



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BRUNNO FERREIRA ROCHA GUEDES

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE
INDÚSTRIA TÊXTIL VISANDO A APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL NA
CONSTRUÇÃO CIVIL

Orientadora: **Profª Drª CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS**

CAMPINA GRANDE
2012

BRUNNO FERREIRA ROCHA GUEDES

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE
INDÚSTRIA TÊXTIL VISANDO A APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

DISSERTAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia
de Materiais como requisito parcial à
obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAS

Orientadora: **Profª Drª CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS**

CAMPINA GRANDE – PB
2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

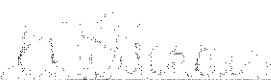
- G924d Guedes, Brunno Ferreira Rocha.
Desenvolvimento de argamassa com incorporação de lodo de indústria têxtil visando a aplicação sustentável na construção civil / Brunno Ferreira Rocha Guedes. – Campina Grande, 2012.
85f. : il., color.
- Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
Orientadora: Profª. Drª. Crislene Rodrigues da Silva Morais.
Referências.
1. Argamassa. 2. Lodo Têxtil. 3. Construção Civil. 4. Comportamento Mecânico. I. Título.

CDU 666.971 (043)

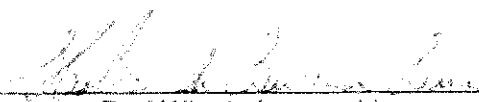
DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE
INDÚSTRIA TÊXTIL VISANDO A APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL NA
CONSTRUÇÃO CIVIL.

Brunno Ferreira Rocha Guedes

Dissertação Aprovada em 16/07/2012 pela banca examinadora constituída dos
seguintes membros:



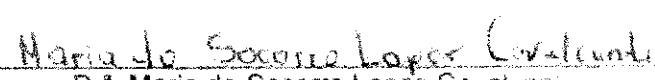
Dr^a. Crislene Rodrigues da Silva Moraes
(Orientadora)
UAEMa/UFCG



Dr. Hélio de Lucena Lira
(Examinador Interno)
UAEMa/UFCG



Dr^a. Diane de Fátima Oliveira
(Examinadora Externa)
UEPB



Dr^a. Maria do Socorro Lopes Cavalcanti
(Examinadora Externa)
UEPB

CAMPINA GRANDE – PB
2012

VITAE DO CANDIDATO

Engenheiro de materiais

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalhos publicados em anais de eventos (completos)

GUEDES, B. F. R.; MORAIS, C. R. S.; ALTIDIS, M. E. D.; LIRA, B. S.; MORAIS, S. R. A. ESTUDO DO EFEITO DA TEMPERATURA NA QUEIMA DE LODO TÊXTIL PARA USO COMO MATERIAL ALTERNATIVO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, In 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2011, Porto de Galinhas. **55º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2011.

ALTIDIS, M. E. D.; MORAIS, C. R. S.; GUEDES, B. F. R.; MAGALHÃES, H. L. F.; RODRIGUES, P. A.; CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LODO DA INDÚSTRIA TÊXTIL PARA USO EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: COMPORTAMENTO TÉRMICO E ESPECTROSCÓPICO, In 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2011, Porto de Galinhas. **55º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2011.

ALTIDIS, M. E. D.; MORAIS, C. R. S.; GUEDES, B. F. R.; RODRIGUES, P. A.; PEREIRA, L. M. S.; AVALIAÇÃO DO EFEITO DA RAZÃO DE AQUECIMENTO SOB A DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DO LODO TÊXTIL, In VII Congresso Brasileiro e III Congresso Pan-Americano de Análise Térmica e Calorimetria, 2012, Campos do Jordão. **VII Congresso Brasileiro e III Congresso Pan-Americano de Análise Térmica e Calorimetria**, 2012.

Trabalhos submetidos para publicação em anais de eventos (completos)

ALTIDIS, M. E. D.; MORAIS, C. R. S.; GUEDES, B. F. R.; RODRIGUES, P. A.; SOUZA, M. A. F. INFLUENCE OF HEATING RATE AND BURNING TEMPERATURE ON THE THERMAL DECOMPOSITION OF TEXTILE SLUDGE, In PTECH 2011, Florianopolis. **PTECH**, 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pai todo poderoso, que me deu a coragem para que eu seguisse em frente com esse novo desafio de tornar-me mestre.

Aos meus pais Erasmo Rocha Guedes e Neuzéte Ferreira Guedes, que me incentivaram durante toda essa caminhada, que me deram todo o apoio que um filho precisa para concluir uma etapa de sua vida.

A minha orientadora, professora Dra Crislene Rodrigues da Silva Morais, que acreditou que eu seria capaz, por todo o apoio que deu durante este projeto, sua ajuda fez toda a diferença.

