	5	10,10992
% de encolhimento do produto após queima					2,478134	2,714164	2,25	7,087288

Na Tabela 18 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 10 % de lodo incorporado, na

temperatura de 1150 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 18: Retração linear do composto com 10 % de lodo queimado a 1150 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
81	70,4	30,3	5	10,6656	67,6	29	4,9	9,60596
82	70,3	30,3	5,05	10,756954	67,7	29,1	4,9	9,653343
83	70,35	30,2	5,1	10,835307	67,6	29	4,9	9,60596
84	70,25	30,2	5	10,60775	67,6	29	4,9	9,60596
Média	70,325	30,25	5,0375	10,716431	67,625	29,025	4,9	9,617796
% de encolhimento do produto após queima					3,992606	4,220499	2,806122	10,25187

Realizando a avaliação das Tabelas 15, 16, 17 e 18 pode-se perceber que a temperatura de queima tem influência na contração linear. Quanto maior a temperatura maior é o percentual de encolhimento do produto. Esta condição é verificada em todas as medidas (comprimento, largura e espessura do corpo de prova). Quando avaliado o volume, ou seja, considerando contração tridimensional, percebe-se que na temperatura de 1150 °C o índice de contração é superior 8 %. Esta mesma situação aconteceu com a argila pura mas verifica-se que este percentual foi melhor com a adição de lodo, havendo uma diminuição na contração linear dos corpos de prova queimados a 1150 °C em relação à argila. Esta condição deve estar relacionada ao processo de sinterização do material. A Figura 30 mostra a variação da contração linear em função das 4 temperaturas de sinterização para as dimensões do comprimento, largura, espessura e volume, respectivamente, para o composto incorporado com 10 % de lodo.

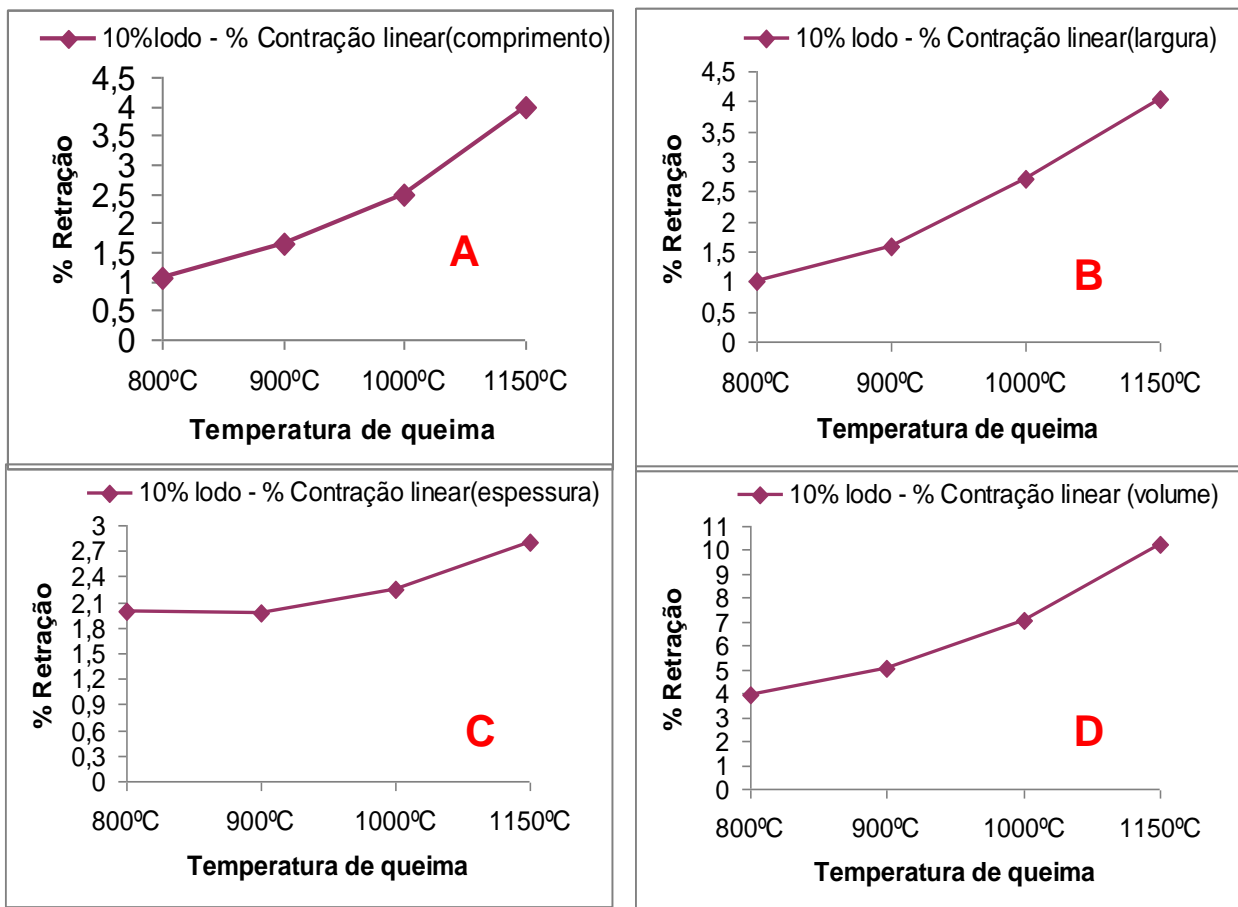


Figura 30: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 10 % de lodo incorporado).

Fonte: O autor

4.2.1.3. Análise de contração linear do composto com 15% lodo incorporado

Na Tabela 19 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado, na temperatura de 800 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Peças	Medição antes da queima	Medição depois da queima
-------	-------------------------	--------------------------

	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
101	70,1	30,1	5,1	10,7610	69,4	29,8	5	10,3406
102	70,1	30,1	5,15	10,86655	69,4	29,9	5,05	10,479053
103	70,15	30,1	5,15	10,87430	69,4	29,8	5,05	10,444006
104	70,1	30,1	5,2	10,97205	69,4	29,9	5,05	10,479053
Média	70,1125	30,1	5,15	10,86848	69,4	29,85	5,0375	10,435634
% de encolhimento do produto após queima					1,026657	0,837521	2,23325	3,982656

Tabela 19: Retração linear do composto com 18 % de lodo queimado a 800 °C

Fonte: O autor

Na Tabela 20 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado, na temperatura de 900 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 20: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 900 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
112	70,1	30,1	5,2	10,972052	69	29,7	5,1	10,45143
113	70,1	30,1	5,2	10,972052	68,95	29,7	5,05	10,34146
114	70,1	30,1	5,2	10,972052	68,95	29,7	5,1	10,44385
115	70,1	30,1	5,2	10,972052	69	29,7	5,05	10,34896
Média	70,1	30,1	5,2	10,972052	68,9	29,7	5,075	10,38512
% de encolhimento do produto após queima					1,7416545	1,346801	2,463054	5,349293

Fonte: O autor

Na Tabela 21 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado, na temperatura de 1000 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 21: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 1000 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
121	70,2	30,2	5,2	11,024208	68,4	29,4	5	10,0548
122	70,2	30,1	5,2	10,987704	68,3	29,4	5,1	10,24090
123	70,2	30,1	5,2	10,987704	68,4	29,4	5,1	10,25589
124	70,2	30,1	5,25	11,093355	68,4	29,4	5,1	10,25589
Média	70,2	30,125	5,2125	11,023264	68,375	29,4	5,075	10,20189
% de encolhimento do produto após queima					2,669104	2,465986	2,709359	7,451266

Fonte: O autor

Na Tabela 22 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado, na temperatura de 1150 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 22: Retração linear do composto com 15 % de lodo queimado a 1150 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
131	70,2	30,1	5,25	11,093355	67,6	29	5	9,802
132	70,2	30,2	5,25	11,13021	67,5	29	5,05	9,885375
133	70,2	30,1	5,2	10,987704	67,6	29,1	5	9,8358
134	70,2	30,1	5,2	10,987704	67,5	29	5	9,7875
Média	70,2	30,125	5,225	11,049699	67,55	29,025	5,0125	9,827701
% de encolhimento do produto após queima					3,9230199	3,789836	4,239401	11,05910

Realizando a avaliação das Tabelas 19, 20, 21 e 22 pode-se perceber também, que a temperatura de queima tem influência na contração linear. Quanto maior a

temperatura maior é o percentual de encolhimento do produto. Esta condição é verificada em todas as medidas (comprimento, largura e espessura do corpo de prova). Quando avaliado o volume, ou seja, considerando contração tridimensional, percebe-se que na temperatura de 1150 °C o índice de contração é superior 8 %. Esta mesma situação aconteceu com a argila pura e com a incorporação de 10 % de lodo, mas verifica-se que este percentual está se mantendo. A Figura 31 mostra a variação da contração linear em função das 4 temperaturas de sinterização para as dimensões do comprimento, largura, espessura e volume, respectivamente, para o composto incorporado com 15 % de lodo.

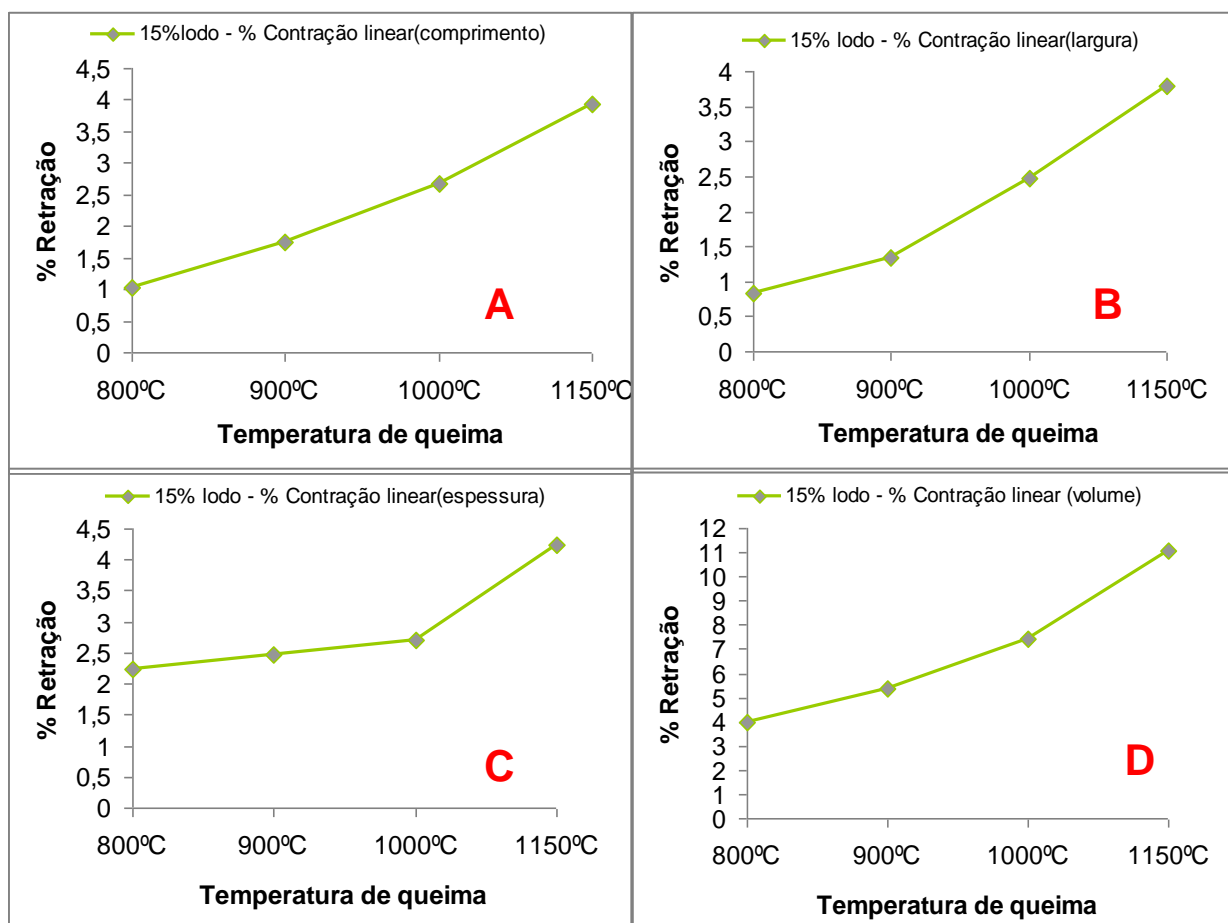


Figura 31: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 15 % de lodo incorporado).

Fonte: O autor

4.2.1.4. Análise de contração linear do composto com 20% lodo incorporado

Na Tabela 23 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado, na temperatura de 800 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 23: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 800 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
151	70,2	30,2	5,2	11,024208	69,4	29,8	5,05	10,444006
152	70,1	30,1	5,2	10,972052	69,4	29,8	5,1	10,547412
153	70,1	30,1	5,15	10,866551	69,3	29,8	5,05	10,428957
154	70,1	30,1	5,2	10,972052	69,4	29,8	5,1	10,547412
Média	70,125	30,125	5,1875	10,958674	69,375	29,8	5,075	10,491928
% de encolhimento do produto após queima					1,081081	1,090604	2,216748	4,2591525

Na Tabela 24 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado, na temperatura de 900 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 24: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 900 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
161	70,05	30,1	5,2	10,964226	68,8	29,6	5,05	10,284224
162	70,1	30,1	5,2	10,972052	68,9	29,6	5,05	10,299172
163	70,05	30,05	5,2	10,946013	68,8	29,5	5,1	10,35096
164	70,1	30,1	5,2	10,972052	68,8	29,6	5,05	10,284224
Média	70,075	30,088	5,2	10,963584	68,825	29,575	5,0625	10,304715
% de encolhimento do produto após queima					1,8162005	1,732882	2,716049	6,0096090

Na Tabela 25 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado, na

temperatura de 1000 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 25: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 1000 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
171	70,2	30,2	5,2	11,024208	68,2	29,3	5,1	10,191126
172	70,2	30,2	5,15	10,918206	68,2	29,3	5,05	10,091213
173	70,1	30,1	5,3	11,183053	68,2	29,4	5,15	10,326162
174	70,1	30,2	5,2	11,008504	68,15	29,3	5	9,983975
Média	70,15	30,175	5,2125	11,033696	68,1875	29,325	5,075	10,14796
% de encolhimento do produto após queima					2,878093	2,898550	2,709359	8,027537

Fonte: O autor

Na Tabela 26 são mostrados os valores das medições de comprimento, largura, espessura e volume iniciais, antes e depois da queima, encontrados para os corpos de provas provenientes da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado, na temperatura de 1150 °C. Também é mostrado a média das medições e o percentual (%) de contração linear.

Tabela 26: Retração linear do composto com 20 % de lodo queimado a 1150 °C

Peças	Medição antes da queima				Medição depois da queima			
	C _s (mm)	L _s (mm)	E _s (mm)	V _s (m ³)	C ₀ (mm)	L ₀ (mm)	E ₀ (mm)	V ₀ (m ³)
181	70,1	30,1	5,2	10,972052	67,6	29,05	5	9,8189
182	70,1	30,1	5,15	10,866551	67,6	29,05	4,95	9,720711
183	70,1	30,1	5,2	10,972052	67,5	29	5	9,7875
184	70,1	30,1	5,2	10,972052	67,5	29	5	9,7875
Média	70,1	30,1	5,1875	10,945676	67,55	29,025	4,9875	9,778685
% de encolhimento do produto após queima					3,7749814	3,7037037	4,010025	10,66166

Realizando a avaliação das Tabelas 23, 24, 25 e 26 pode-se perceber também, que a temperatura de queima tem influência na contração linear. Quanto maior a temperatura maior é o percentual de encolhimento do produto. Esta condição é

verificada em todas as medidas (comprimento, largura e espessura do corpo de prova). Quando avaliado o volume, ou seja, considerando contração tridimensional, percebe-se que na temperatura de 1150 °C o índice de contração é superior 8 %. Esta mesma situação aconteceu com a argila pura, com a incorporação de 10 % e de 15 % de lodo, mas verifica-se que este percentual não está aumentando com a incorporação do lodo.