A professora Dra Djane de Fátima Oliveira, por todas as contribuições dadas para a conclusão desta dissertação.

A minha amiga engenheira, mestra e futura Doutora Marina Altidis, que sempre esteve disposta a me ajudar, e que é uma pessoa inspiradora.

A aluna Vilany Santana, pela ajuda na confecção dos corpos de prova.

Ao meu grupo de pesquisa em resíduos sólidos, pelo companheirismo e apoio na realização do trabalho.

A empresa COTEMINAS e ao SENAI João Pessoa, pelo apoio no fornecimento do lodo para o desenvolvimento desse estudo.

A Márcia, que sempre esteve disposta em nos ajudar nas suas atividades na secretaria da pós-graduação.

Aos meus amigos da Ford Motor Company – Site Camaçari, especialmente a minha supervisora Iohama Loyola, e aos engenheiros José Maia Neto e Danilo Leite, que compreenderam minhas ausências e me suportaram em minhas atividades.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“... mas tenham coragem, eu venci o mundo.” (Jo 16,33)

RESUMO

Devido ao aumento da população mundial, aumenta-se por consequência o consumo. As indústrias produzem num ritmo acelerado, produzindo também uma alta quantidade de resíduos. Muitos desses resíduos são descartados de forma irregular, acarretando prejuízos para as indústrias e para o meio ambiente. Devido a esses fatores, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas, visando o reaproveitamento ou a reciclagem desses resíduos. Um desses resíduos é o lodo proveniente da indústria têxtil, também conhecido como lodo têxtil. Este trabalho de pesquisa teve como objetivo caracterizar e estudar a incorporação de lodo têxtil na composição de argamassas. Foram realizadas as seguintes análises: termogravimetria, espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho, difração de raios-X, análise química, análise granulométrica, e ensaios de resistência à compressão simples. Nas composições de argamassas utilizou-se o traço 1: 2: 9 com os seguintes percentuais de lodo: 0%, 5%, 10%, 15% e 20% com tempos de cura de 7, 14 e 28 dias. Os percentuais de lodo foram adicionados às argamassas como material substituinte do cimento, depois de passarem por tratamento térmico em forno mufla, numa taxa de aquecimento de 10°C/min e tempo de estabilização de 2 horas nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C. Os ensaios de resistência à compressão indicaram que todas as composições de argamassas apresentaram resultados que atendem ao mínimo estipulado pelas normas da ABNT em vigência. Foi observado também que as composições de argamassa com cura de 28 dias e incorporação de lodo têxtil calcinado na temperatura de 600°C, apresentaram os melhores resultados de resistência à compressão simples. Das caracterizações físico-químicas realizadas conclui-se que as matérias primas apresentaram compatibilidade química e estabilidade térmica suficiente para sua incorporação em argamassas.

Palavras chave: Argamassa, lodo têxtil, construção civil, comportamento mecânico.

ABSTRACT

Due to the increase in world population, it increases the effect consumption. The industries produce an accelerated pace, which also produces a high amount of waste. Many of these wastes are disposed of improperly, causing losses to the industries and the environment. Due to these factors, several researches are being developed, aiming at the reuse or recycling of such waste. One of these is the waste from the textile industry, also known as textile sludge. This research aimed to characterize and study the incorporation of textile sludge in the composition of mortars. We made the following analysis: thermogravimetry, vibrational spectroscopy of infrared absorption, X-ray diffraction, chemical analysis, particle size analysis, and testing of compressive strength. In mortars used the feature 1: 2: 9 and the percentages of clay, 0%, 5%, 10%, 15% and 20% with curing times of 7, 14 and 28 days. The percentage of sludge were added to the mortar as substitute material for cement, after undergoing heat treatment in a muffle furnace at a heating rate of 10 ° C / min and settling time of 2 hours at 400 ° C, 450 ° C, 500 ° C, 550 ° C and 600 ° C. The compressive strength tests indicated that all mortars had results that meet the minimum stipulated by the ABNT norms in force. It was also observed that the compositions of mortar to cure 28 days and incorporation of textile sludge calcined at a temperature of 600 ° C showed the best results of compressive strength. Physical-chemical characterizations carried out concluded that the raw materials presented chemical compatibility and thermal stability enough for incorporation in mortar.

Keywords: mortar, textile sludge, civil building, mechanical behavior

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Prédio da Editora Abril.....	27
Figura 2.2	Argamassa de assentamento, aplicação ente blocos.....	38
Figura 2.3	Representação da argamassa de revestimento.....	38
Figura 2.4	Parte da estação de tratamento de efluentes (ETE) da COTEMINAS, decantador secundário.....	40
Figura 2.5	Lodo têxtil gerado nas ETE's.....	41
Figura 2.6	Caminhão sendo carregado de lodo têxtil.....	42
Figura 4.1	Espectro de infravermelho das amostras de lodo tratadas termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C.....	51
Figura 4.2	Curva TG do lodo "in natura" obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de ar sintético.....	52
Figura 4.3	Curvas TG do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtida à razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio.....	53
Figura 4.4	Curva TG do cimento obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio.....	55
Figura 4.5	Curva TG da cal obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio.....	56
Figura 4.6	Curva DTA das amostras de lodo nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtidas usando obtidas à razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio.....	57
Figura 4.7	Difratogramas das amostras de lodos tratadas termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C.....	58
Figura 4.8	Percentual de resíduo após tratamento térmico.....	59
Figura 4.9	Amostras do lodo calcinado a diferentes temperaturas.....	59
Figura 4.10	Curva de distribuição granulométrica da areia.....	61
Figura A1	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 7 dias de cura....	74
Figura A2	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura....	74

Figura A3	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura.....	74
Figura B1	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura..	75
Figura B2	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura..	75
Figura B3	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura.....	75
Figura C1	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura..	76
Figura C2	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura..	76
Figura C3	Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura.....	76
Figura D1	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (a) 450°C, ambos com 7 dias de cura.....	77
Figura D2	Ensaio de força máxima o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura.....	77
Figura D3	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura.....	77
Figura E1	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura.....	78
Figura E2	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura.....	78
Figura E3	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura.....	78
Figura F1	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura.....	79
Figura F2	Ensaio de força máxima o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura.....	79
Figura F3	Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura.....	79
Figura G1	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C,	80

	(b) 450°C, ambos com 7 dias de cura.....	
Figura G2	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (a) 550°C, ambos com 7 dias de cura.....	80
Figura G3	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura.....	80
Figura H1	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura.....	81
Figura H2	Ensaio de tenacidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura.....	81
Figura H3	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura.....	81
Figura I1	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura.....	82
Figura I2	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura.....	82
Figura I3	Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura.....	82
Figura J1	Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 7 dias de cura.....	83
Figura J2	Ensaio de módulo de elasticidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura.....	83
Figura J3	Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura.....	83
Figura K1	Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura.....	84
Figura K2	Ensaio de módulo de elasticidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura.....	84
Figura K3	Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura.....	84
Figura L1	Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura.....	85
Figura L2	Ensaio de módulo de elasticidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura.....	85

Figura L3 Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à
600°C, com 28 dias de cura..... 85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Composição do clínquer do cimento portland.....	29
Tabela 2.2	Classificação das argamassas.....	36
Tabela 2.3	Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.....	37
Tabela 4.1	Resultado da análise química do lodo têxtil sem perda ao fogo.....	50
Tabela 4.2	Principais banda de absorção na região do infra vermelho de lodo seco e das amostras calcinada em diferentes temperaturas em 400 e 4000cm ⁻¹	52
Tabela 4.3	Dados da decomposição térmica do lodo "in natura" com razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de ar sintético.....	53
Tabela 4.4	Dados da decomposição térmica das amostras de lodo seco à 110°C e tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, com razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio.....	54
Tabela 4.5	Dados da decomposição térmica do cimento, obtidos à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio.....	55
Tabela 4.6	Dados da decomposição térmica da cal com razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio.....	56
Tabela 4.7	Estudo granulométrica da areia.....	60
Tabela 4.8	Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 7 dias.....	62
Tabela 4.9	Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 14 dias.....	62
Tabela 4.10	Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 28 dias.....	62
Tabela T1	Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por 7 dias.....	71
Tabela T2	Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por 14 dias.....	71
Tabela T3	Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por	71

	28 dias.....	
Tabela T4	Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 7 dias.....	71
Tabela T5	Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 14 dias.....	72
Tabela T6	Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 28 dias.....	72
Tabela T7	Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 7 dias.....	72
Tabela T8	Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 14 dias.....	72
Tabela T9	Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 28 dias.....	73

SIMBOLOGIA

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEAM	Associação Nacional de Engenharia Ambiental
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSI	British Standards Institute
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
GBC	Green Building Council
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
PET	Politereftalo de etileno
USGBC	United States Green Building Council's