A Figura 32 mostra a variação da contração linear em função das 4 temperaturas de sinterização para as dimensões do comprimento, largura, espessura e volume, respectivamente, para o composto incorporado com 20 % de lodo.

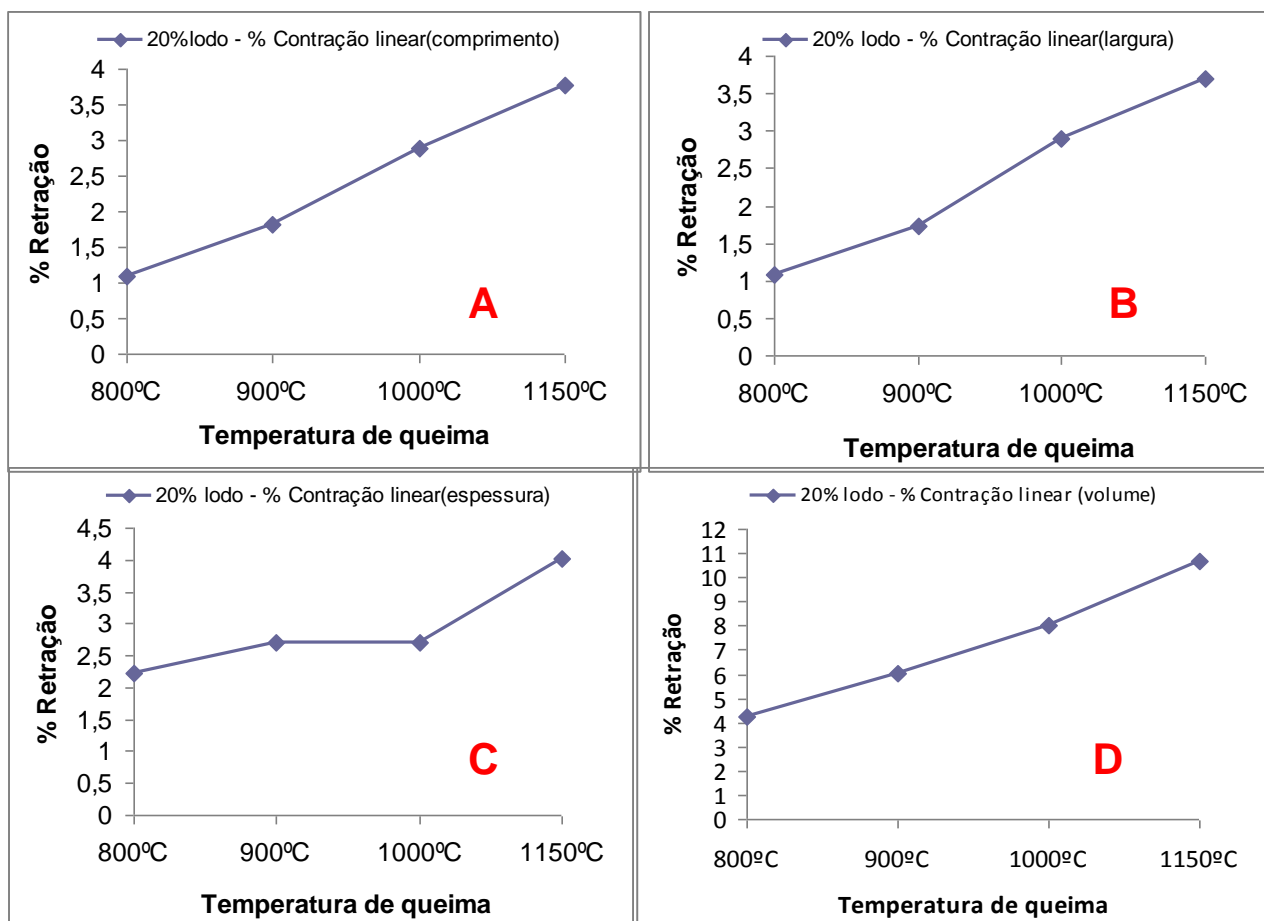


Figura 32: Variação da contração em função da temperatura em relação ao comprimento (A), largura (B), espessura (C) e volume (D) do corpo de prova. (composto com 20 % de lodo incorporado).

4.2.1.5. Avaliação da influência da incorporação do lodo para contração linear

A temperatura de queima interferiu diretamente no índice de contração linear dos materiais. Esta condição está relacionada à temperatura de sinterização. Durante o processo de sinterização, ocorre a formação da fase vítrea, que contribui para compactação dos corpos de provas. Acima de 1000 °C verificou-se que o efeito da temperatura na retração linear é mais evidente, principalmente na argila pura. O lodo demonstrou maior retração linear em baixas temperaturas quando comparado a argila pura, que pode estar relacionado à maior concentração de matéria orgânica, mas demonstrou maior estabilidade térmica, pois em todas as análises, houve uma redução da retração linear nas temperaturas de 1150 °C, quando comparadas a argila pura. Este fato pode estar relacionado à maior concentração de titânio na sua composição. As Figuras 33 e 34 mostram uma comparação entre os compostos em função da temperatura. Nesta figura também se pode verificar que o lodo não teve interferência significativa em relação à argila pura, para esta propriedade mecânica, pois o resultado mostrou que a retração não aumenta significativamente com a adição de lodo. Na Figura 35 mostra a variação da contração volumétrica em função da quantidade de lodo incorporada. No gráfico mostrado nesta figura pode-se verificar claramente que a temperatura de 1150 °C não atendeu ao indicado na literatura, com relação à diminuição de seu volume. Quanto avaliado o encolhimento do material para as dimensões de comprimento, largura e espessura, todos os parâmetros ficaram dentro do limite admissível.

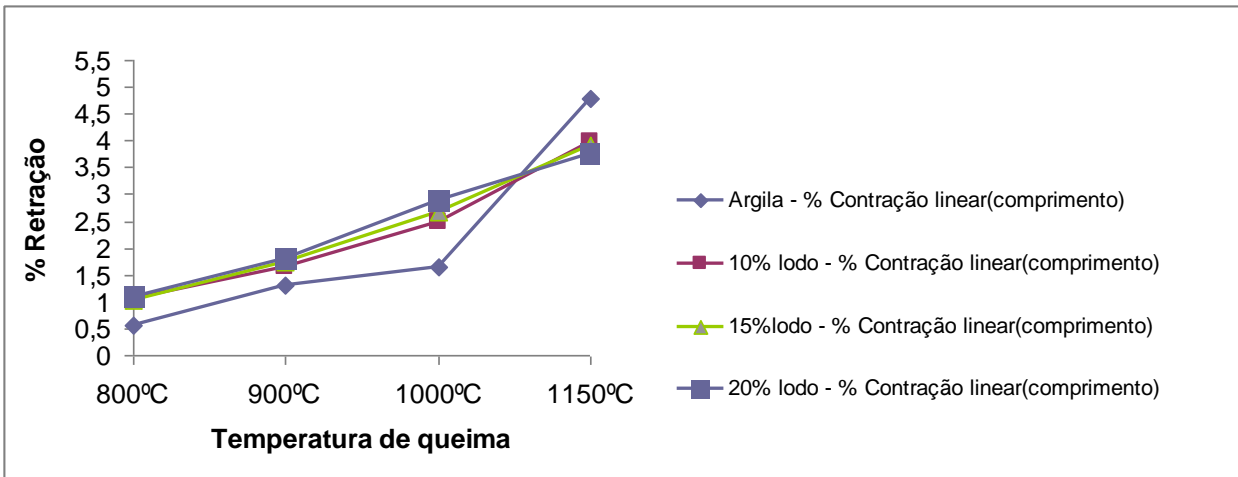


Figura 33: Avaliação da influência do lodo para contração linear em função da temperatura de sinterização. (medidas do comprimento do corpo de prova)

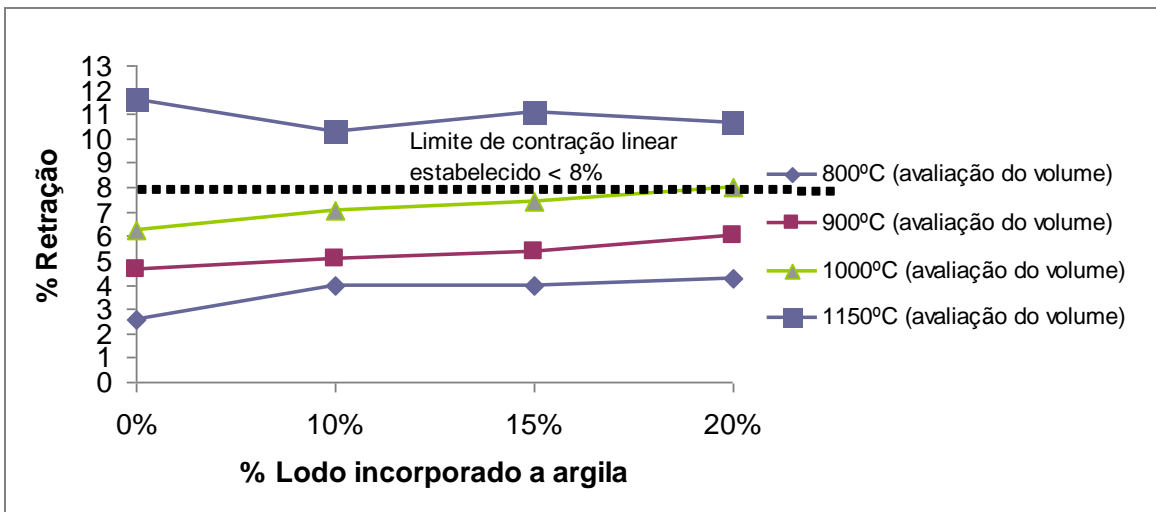


Figura 34: Avaliação da influência do lodo para contração linear em função da temperatura de sinterização. (diminuição do volume do corpo de prova).

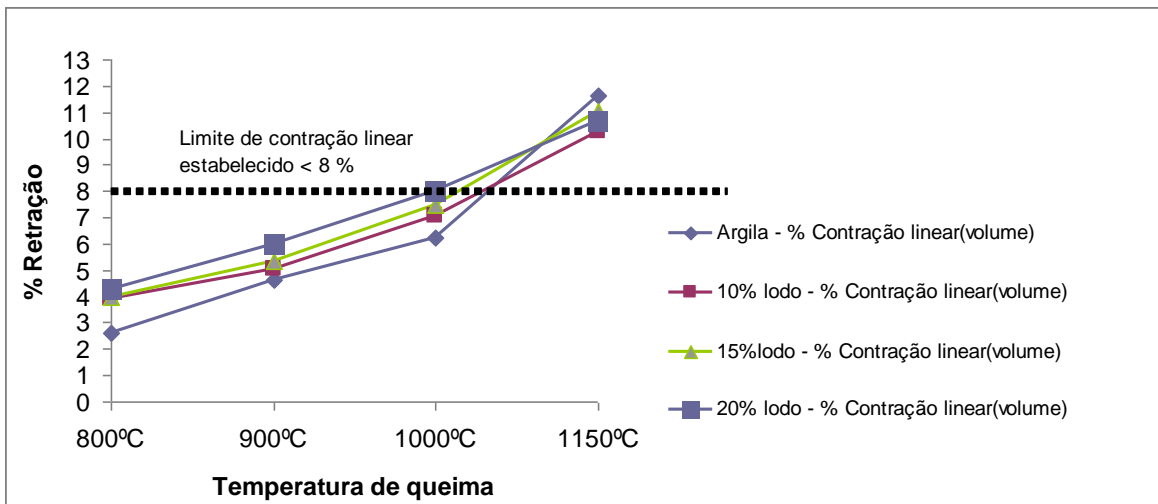


Figura 35: Variação da contração em função da quantidade de lodo incorporada. (volume do corpo de prova).

Fonte: O autor

4.2.2. Perda ao fogo.

A Tabela 27 mostra a perda ao fogo encontrada na argila em função das 4 temperaturas de queima. Analisando esta tabela verifica-se que a temperatura de queima interfere no percentual de perda ao fogo. Verifica-se também que a argila possui um percentual de perda ao fogo que varia entre 5 % à 10 %, para a temperatura mínima utilizada, que foi de 800 °C até a máxima utilizada, de 1150 °C. Conseqüentemente, a argila possui valores de perda ao fogo dentro do esperado, ou seja, abaixo do valor máximo aceitável, que é de 15 %, segundo Paixão (2005). Com a adição do lodo, já é esperado um incremento neste percentual de perda ao fogo, pois com a avaliação térmica e de massa discutidas anteriormente, verificou-se que o lodo obteve uma perda de massa de aproximadamente 57 %, enquanto a argila resultou em uma perda de massa de aproximadamente 10 %. A análise estatística resultou para todas as variáveis uma diferença significativa nos resultados. Foi avaliado estatisticamente a variação da temperatura, verificando sua influência no resultado de perda ao fogo e a variação da quantidade de lodo incorporada a argila.

Tabela 27: Análise de perda ao fogo da argila nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C.

Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
800 °C	21,3	20,2	900 °C	21,5	20,05
	21	20		21,1	19,53
	21	19,95		21,4	19,91
	21,2	20,1		21,5	19,9
Média	21,125	20,0625	Média	21,375	19,8475
% Perda ao fogo		5,029585799	% Perda ao fogo		7,14619883
Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
1000 °C	22,7	20,7	1150°C	21,85	19,74
	22,7	20,7		22,05	19,69
	22,95	20,9		22,05	19,8
	22,9	20,9		21,95	19,69
Média	22,8125	20,8	Média	21,975	19,73
% Perda ao fogo		8,821917808	% Perda ao fogo		10,21615472

A Tabela 28 mostra a perda ao fogo encontrada na mistura com incorporação de 10 % de lodo em função das 4 temperaturas de queima. Analisando esta tabela verifica-se que a temperatura de queima também interfere no percentual de perda ao fogo. Verifica-se também que esta composição de mistura possui um percentual de perda ao fogo que varia entre 8 % à 13 %, para a temperatura mínima utilizada, que é de 800°C até a máxima utilizada que é de 1150 °C. Consequentemente, com incorporação de 10 % de lodo à argila, os valores de perda ao fogo mantêm-se abaixo do valor de 15 %. Também comprovou que com a adição do lodo houve um incremento no percentual de perda ao fogo.

A Tabela 29 mostra a perda ao fogo encontrada na mistura com incorporação de 15 % de lodo em função das 4 temperaturas de queima. Esta composição de mistura possui um percentual de perda ao fogo que varia entre 10 % à 14 %, para a temperatura mínima utilizada, que é de 800 °C até a máxima utilizada que é de 1150 °C. Consequentemente, com incorporação de 10% de lodo à argila, mostrou que ainda possui valores de perda ao fogo dentro do esperado, ou seja, abaixo do valor máximo aceitável, que é de 15 %.

Tabela 28: Análise de perda ao fogo da argila com 10 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C.

Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
800 °C	21,2	19,7	900 °C	21,3	19,11
	21,2	19,45		21,25	18,9
	21	19,25		21,2	19,1
	21,3	19,5		21,1	18,7
Média	21,175	19,475	Média	21,2125	18,9525
% Perda ao fogo		8,028335301	% Perda ao fogo		10,65409546
Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
1000 °C	22,2	19,5	1150°C	22,2	19,5
	22,13	19,4		22,13	19,4
	22,2	19,5		22,2	19,5
	22,1	19,3		22,1	19,3
Média	22,1575	19,425	Média	22,1575	19,425
% Perda ao fogo		12,33216744	% Perda ao fogo		13,82187148

Tabela 29: Análise de perda ao fogo da argila com 15 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C.

Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
800 °C	21,1	18,8	900 °C	21,1	18,55
	21,1	18,9		21	18,4
	21	18,7		21,05	18,6
	21,2	18,9		21	18,5
Média	21,1	18,825	Média	21,0375	18,5125
% Perda ao fogo		10,78199052	% Perda ao fogo		12,00237671
Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
1000 °C	21,99	18,96	1150°C	21,85	18,62
	21,66	19		21,8	18,6
	22	18,9		21,8	18,6
	22	18,9		21,9	18,7
Média	21,9125	18,94	Média	21,8375	18,63
% Perda ao fogo		13,5653166	% Perda ao fogo		14,68803663

A Tabela 30 mostra a perda ao fogo encontrada na mistura com incorporação de 20 % de lodo em função das 4 temperaturas de queima. Esta composição de mistura possui um percentual de perda ao fogo que varia entre 13 % à 15,6 %, para a temperatura mínima utilizada, que é de 800°C até a máxima utilizada que é de 1150 °C. Conseqüentemente, com incorporação de 20 % de lodo à argila, mostrou que resultados de perda ao fogo acima do valor máximo aceitável, que é de 15 %. Pode-se verificar que para as temperaturas de 1000°C e 1150 °C o valor da perda ao fogo ultrapassou este percentual.

Tabela 30: Análise de perda ao fogo da argila com 20 % de lodo incorporado nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C.

Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
800 °C	21,2	18,4	900 °C	21,1	18,1
	21,1	18,2		21,15	18,2
	21	18,1		21,2	18,2
	21,4	18,6		21	18,1
Média	21,175	18,325	Média	21,1125	18,15
% Perda ao fogo		13,459268	% Perda ao fogo		14,03197158
Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima	Temp.	Peso antes da queima	Peso após a queima
1000 °C	21,49	18,2	1150°C	21,3	17,9
	21,2	18		21,2	17,9
	21,45	18,2		21,4	18,1
	21	17,9		21,2	17,95
Média	21,285	18,075	Média	21,275	17,9625
% Perda ao fogo		15,08104299	% Perda ao fogo		15,56991774

As Figuras 36 e 37, mostram a comparação dos resultados de perda ao fogo em função da temperatura e em função da quantidade de lodo incorporada na argila. Analisando estas figuras percebe-se nitidamente que a variação da quantidade de lodo incorporado na argila influenciou para o aumento do percentual de perda ao fogo. Também é possível verificar que esta diferença é maior na temperatura de 800 °C, fato que indica que a matéria orgânica já foi quase que totalmente queimada, nesta temperatura. Este fato pode ser verificado também na análise térmica realizada nas matérias primas, onde o lodo possui uma perda de massa com a presença da

temperatura, maior que a argila. Verifica-se também que a maior perda aconteceu entre as temperaturas de 250 °C e 700 °C, indicando ser a temperatura de combustão da matéria orgânica. Com estas figuras pode-se verificar também que as temperaturas de 1000°C e 1150 °C com 20 % de lodo incorporado a argila, não atendeu os valores estabelecido em literatura.

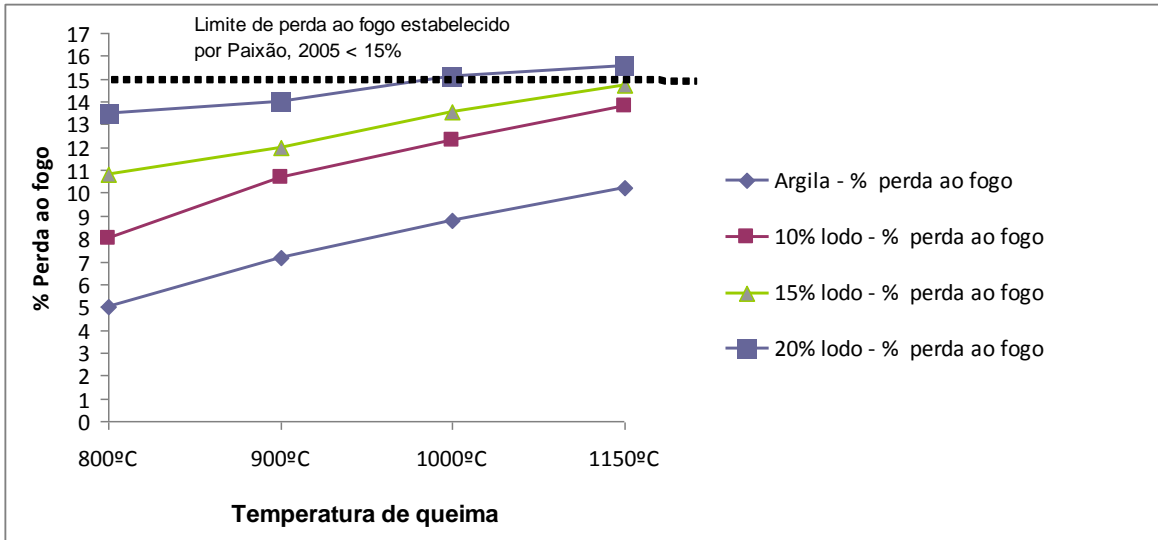


Figura 36: Variação da perda ao fogo em função da temperatura de queima

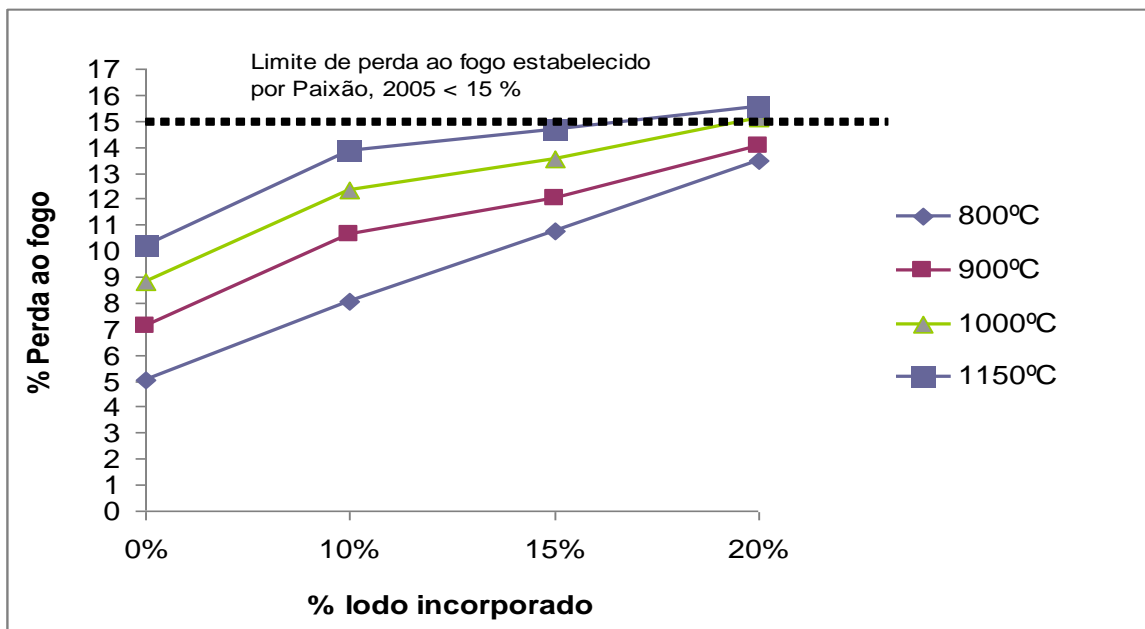


Figura 37: Variação da perda ao fogo em função do percentual de lodo incorporado na argila.

4.2.3. Absorção de água

Foi realizada a análise de absorção de água em todas as misturas e também na argila pura, em função da temperatura de queima do corpo de prova cerâmico e do percentual de lodo incorporado na argila.

4.2.3.1. Análise de absorção de água da argila

A Tabela 31 mostra o resultado da análise de absorção de água da argila queimada a 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1150 °C. Nesta tabela pode-se verificar que a temperatura de queima possui influência significativa no resultado de absorção de água. Quando realizado teste de Tukey avaliando a variação de temperatura, ou seja, 800, 900, 1000 e 1150 °C para queima dos corpos de provas de argila pura, o teste indica que não há diferença significativa entre os resultados. Este fato foi verificado através da análise estatística com teste de Tukey com nível de significância de 5 %. Os resultados da absorção de água da argila atendem aos valores pré-estabelecidos na NBR 15270, que limita o percentual de absorção de água para telha em, no máximo, 20 % e para fabricação de blocos cerâmicos e tijolos maciços entre 8 % a 22 %. Desta forma, a alteração encontrada com incremento da temperatura, não interfere no processo de fabricação de produtos da cerâmica vermelha. Na Figura 38 é possível verificar a pequena variação do percentual de absorção de água com o aumento da temperatura.

Tabela 31: Absorção de água da argila nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C

TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
800°C	20,4	22,89	12,20588235	900°C	20,2	22,8	12,87128713
	20,2	22,77	12,72277228		19,7	22,12	12,28426396
	20,2	22,76	12,67326733		20,05	22,55	12,46882793
	20,4	22,88	12,15686275		20,03	22,56	12,63105342
MÉDIA	20,3	22,825	12,43842365	MÉDIA	19,995	22,5075	12,56564141
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM
TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
1000°C	19,85	22,13	11,4861461	1150°C	20,25	22,8	12,59259259
	19,65	22,38	13,89312977		20,2	22,65	12,12871287
	19,9	22,45	12,81407035		20,35	22,95	12,77641278
	19,85	22,2	11,83879093		20,35	22,7	11,54791155
MÉDIA	19,813	22,29	12,50473186	MÉDIA	20,288	22,775	12,26124461
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM

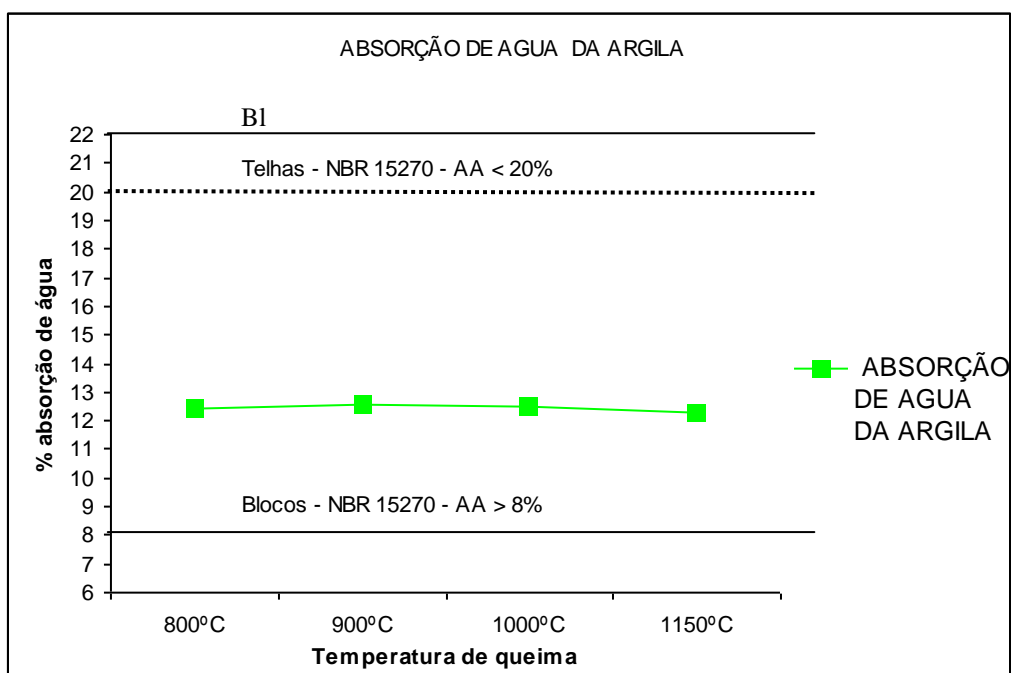


Figura 38: Variação da absorção de água da argila em função da temperatura de queima.

4.2.3.2. Análise de absorção de água da mistura com 10% de lodo

A Tabela 32 mostra o resultado da análise de absorção de água da mistura de argila com 10 % de lodo incorporado queimada a 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1150 °C. Nesta tabela pode-se verificar que a temperatura de queima possui influência significativa no resultado de absorção de água. Este fato foi verificado através da análise estatística com teste de Tukey com nível de significância de 5 %. Na variação entre 800 e 900 °C, não houve diferença nos resultados. Os resultados da absorção de água da mistura com 10 % de lodo atendem aos valores pré-estabelecidos na NBR 15270. Desta forma, a alteração encontrada com incremento da temperatura, não interfere no processo de fabricação do produto de cerâmica vermelha. Na Figura 39 é possível verificar a pequena variação do percentual de absorção de água com o aumento da temperatura.

Tabela 32: Absorção de água da da mistura de argila com 10 % de lodo incorporada nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C

TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
800°C	19,3	22,1	14,50777202	900°C	19,3	22,09	14,45595855
	19,35	22,05	13,95348837		19	21,75	14,47368421
	19,3	22,05	14,24870466		19	21,75	14,47368421
	19	21,69	14,15789474		19,05	21,85	14,69816273
MÉDIA	19,238	21,9725	14,21702404	MÉDIA	19,088	21,86	14,52521284
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois
			SIM				SIM
TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
1000°C	18,7	21	12,29946524	1150°C	18,55	20,7	11,5902965
	18,85	21,5	14,05835544		18,65	20,8	11,52815013
	18,9	21,5	13,75661376		18,9	21,1	11,64021164
	18,45	21,3	15,44715447		18,6	20,8	11,82795699
MÉDIA	18,725	21,325	13,88518024	MÉDIA	18,675	20,85	11,64658635
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois
			SIM				SIM

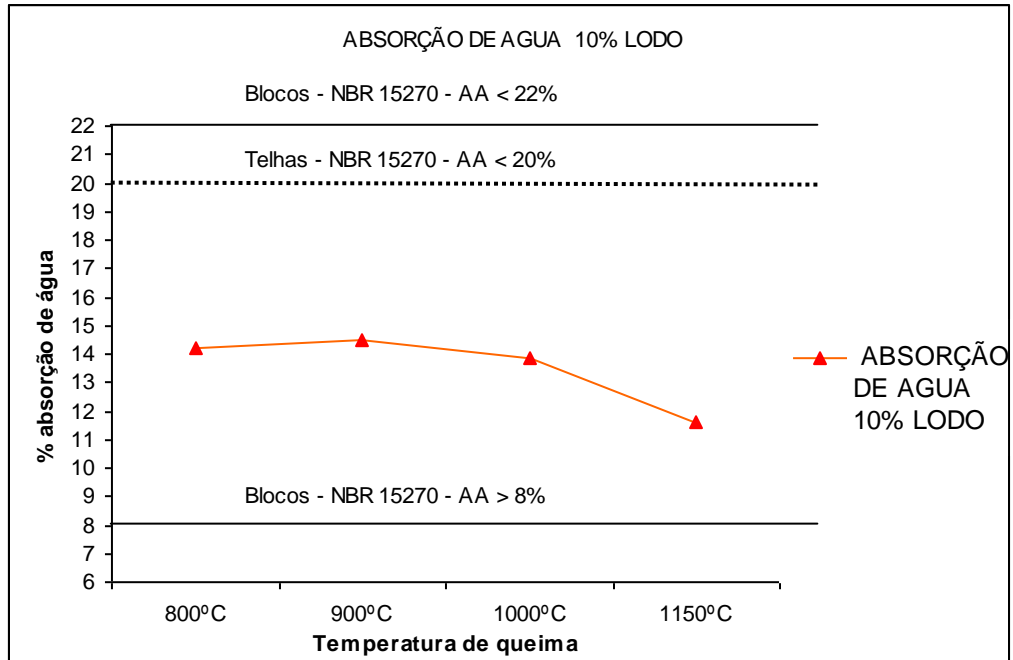


Figura 39: Variação da absorção de água da mistura de argila com 10 % de lodo incorporada em função da temperatura de queima.

Fonte: O autor

4.2.3.3. Análise de absorção de água da mistura com 15% de lodo

Tabela 33 mostra o resultado da análise de absorção de água da mistura de argila com 15 % de lodo incorporado queimada a 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1150°C. Nesta tabela pode-se verificar que a temperatura de queima também possui influência significativa no resultado de absorção de água. Este fato foi verificado através da análise estatística com teste de Tukey com nível de significância de 5 %. Os resultados da absorção de água da mistura com 15 % de lodo ainda atendem aos valores pré-estabelecidos na NBR 15270. Desta forma, a alteração encontrada com incremento da temperatura, não interfere no processo de fabricação do produto de cerâmica vermelha. Na Figura 40 é possível verificar variação do percentual de absorção de água com o aumento da temperatura. Através deste gráfico exposto na Figura 40, verifica-se nitidamente que mesmo com o aumento da absorção de água devido ao incremento de lodo na mistura.

Tabela 33: Absorção de água da da mistura de argila com 15 % de lodo incorporada nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C

TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
800°C	18,3	21,53	17,65027322	900°C	18,25	21,75	19,17808219
	18,4	21,75	18,20652174		18,2	21,5	18,13186813
	18,3	21,65	18,30601093		18	21,2	17,77777778
	18,4	21,7	17,93478261		18,25	21,85	19,7260274
MÉDIA	18,35	21,6575	18,02452316	MÉDIA	18,175	21,575	18,70701513
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM
TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
1000°C	18,35	21,25	15,80381471	1150°C	17,9	20,8	16,20111732
	18,05	21,1	16,89750693		17,65	20,45	15,86402266
	17,85	20,85	16,80672269		17,85	20,55	15,12605042
	18	21,1	17,22222222		18	20,75	15,27777778
MÉDIA	18,063	21,075	16,67820069	MÉDIA	17,85	20,6375	15,6162465
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM

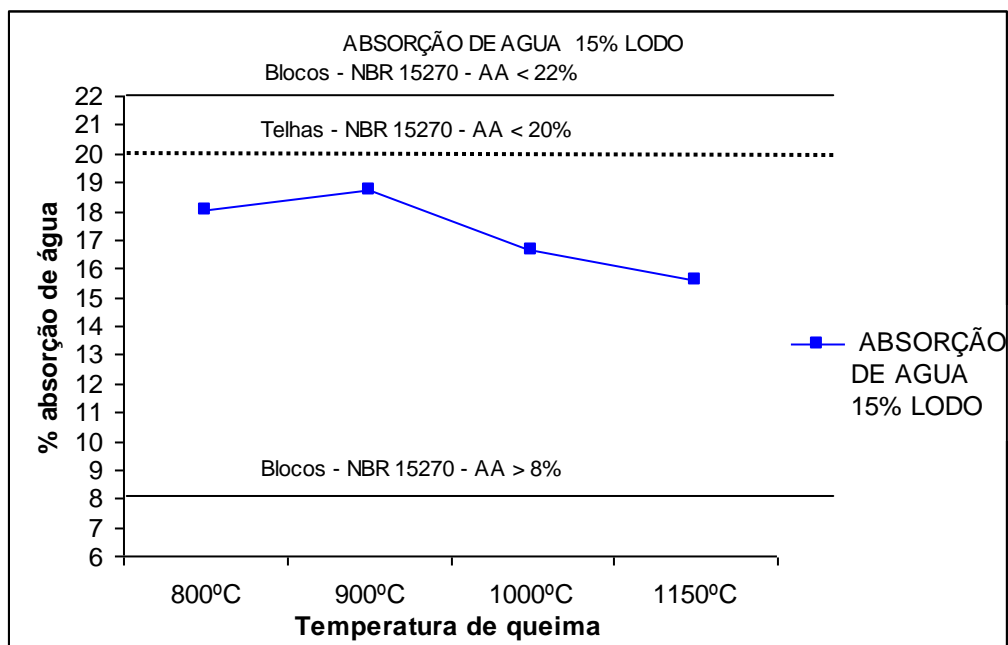


Figura 40: Variação da absorção de água da mistura de argila com 15 % de lodo incorporada em função da temperatura de queima.

Fonte: O autor

4.2.3.4. Análise de absorção de água da mistura com 20% de lodo

A tabela 34 mostra o resultado da análise de absorção de água da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado queimada a 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1150°C. Nesta tabela pode-se verificar que a temperatura de queima também possui influência significativa no resultado de absorção de água. Os resultados da absorção de água da mistura com 20 % de lodo não atendem a NBR 15270 para fabricação de telhas, nas temperaturas de 800 °C e 900 °C. A temperatura de 1000 °C também ficou com o valor muito próximo do permitido pela norma. A temperatura de 1150 °C foi a única temperatura que os resultados de absorção atenderam ao pré- estabelecido pela norma. Desta forma, a incorporação de 20 % de lodo não atende aos valores pré- estabelecidos na NBR 15270 para fabricação de telha, mas para fabricação de blocos cerâmicos e tijolo maciço, ainda está dentro dos limites estabelecidos por norma. Desta forma, a alteração encontrada com incremento da temperatura, interfere no processo de fabricação do produto de cerâmica vermelha, pois realizando a queima em 1150 °C, os valores se adequaram a norma. Na Figura 41 é possível verificar variação do percentual de absorção de água com o aumento da temperatura.

Tabela 34: Absorção de água da da mistura de argila com 20 % de lodo incorporada nas temperaturas de 800, 900, 1000 e 1150 °C

TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
800°C	17,38	20,8	19,67779056	900°C	17,45	21	20,34383954
	17,77	21,4	20,42768711		17,4	20,9	20,11494253
	17,7	21,3	20,33898305		17,4	21,1	21,26436782
	17,58	21,1	20,02275313		17,5	21	20
MÉDIA	17,608	21,15	20,11926736	MÉDIA	17,438	21	20,43010753
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM
TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO	TEMP.	PESO		% DE ABSORÇÃO
	ANTES	DEPOIS			ANTES	DEPOIS	
1000°C	17,35	20,75	19,59654179	1150°C	17	20,1	18,23529412
	17,15	20,55	19,82507289		17,25	20,25	17,39130435
	17,3	20,8	20,23121387		17,2	20,3	18,02325581
	17,25	20,65	19,71014493		17,3	20,45	18,20809249
MÉDIA	17,263	20,6875	19,84069515	MÉDIA	17,188	20,275	17,96363636
Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM	Análise estatística com nível de significância 5 %			Antes x Depois SIM

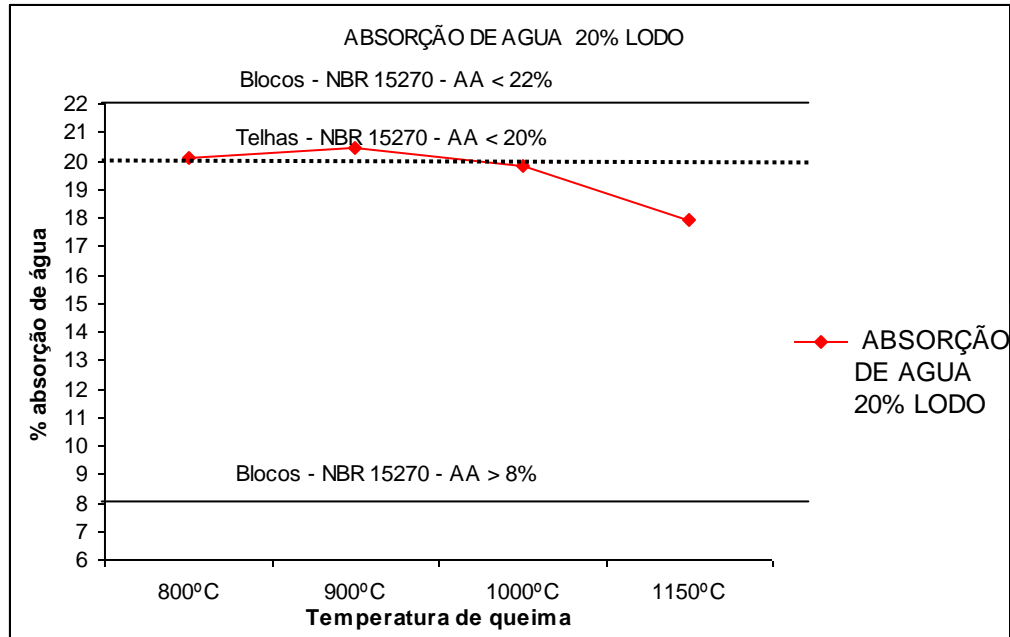


Figura 41: Variação da absorção de água da mistura de argila com 20 % de lodo incorporado em função da temperatura de queima.

Fonte: O autor

4.2.3.5. Avaliação da influência da quantidade de lodo incorporada a argila no percentual de absorção de água.

A Figura 42 mostra a comparação entre as misturas em função da temperatura de queima. Nela pode-se avaliar a influência da quantidade de lodo incorporada a argila. Foi realizada análise estatística com o teste de Tukey com nível de significância de 5 % de todas as misturas. Desta forma pode-se afirmar que quanto maior a quantidade de lodo incorporada a argila, maior é o percentual de absorção de água. Esta condição pode estar relacionada, a quantidade de matéria orgânica no lodo, contribuindo para o aumento da porosidade do corpo de prova. Esta matéria orgânica, é totalmente eliminada até a temperatura de aproximadamente 700 °C. Esta condição pode ser confirmada na análise térmica do lodo, onde a maior perda de massa ocorreu entre 250 °C a 700 °C. A incorporação do lodo interfere significativamente no resultado de absorção de água, mas os valores ficam dentro do estabelecido pela norma brasileira. A Figura 43 mostra esta comparação em função da quantidade de lodo

incorporada na argila, onde pode-se perceber nitidamente que a incorporação de 20 % de lodo a argila não atende a NBR 15270, em duas temperatura de queima.

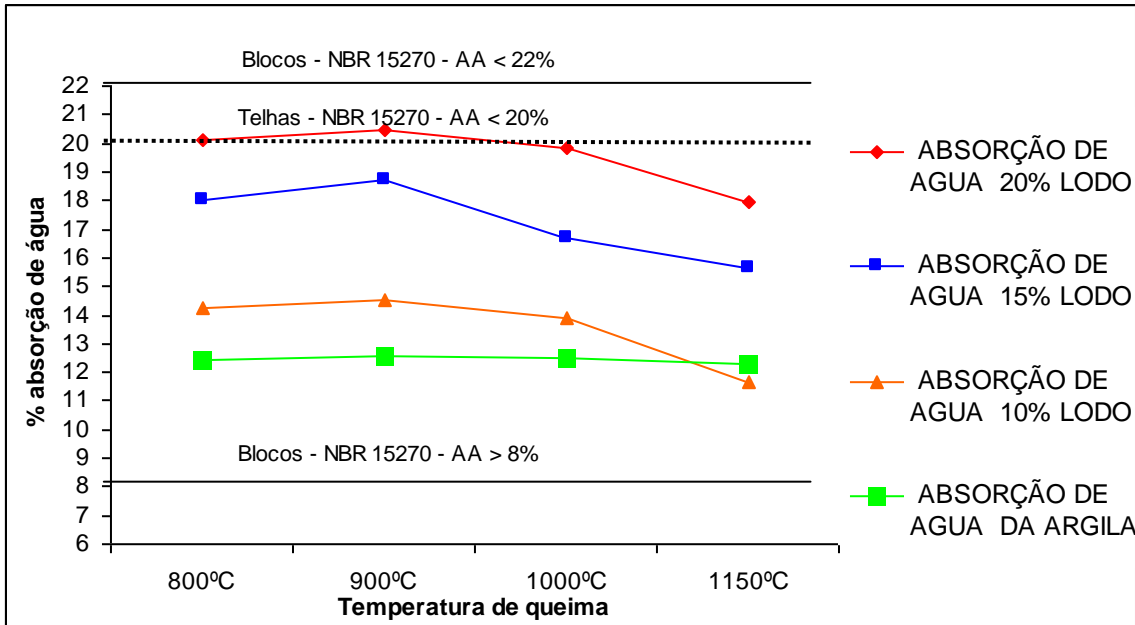


Figura 42: Variação da absorção de água em função da temperatura de queima.
Fonte: O autor

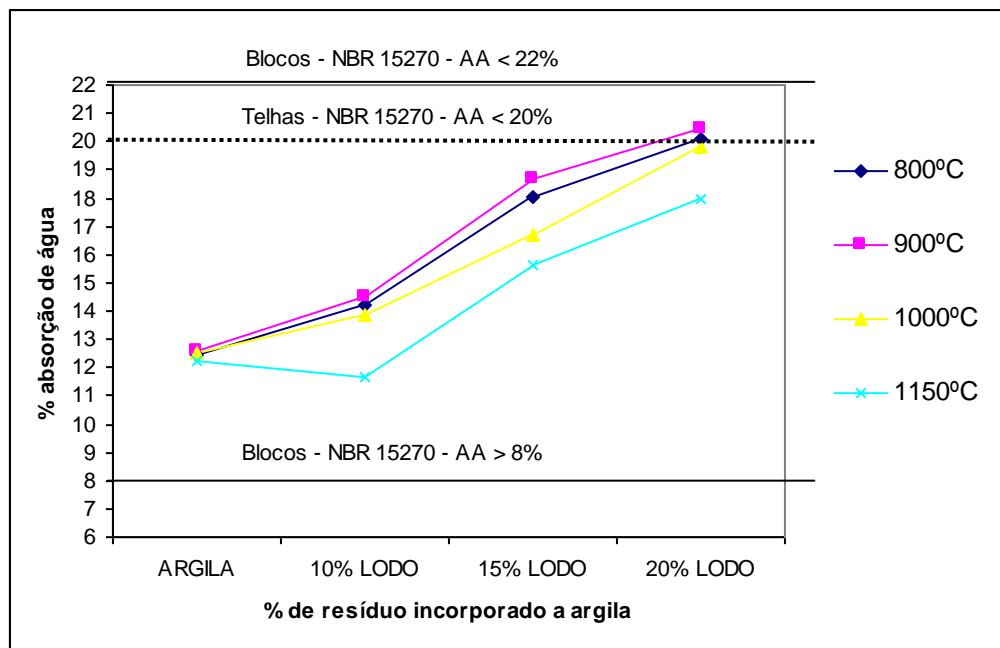


Figura 43: Variação da absorção de água em função da quantidade de lodo incorporado a argila

4.2.4. Tensão de flexão de ruptura

Os resultados encontrados para os testes de tensão de ruptura à flexão podem ser verificados no anexo A deste projeto. A Tabela 35 mostra um resumo com os valores médios encontrados para o teste de tensão de ruptura a flexão da argila pura, com 10, 15 e 20 % de lodo incorporado. Esta tabela também mostra a variação encontrada com o aumento da temperatura de sinterização para cada composição. Os valores mostrados na tabela já foram calculados através da equação da tensão de ruptura à flexão e expressos em MPa.

Tabela 35: Ruptura à flexão da argila pura, com 10 %, 15 % e 20 % de lodo incorporado.

TEMP.	Argila (MPa)	10 % (MPa)	15 % (MPa)	20 % (MPa)
800 °C	11,79310345	10,2194483	6,971586207	4,510344828
900 °C	15,17958621	11,3544828	8,215034483	5,336275862
1000 °C	16,16275862	11,4753103	8,375586207	5,735172414
150 °C	18,33931034	11,9942069	9,413793103	6,213103448

A Figura 44 mostra a influência que a temperatura de queima dos corpos de prova exercem sobre resistência mecânica dos materiais. Quanto maior a temperatura, maior será a tensão de ruptura à flexão. Verifica-se também que a temperatura exerce uma influência maior sobre os corpos de prova confeccionados com argila pura, em relação aos corpos de prova com lodo incorporado. Este fato pode estar relacionado a temperatura de sinterização do lodo ser superior a temperatura da argila.

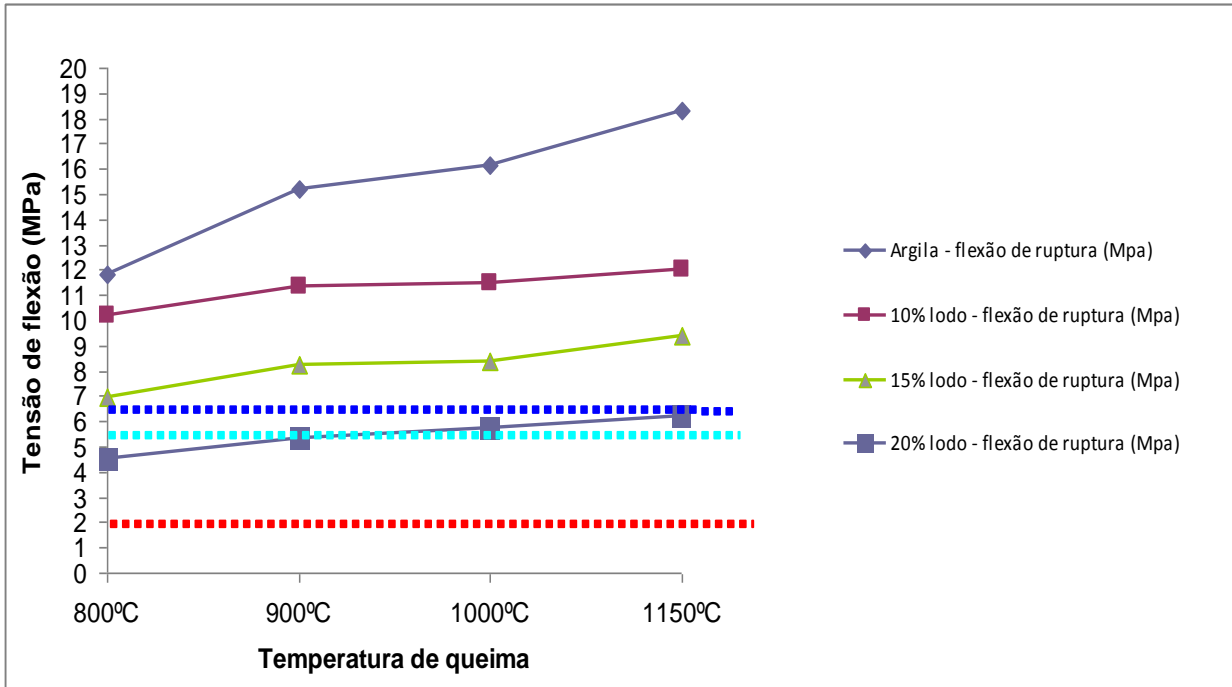


Figura 44: Tensão de ruptura à flexão em função da temperatura de queima

A figura 45 mostra a influência que a variação da quantidade de lodo incorporado exercem sobre resistência mecânica dos materiais. Através da avaliação dos resultados, percebe-se que quanto maior o percentual de lodo incorporado, menor será a tensão de ruptura à flexão. Verifica-se também que esta variação acontece em todas as temperaturas de queima analisadas.

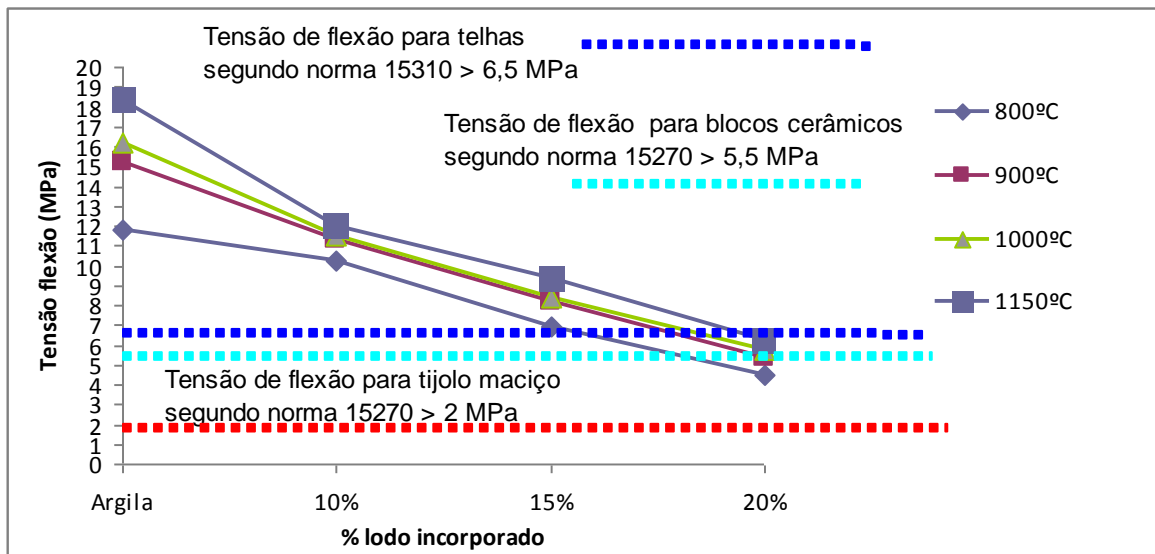


Figura 45: Tensão de ruptura à flexão em função da variação da quantidade de lodo.

A incorporação do lodo na argila representou uma diferença significativa nos resultados da tensão de flexão. Quanto maior a quantidade de lodo incorporada na argila, menor foi o resultado apresentado para esta variável. Este fato pode estar relacionado ao aumento porosidade do material devido ao aumento da perda ao fogo.

Os valores referenciais para tensão de ruptura a flexão encontrados para fabricação de produtos de cerâmica vermelha, segundo Paixão (2005), são tijolos maciços, TRF > 2 MPa, blocos perfurados, TRF > 5,5 MPa e telhas, TRF > 6,5 MPa. Estes valores estão de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 15270, para fabricação de blocos e para 15310, para telhas. Desta forma, a adição de até 15 % de lodo a argila está dentro dos limites especificados para fabricação de cerâmica vermelha em todas as temperaturas de queima. Para adição de 20 %, este limite não foi respeitado para fabricação de telhas e blocos cerâmicos, nas temperaturas de 800 e 900 °C. Nas temperaturas de 1000 e 1150 °C, este valor ainda ficou dentro do padrão para fabricação de blocos, mas não atendeu para fabricação de telhas.

4.3. Ensaio toxicológicos

A Tabela 36 mostra os resultados dos parâmetros encontrados dos produtos solubilizados e para o meio de cultivo antes da realização do teste de toxicidade aguda.

Tabela 36: Parâmetros avaliados do produto solubilizado antes do teste de toxicidade

Soluções	Temperatura	OD	Condutividade	PH
Solubilizado da argila	27,3 °C	4,5	34,11 mic / cm ²	5,2
Solub. Composto a 20 %	25,8 °C	5,2	80 mic / cm ²	6,4
Meio cultivo	24,3 °C	5,6	200 mic / cm ²	7,2

A Tabela 37 mostra os resultados dos parâmetros encontrados do produto solubilizado, proveniente do material dos corpos de provas com 20 % de lodo incorporado, depois da realização do teste de toxicidade. Os testes inicialmente foram realizados para proporções de 0,0 %, 0,01 %, 0,1 %, 1 %, 2 %, 5 %, 10 % e 100 %. Então foram retirados os valores encontrados com 10 % do solubilizado e 100 % do

solubilizado. O composto 1 e composto 2, significa as réplicas dos solubilizados que foram realizadas.

Tabela 37: Parâmetros avaliados do produto solubilizado após o teste de toxicidade

Soluções	Dissolução	Temperatura	OD	pH
Solubilizado Composto 1	10 %	26,3 °C	4,4	5,8
Solubilizado Composto 1	100 %	26,3 °C	4,3	6,15
Solubilizado Composto 2	10 %	26,7 °C	4,8	6,5
Solubilizado Composto 2	100 %	26,5 °C	4,6	6,3

A Tabela 38 mostra o resultado do teste de toxicidade do solubilizado 1, onde foi colocada uma população de microorganismos igual a cinco dentro destes solubilizados dissolvidos e armazenados conforme descrito neste trabalho. A Tabela 39 mostra os resultados encontrados na réplica, solubilizado 2. A Tabela 40 mostra os resultados da contagem de microorganismos sobreviventes após 48 horas do solubilizado da argila.

Tabela 38: Contagem do microorganismo sobrevivente a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado do lodo 1

Solubilizado composto	0 %	0,01 %	0,10 %	1,00 %	10 %	100 %
População	5	5	5	5	5	5
Sobreviventes após 48horas	4	5	5	4	4	4
Sobreviventes após 48horas	5	4	5	4	4	3
Sobreviventes após 48horas	5	5	4	5	5	4
Sobreviventes após 48horas	4	4	4	5	4	3

Tabela 39: Contagem do microorganismo sobrevivente a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado do lodo 2

Solubilizado composto	0 %	0,01 %	0,10 %	1,00 %	10 %	100 %
População	5	5	5	5	5	5
Sobreviventes após 48horas	4	5	5	5	4	3
Sobreviventes após 48horas	5	4	5	4	3	4
Sobreviventes após 48horas	4	5	4	4	5	2
Sobreviventes após 48horas	4	4	4	3	4	4

Tabela 40: Contagem do microorganismo sobrevivente a 0,0 / 0,01 / 0,1 / 1 / 10 / e 100 % com quatro duplicatas do solubilizado da argila

Solubilizado argila	0 %	0,01 %	0,10 %	1,00 %	10 %	100 %
População	5	5	5	5	5	5
Sobreviventes após 48horas	4	5	4	4	5	4
Sobreviventes após 48horas	5	4	5	5	4	4
Sobreviventes após 48horas	3	4	4	5	5	5
Sobreviventes após 48horas	4	4	4	5	5	4

Realizando a avaliação dos resultados demonstrados nas Tabelas 37, 38 e 39 e comparando os mesmos com a Tabela 40, pode-se verificar que a incorporação de lodo cerâmico não alterou a classificação do composto neste quesito. Desta forma, através desta análise de toxicidade, pode-se afirmar que a incorporação de lodo a argila dentro das proporções indicadas neste projeto, não altera as características ecotoxicológica da cerâmica vermelha.

Conclusão

Avaliando os resultados encontrados, pode-se gerar conclusões mais específicas, tomando como base, os valores indicados nas normas da ABNT, na literatura e também realizando a comparação com os valores encontrados para argila pura. Pode-se concluir sobre a caracterização dos materiais o seguinte:

:

- A avaliação químicas dos materiais mostrou que a composição química do lodo possui semelhança com a composição química da argila;
- O lodo possui uma quantidade maior de resíduo orgânico, quando comparado com a argila. Este fato interfere diretamente na perda de massa devido a ação da temperatura de queima do material;
- As fases cristalinas encontradas no resultado da DRX para o lodo, possui uma cristalinidade menor comparado com a argila e que o lodo possui uma composição mais diversificada, acarretando em vários processos não identificados;
- Realizando a avaliação morfológica do lodo, percebe-se que é constituído de partículas facetadas, sem padrão de tamanho. A argila forma aglomerados com mais facilidade que o lodo;
- O lodo alterou as propriedades físico mecânicas do corpo de prova, se comparados a argila;

Por meio dos ensaios cerâmicos realizados nos corpos de provas com argila pura e para as misturas de 10, 15 e 20 % de lodo incorporado na matriz argilosa pode-se verificar alguns parâmetros ideais de processos e gerar conclusões significativas para a incorporação do lodo na argila.

Para os ensaios de retração linear tem-se as seguintes conclusões:

- A temperatura de queima interfere significativamente neste resultado. Esta interferência acontece nos corpos de prova de argila pura e também em todas as composições;
- Quando avaliado a retração do volume dos corpos de provas, ou seja, levando em consideração todas as medidas, a temperatura de 1150 °C não atendem a literatura;
- Mediante aos resultados pode-se indicar que a melhor temperatura de processo para fabricação de tijolos e telhas, levando em consideração apenas esta variável, é de 800 °C para todas as composições. Verifica-se também que a incorporação do lodo á argila não interfere significativamente nos resultados de retração linear.

Para os ensaios de perda ao fogo tem-se as seguintes conclusões:

- A temperatura de queima interfere significativamente o resultado de perda ao fogo dos corpos de provas de todas as composições;
- A incorporação do lodo interfere significativamente nos resultados de perda ao fogo. Nas temperaturas de 1000 e 1150 °C a composição de 20 % de lodo não atende aos requisitos indicados na literatura;
- Mediante aos resultados pode-se indicar que a melhor temperatura de processo para fabricação de tijolos e telhas, levando em consideração apenas esta variável, também é de 800 °C para todas as composições.

Para os ensaios de Absorção de água tem-se as seguintes conclusões:

- A temperatura de queima não interferiu significativamente nos resultados de absorção de água da argila. Para os resultados de absorção de água das misturas com lodo este fato não ocorreu. Com o aumento da temperatura, houve uma variação significativa nos resultados, onde principalmente o resultado de absorção de água para temperatura de 1150 °C diminuiu significativamente;

- A incorporação do lodo na argila interferiu significativamente nos resultados. Para fabricação de blocos cerâmicos e tijolos maciços os resultados apresentados atendem plenamente aos requisitos indicados nas normas da ABNT. Para fabricação de telhas a mistura de 20 % de lodo não atenderam ao estabelecido pela NBR 15310, 2005. Na temperatura de 1150 °C esta composição também atendeu a norma;
- Mediante aos resultados encontrados para absorção de água, pode-se indicar que a melhor temperatura de processo para fabricação de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, levando em consideração apenas esta variável, também é de 800 °C para as composições de 0, 10 e 15 % de lodo incorporado. Para composição de 20 % atender a fabricação de todos os produtos cerâmicos indicados neste projeto, a temperatura de queima deve ser de 1150 °C

Para os ensaios de tensão de flexão tem-se as seguintes conclusões:

- A temperatura de queima interfere significativamente nos resultados de tensão de flexão de todas as composições. Quanto maior a temperatura de queima, maior será a tensão de flexão. Esta condições é mais evidente, para os corpos de provas de argila pura;
- A incorporação do lodo interfere significativamente nos resultados da tensão de flexão. Nas temperaturas de 800 e 900 °C a composição de 20 % de lodo não atende aos requisitos indicados na literatura para fabricação de blocos cerâmicos;
- Para fabricação de tijolos maciços, a composição de 20 % ficou dentro do estabelecido pela ABNT NBR 15270, para todas as temperaturas ;
- Para fabricação de telhas, a composição de 20 % de lodo incorporado a argila não atendeu aos valores mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15310;
- Mediante aos resultados encontrados para tensão de flexão, pode-se indicar que quanto maior a temperatura de processo melhor os resultados.

Tambem é possível dizer, que a temperatura de 800 °C atende aos requisitos indicados na literatura, para fabricação de tijolos maços, blocos cerâmicos e telhas, levando em consideração apenas esta variável, para as composições de 0, 10 e 15 % de lodo incorporado. Para composição de 20 %, a temperatura de 800°C é possível usar para fabricação de tijolos maços.

Os resultados mecânicos indicaram que a composição de 20 % de lodo incorporado não atendeu, em alguns parâmetros, aos requisitos indicados nas normas brasileiras e na literatura. Na Tabela 41 é mostrado um resumo com as indicações das temperaturas de processos para fabricação de tijolos maços, blocos e telhas.

Tabela 41: Indicações das temperaturas de processos em função dos resultados dos ensaios mecânicos.

Ensaio mecânico	Tijolos maços	Blocos cerâmicos	Telhas	Composição			
	Temperatura de processo indicada						
Retração linear	* 800 °C			0 % lodo			
				10% lodo			
				15 % lodo			
				*** 20 % lodo			
Perda ao fogo	* 800 °C			0 % lodo			
				10% lodo			
				15 % lodo			
				*** 20 % lodo			
Absorção de água	** 800 °C			0 % lodo			
				** 800°C			10% lodo
							15 % lodo
		1150 °C		20 % lodo			
Tensão de Flexão de ruptura	**800 °C			0 % lodo			
				**800 °C			10% lodo
							**800 °C
	**800 °C	1150 °C	Não atende	20 % lodo			
* quanto menor a temperatura melhor o resultado; ** Quanto maior a temperatura, melhor o resultado; *** As temperaturas de 1000 e 1150 °C não atenderam aos requisitos mínimos;							

Quanto maior a temperatura de queima, melhores são as características mecânicas relacionadas a tensão de flexão e absorção de água, mas quanto menor a temperatura, menores são custos de produção. Desta forma, as indicações de temperatura de queima para fabricação de tijolos maciços, blocos e telhas, buscaram as menores temperaturas de queima, levando em consideração as indicações das normas e da literatura.

Sob essas condições, a incorporação de 20 % de lodo a argila só é possível para fabricação de tijolos maciços. As outras composições verificou-se que mesmo alterando as características mecânicas da matriz argilosa, é possível realizar a incorporação do lodo a argila.

Para os resultados de toxicidade dos materiais tem-se:

- O lodo gerado no processo de decantação e filtro prensa da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil mostrou nos resultados de toxicidade que possui características tóxicas, quando analisado o lodo in natura.
- Mostrou que quando este lodo é incorporado a argila, o mesmo não apresentou características tóxicas, indicando que a incorporação de lodo, dentro dos percentuais utilizados neste trabalho não altera as características ecotoxicológica dos resíduos cerâmicos.
- Desta forma, pode-se dizer que é possível realizar a incorporação de lodo a argila.

Através dos resultados encontrados neste trabalho, conclui-se que é possível realizar a incorporação de lodo, gerado no processo de decantação e filtro prensa da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil da região de Joinville.

Anexo A

Neste anexo serão mostrados todos os resultados encontrados para tensão de ruptura à flexão nas temperaturas de 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1150 °C encontrados para as diversas composições de mistura, como 0 %, 10 %, 15 % e 20 % de lodo incorporado. Foi realizado o teste em 4 corpos de provas, mas foi descartado sempre uma das medições.

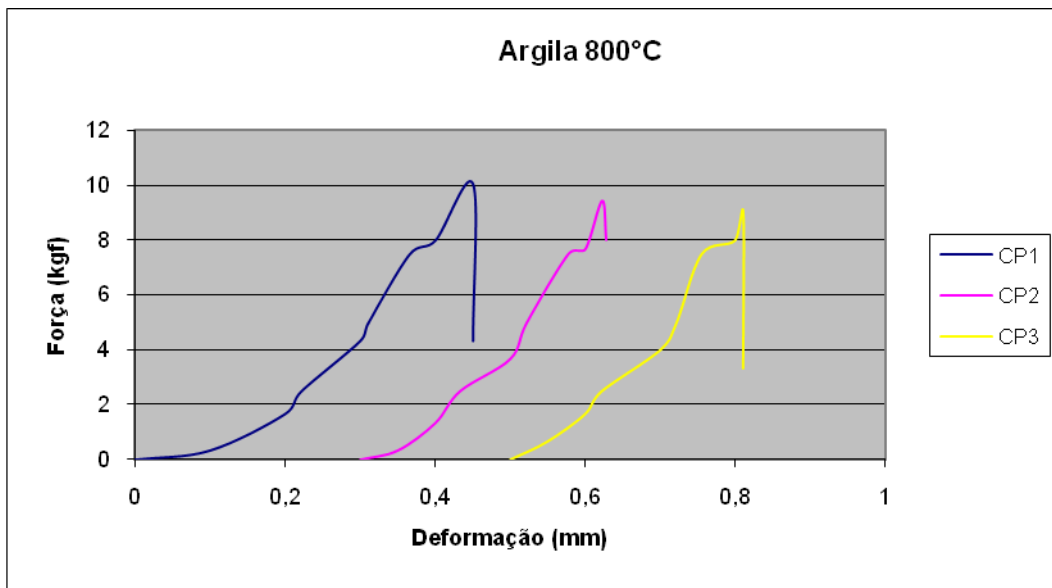


Figura 46: Análise TRF da argila queimada a 800 °C
Fonte: O autor

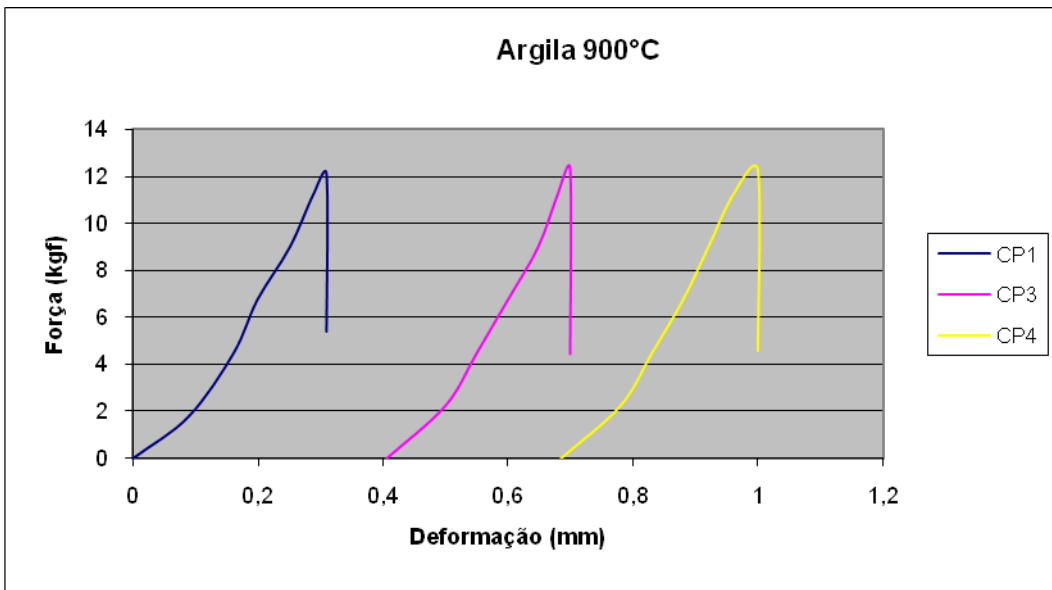


Figura 47: Análise TRF da argila queimada a 900 °C
 Fonte: O autor

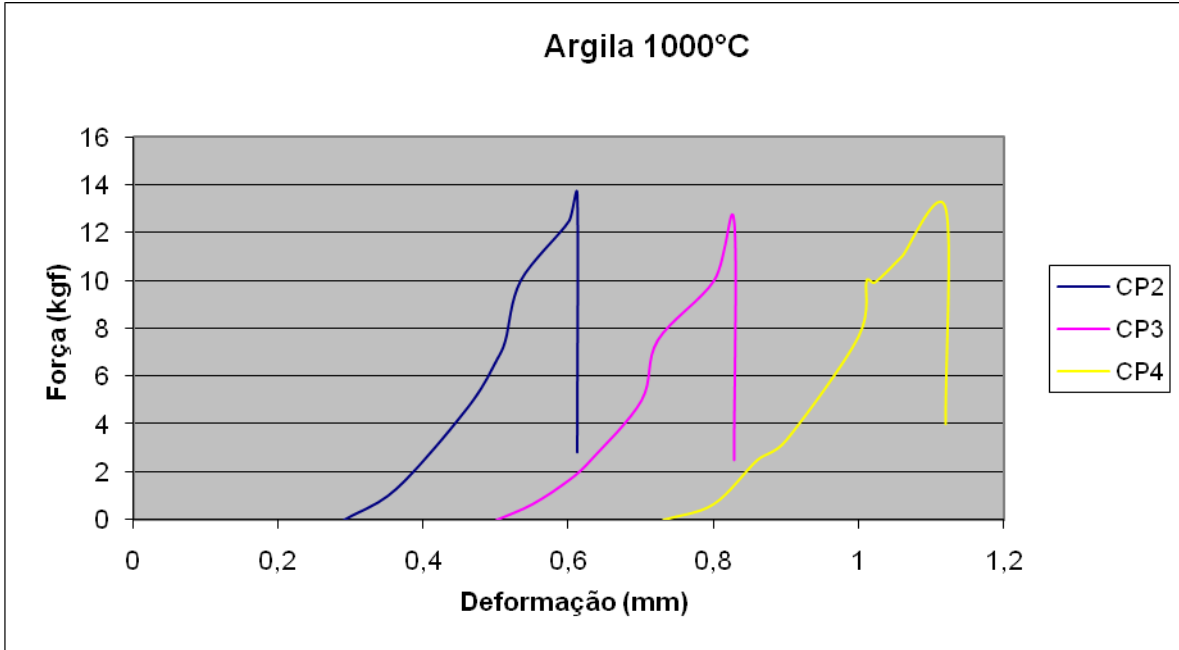


Figura 48: Análise TRF da argila queimada a 1000 °C
 Fonte: O autor

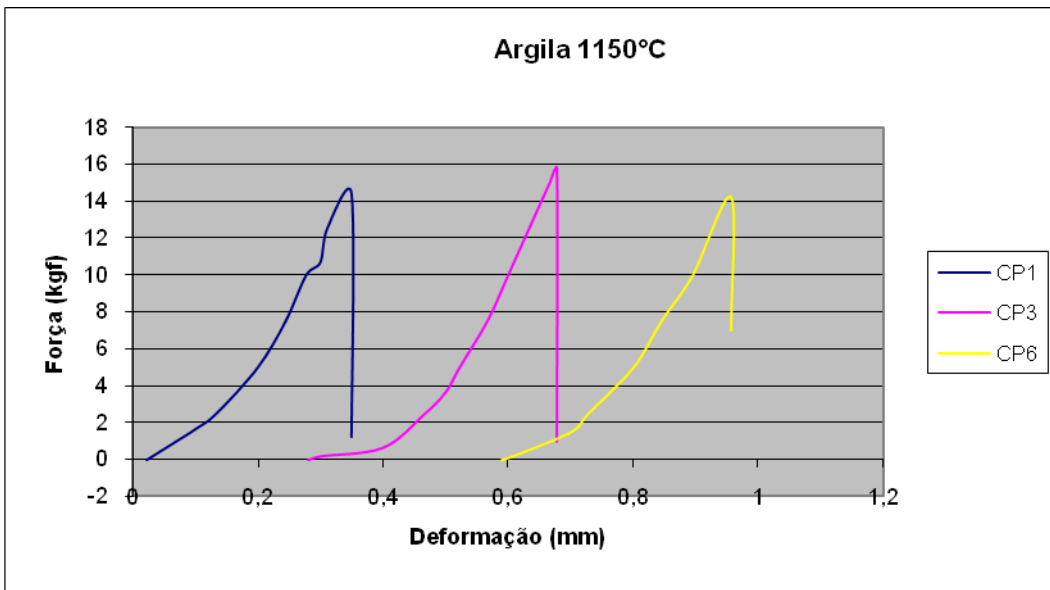


Figura 49: Análise TRF da argila queimada a 1150 °C
 Fonte: O autor

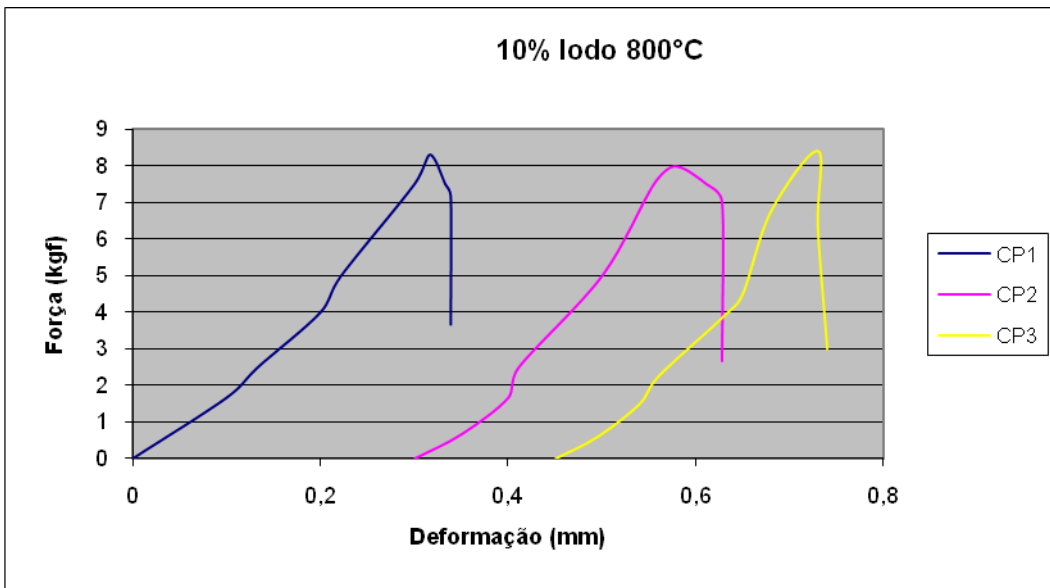


Figura 50: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 800 °C
 Fonte: O autor

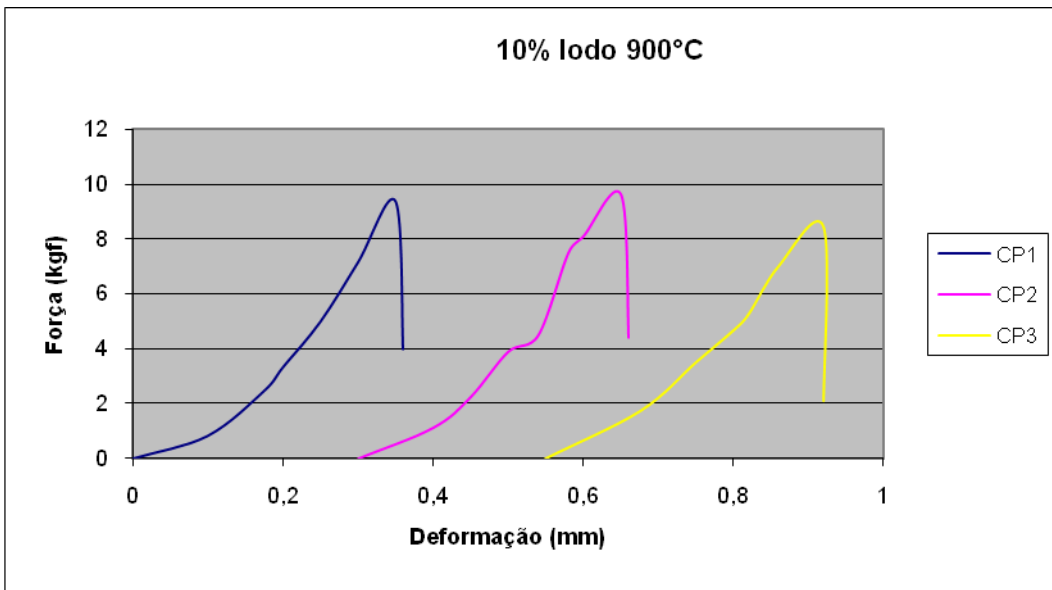


Figura 51: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 900 °C
 Fonte: O autor

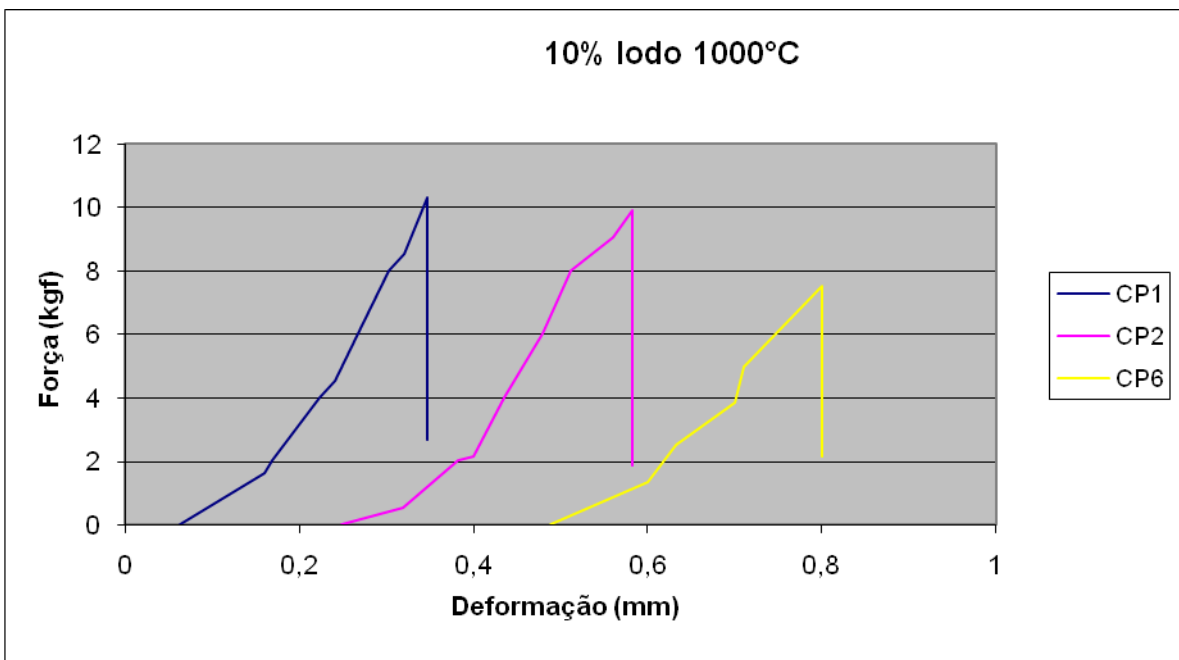


Figura 52: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 1000 °C
 Fonte: O autor

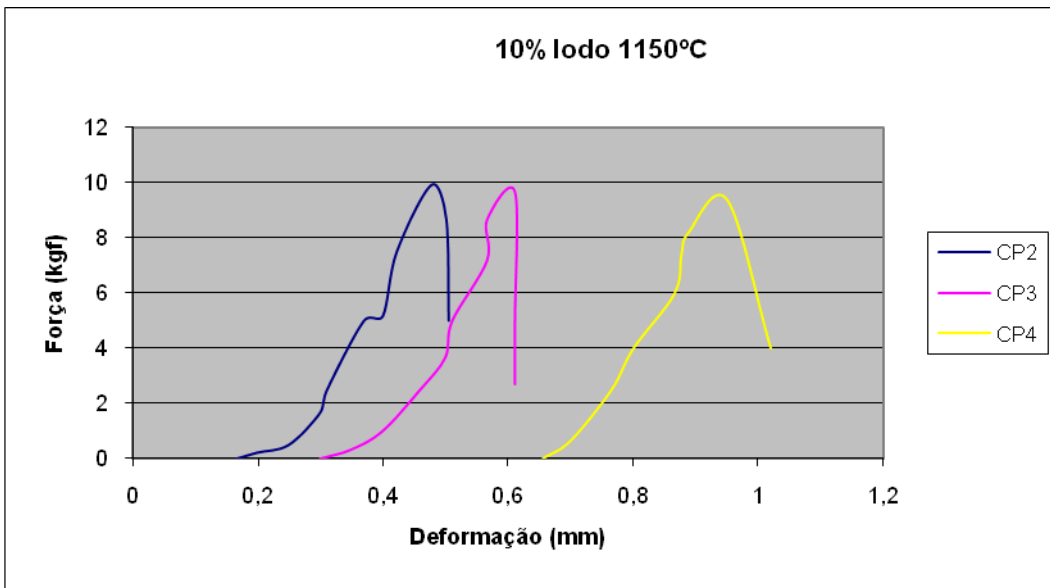


Figura 53: Análise TRF da mistura com 10 % de lodo queimado a 1150 °C
 Fonte: O autor

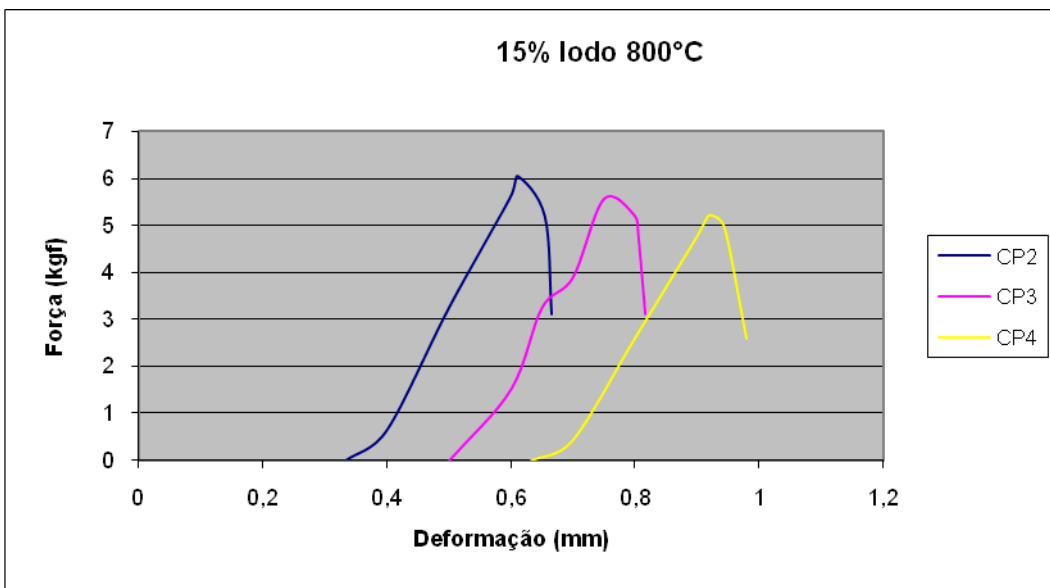


Figura 54: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 800 °C
 Fonte: O autor

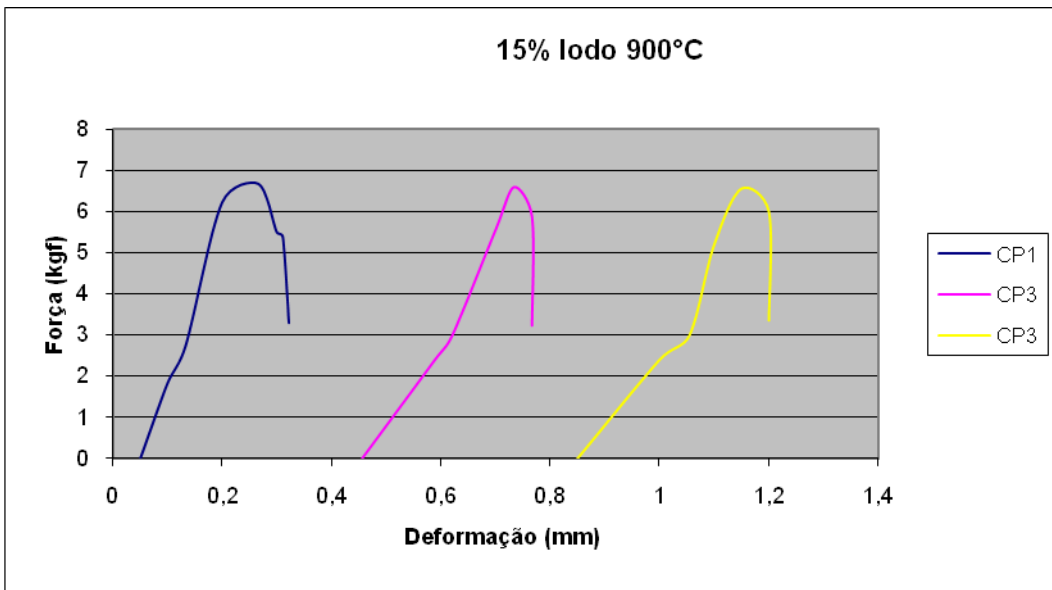


Figura 55: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 900 °C
 Fonte: O autor

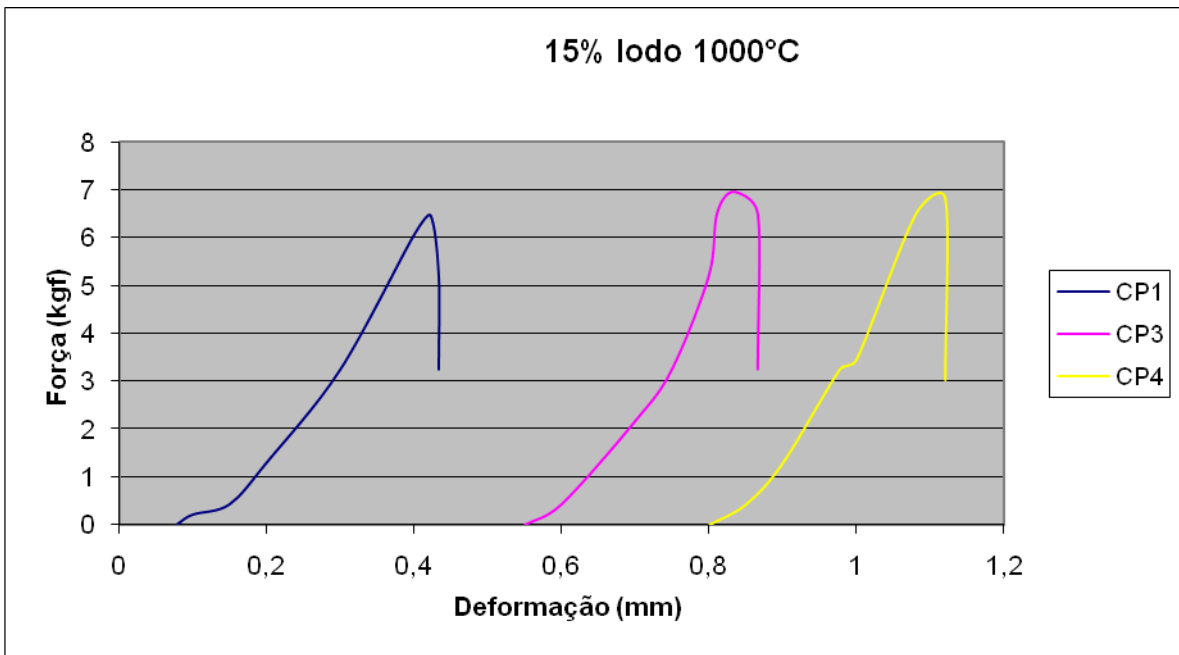


Figura 56: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 1000 °C
 Fonte: O autor

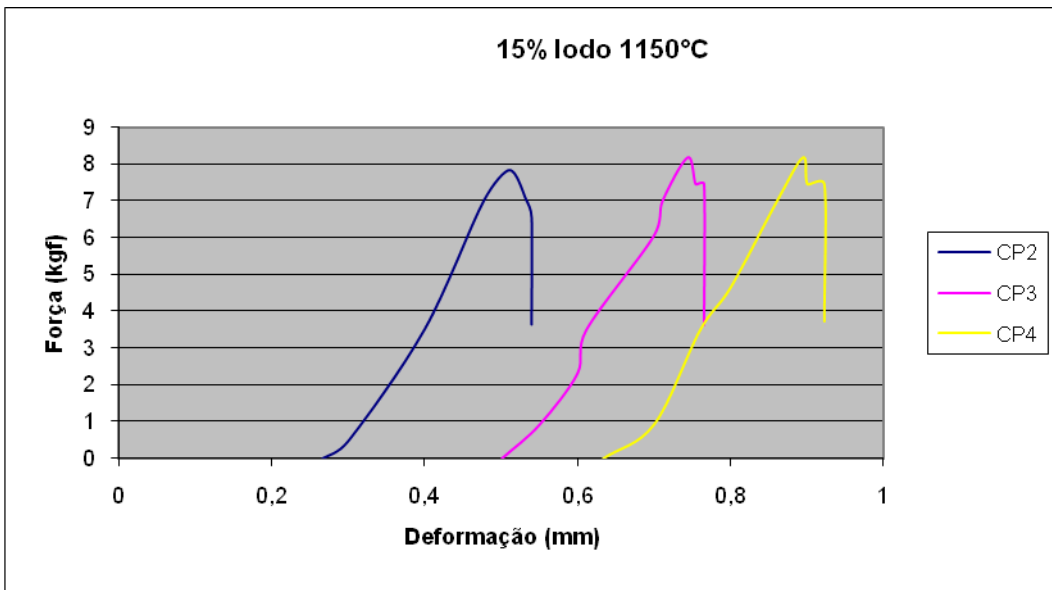


Figura 57: Análise TRF da mistura com 15 % de lodo queimado a 1150 °C
 Fonte: O autor

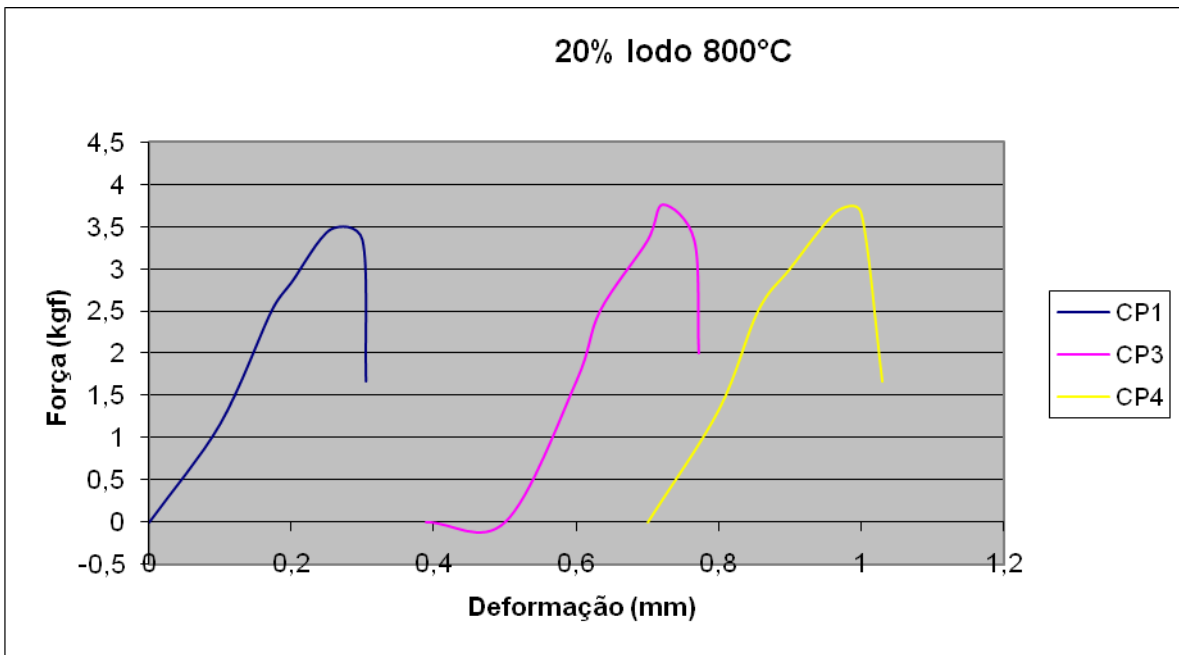


Figura 58: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 800 °C
 Fonte: O autor

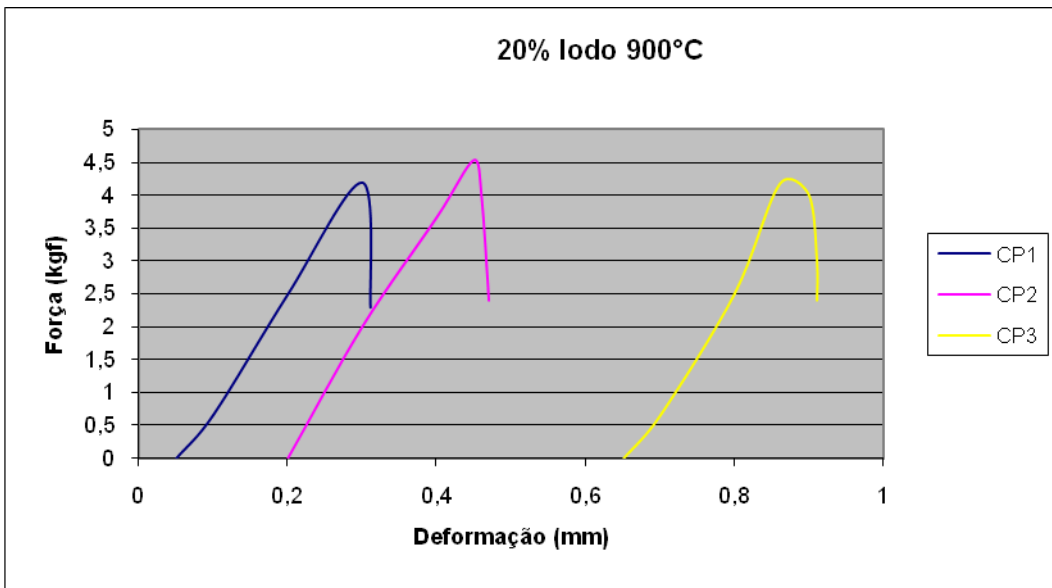


Figura 59: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 900 °C
 Fonte: O autor

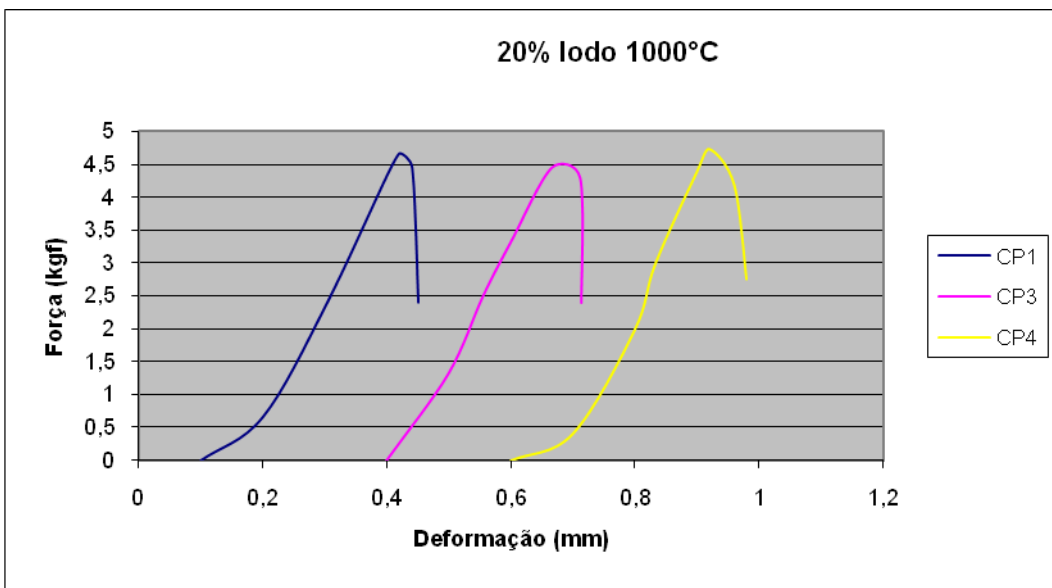


Figura 60: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 1000 °C
 Fonte: O autor

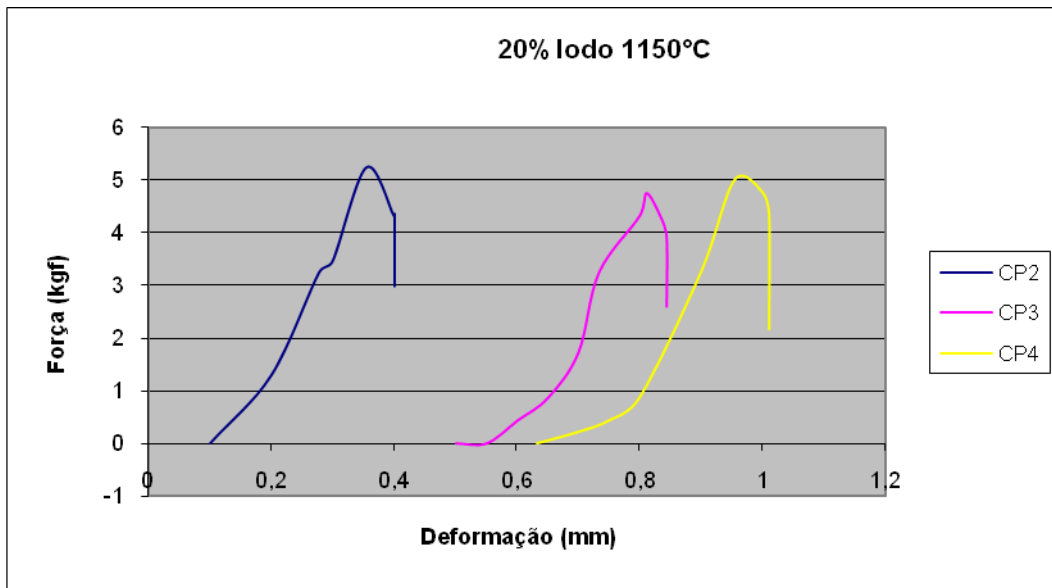


Figura 61: Análise TRF da mistura com 20 % de lodo queimado a 1150 °C
Fonte: O autor

REFERÊNCIAS

ABC – Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em <http://www.abc.com.br> , Acesso em Setembro de 2008.

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em www.abit.org.br/site/> Acesso em outubro de 2008.

ALLENSTEIN, César Lúcio M.; LOBERTO, Biágio; NOGOSECKI, Valdemar. **Ensaio de materiais II**. [s.l.]: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, [s.d.]. 94 p.

ALVES, José Dafico. **Materiais de construção**. 3. ed São Paulo: Nobel, 1976. 259 p.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; JÜRGENSEN, D. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**, Rio de Janeiro: ABES, Editado por PROSAB., p. 46-63, 1999.

ARRUDA, C.; FERREIRA, V. A.; SILVEIRA, F. P.; **Caderno de idéias**. Projeto China. Outubro de 2007. Disponível em HTTP://ci.fdc.org.br/anexo/caderno_ideias/ci%200724%20c2.pdf acesso em abril de 2009.

BARBOSA, Rosana M.; POVINELLI, Jurandyr; ROCHA, Odete; ESPÍNDOLA, Evaldo L.G. **A Toxicidade de Despejos (Lodos) de Estações de Tratamento de Água à Daphnia Similis (Cladocera, Crustacea)**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BERNARDES, José L. B.; **A Granulação de Materiais**. Cerâmica Industrial, Junho, 2006.

BERNARDIN, A. M.; SILVA, M. J.; RIELLA, H. G. **Characterization of cellular ceramics made by porcelain tile residues**, *Materials Science and Engineering:A*, v.437, p.222-225, 2006.

BERNARDO, E.; Castellan, R.; HREGLICH. **Sintered glass-ceramics from mixtures of wastes**, *Ceramics International*, v.33, p.27-33, 2007.

BITENCOURT, M. P. **Reaproveitamento do lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia têxtil (tingimento e lavagem)**. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UEM. Maringá, 2002.

CANEVAROLO JR.; Sebastião V. **Técnicas de caracterização de polímeros.** São Paulo: Artliber, 2004. 448 p.

Correia S.L.; TOMAZI F. C.; TOMIYAMA M.; HOTZA D., FOLGUERAS M.V. **Argilas da região de Joinville (Santa Catarina): Caracterização química, mineralógica e tecnológica.** Universidade do estado de Santa Catarina. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2006.

DUARTE Lauren da C; JUCHEM Pedro L; **Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros** Pesquisas em Geociências, 30(2): 3-15, 2003

GANSKE, C. C. F.; Análise do desempenho da estação de tratamento de efluente têxtil e a viabilidade de utilização do lodo na agricultura. Joinville, Dissertação de mestrado da UNIVILLE, 2008.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos materiais.** Rio de Janeiro: LTC, 2000. 247 p.

GREGOROVA, E.; PABST, W.; BOHACENKO, I. **Characterization of different starch types for their application in ceramic processing,** *Journal of the European Ceramic Society*, v.26, p.1301-1309, 2006.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil.** Processo físico químico, ozônio e coagulação/floculação. Engenharia sanitária e Ambiental, v.7, n.1, 2002.

HEREK, L. C. S. **Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico.** Cerâmica Industrial, v. 10, n. 4, p. 41-46, julho/agosto, 2005.

KAMINATA, O. T.; TAVARES, C. R. G.; BENATTI, C. T. **Incorporação de Resíduo Têxtil de Lavanderias Industriais na Fabricação de Blocos Cerâmicos de Vedação,** Cerâmica Industrial, v. 13, n. 3, Maio/Junho, 2008.

LOPES, Diorges C. **ESTUDO DA VIABILIDADE DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE FUMO À MASSA CERÂMICA,** Santa Maria, UFSC, 2005

MONTEIRO, S.N.; ALEXANDRE, J. Margem J.I.; SANCHEZ, R.; VIEIRA C.M.F. **Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic,** Science Direct, Janeiro, 2007.

MOREIRA, A. H. **Efeito da adição de lodo de águas residuais da indústria têxtil as propriedades de materiais de construção.** Cerâmica Industrial, v. 47, n. 303, p. 158-162, 2001.

NBR 7170 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. ABNT, 1983.

- NBR 8041 – **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria** - Forma e dimensões
- NBR 10004 - **Resíduos sólidos – Classificação**. ABNT, 2004.
- NBR 10005 - **Lixiviação de resíduos – procedimento**. ABNT, 2004.
- NBR 10006 – **Solubilização de resíduos – procedimento**. ABNT, 2004.
- NBR 15270-1 - **Componentes cerâmicos**. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. ABNT, 2005.
- NBR 15270-2 - **Componentes cerâmicos**. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural — Terminologia e requisitos. ABNT, 2005.
- NBR 15270-3 - **Componentes cerâmicos**. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural — Métodos de ensaio. ABNT, 2005.
- NBR 15310 - **Componentes cerâmicos, Telhas, Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio**. ABNT, 2005
- NEUMANN, Miguel Guillermo. Interacoes entre corantes e argilas em suspensao aquosa. **Quimica Nova**, Sao Paulo v. 23, n. 6, p. 818-824, , nov./dez. 2000.
- OLIVEIRA, Maria Regina C.; **Caracterização, classificação e reciclagem de resíduo sólido – pó de balão – gerado na industria siderúrgica de ferro Gusa não integrada a carvão vegetal e seu aproveitamento tecnológico na fabricação de tijolos cerâmicos vermelhos para uso na construção civil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Outro Preto, 2002.
- Paixão, L. C. C.. **Aproveitamento do lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha**, Dissertação - (Mestrado em Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, REDEMAT, fevereiro, 2005.
- Pietrobon Carmen L.; Andrade C; Barros, J; Bergamasco R.; e Pietrobon E. **Lixiviação e contaminantes de compostos de lodo-cimento**. *Departamento de Engenharia Química, Maringá, Paraná*, p. 45-52, 2004.
- PROSAB. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**, Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- Rodrigues, G. V.; Marchetto, O. **Análise térmicas**. UFSC, 2002
- SANEPAR. **Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná**, Curitiba: SANEPAR, 1997.
- SANTOS, Pérsio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 3 v.

SCHNEIDER, R. P.; **Poluição do rio cachoeira de Joinville (SC), no período de 1985 a 1995**: Uma proposta para a sua prevenção e correção. Outubro de 1999. Disponível em:

<http://www.buscalegis.ufsc.br/arquivos/polui%E7%E3o%20do%20rio%20cachoeira%20de%20Joinville%20%28SC%29.pdf>. Acesso em dezembro de 2009.

Soares, Roberto A. L. **Influencia do teor de calcárono comportamento físico, mecânico e estrutural de cerâmica estruturadas**. Dissertação de mestrado. UFRN, Natal RN, 2008

STRAZZERA, B.; DONDI, M.; MARSIGLI, M. **Composition and ceramic properties of tertiary clays from southern Sardinia (Italy)**, *Applied Clay Science*, v. 12, p. 247-266, 1997.

TEIXEIRA, S. R. ; SOUZA, S. A. ; SOUZA, N. R. ; ALÉSSIO, P. ; SANTOS, G. T. A. . **Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural**. *Cerâmica*, v. 52, n. 24/02/06, p. 215-220, 2006.

TSUITIYA.M.T. **Biossólidos na Agricultura**, São Paulo: SABESP, 2001.

WEISSE, B.; AFFOLTER, C.; STUTZ, A.; KÖBEL, S.; RIEGER, W. **Influence of residues between metal stem and femoral head on the static fracture load of ceramic implants**, *Journal of Biomechanics*, v.39, p.s122, 2006.

AUTORIZAÇÃO

Nome do autor: Geovane Vieira

RG: 3.923.444

Título da Dissertação: **“Estudo das propriedades física, química e estrutural da cerâmica vermelha com substituição de parte dos agregados por lodo proveniente da indústria têxtil”.**

Autorizo a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, através da Biblioteca Universitária, disponibilizar cópias da dissertação de minha autoria.

Joinville, 18 de março de 2011.



Geovane Vieira