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	19
1 Introdução.....	20
1.1 Objetivos	21
1.1.1 Objetivo geral	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 Sustentabilidade.....	24
2.2 Construções Verdes.....	26
2.3 Reaproveitamento de resíduos sólidos na construção civil.....	28
2.4 Argamassas.....	32
2.4.1 Definição de argamassas.....	33
2.4.2 Propriedades das argamassas.....	34
2.4.3 Classificação das argamassas.....	36
2.5 Lodo têxtil.....	39
3 METODOLOGIA.....	44
3.1 Materiais	45
3.2 Caracterização das matérias primas	45
3.2.1 Análise química (AQ)	45
3.2.2 Espectrofotometria vibracional de absorção no infravermelho (FTIR).....	46
3.2.3 Termogravimetria (TG).....	46
3.2.4 Difração de Raios-X.....	46
3.2.5 Análise Granulométrica (AG).....	46
3.3 Tratamento térmico do lodo têxtil.....	47
3.4 Formulação das Argamassas.....	47
3.5 Ensaios Mecânicos.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Caracterização das Matérias primas.....	50
4.1.1 Análise Química.....	50

4.1.2 Espectrometria Vibracional de absorção no infravermelho (FTIR).....	51
4.1.3 Análise Termogravimétrica TG).....	52
4.1.3.1 Análise Térmica Diferencial (DTA).....	57
4.1.4 Difração de raios-X (DRX).....	58
4.1.5 Tratamento térmico do lodo têxtil.....	58
4.1.6 Análise Granulométrica (AG).....	60
4.2 Ensaios Mecânicos.....	61
5 CONCLUSÕES.....	64
5.1 Perspectivas futuras.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES.....	71

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento das indústrias e desenvolvimento das cidades, vê-se também o aumento da geração de resíduos, de várias naturezas. Junto com essa grande geração de lixo, o descarte dos resíduos também é uma questão problemática. Esse lixo quando lançado ao meio ambiente, pode acarretar inúmeros prejuízos como disseminação e proliferação de doenças, contaminação dos recursos naturais e em casos extremos catástrofes ambientais. Muito se tem feito para a conscientização da população e dos empresários industriais, para a diminuição da emissão de resíduos no meio ambiente.

Devido aos problemas decorridos da geração de resíduos no meio ambiente, o Senado Brasileiro aprovou no dia 7 de julho de 2010, a Lei nº 12.305/2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Trata-se de um marco histórico na área ambiental, capaz de mudar em curto tempo a maneira como o poder público, empresas e consumidores deverão lidar com a questão dos resíduos sólidos.

Dentre os vários motivos para essa preocupação se destacam: a escassez das reservas de matéria-prima; a preocupação com a preservação do meio ambiente, afetada pelo crescente volume de resíduos de várias naturezas descartados e também a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pelo alto preço do petróleo, reciclando ou reaproveitando os resíduos sólidos.

Um resíduo gerado que tem sido alvo de muitos questionamentos devido aos impactos ambientais causados pelo seu descarte, é o lodo têxtil. Este resíduo é gerado nas estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústrias têxteis, e resulta do processo produtivo de tecidos. A composição do lodo têxtil é formada basicamente por água (do processo de fabricação); óxidos de minerais (constituintes de pigmentos de tecido e de substâncias usadas no tratamento de efluentes) e matéria orgânica. Em algumas indústrias, chegam a ser gerados em média 3 toneladas de lodo têxtil por dia, e estes resíduos são descartados no meio ambiente sem o devido tratamento necessário.

Por todos estes problemas, muitas pesquisas estão sendo realizadas buscando alternativas para o reuso desses resíduos, como um recurso sustentável, evitando assim o seu descarte sem tratamento no meio ambiente.

Encontram-se na literatura, vários estudos apontando como alternativa, a incorporação do resíduo têxtil na composição de matérias-primas da construção civil. Dentre os materiais alvos das pesquisas se destacam os concretos e as argamassas.

As argamassas têm em sua composição areia, cimento e cal. Como o lodo têxtil tem em sua composição a presença de óxidos, que são compatíveis com o cimento, a sua incorporação numa argamassa é bastante conveniente.

O desenvolvimento deste material/produto irá trazer benefícios de natureza ambiental e o cumprimento da legislação aplicável à defesa do meio ambiente. Também irá gerar benefícios científicos pelo desenvolvimento de novas técnicas de reaproveitamento de resíduos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades químicas, físicas e mecânicas de diferentes composições de argamassas com a incorporação do lodo da indústria têxtil, visando uma aplicação sustentável deste resíduo na construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar e beneficiar o lodo residual da indústria têxtil provenientes da indústria Coteminas situada no distrito industrial de João Pessoa-PB;
- Tratar termicamente o lodo têxtil nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, seguindo uma taxa de aquecimento de 10°C/min e tempo de estabilização de 2 horas, visando sua incorporação em corpos de prova de argamassas;

- Caracterizar as matérias primas (lodo, cal e cimento) que serão utilizadas na formulação do compósito, através de técnicas físico-químicas tais como: análise química (AQ), análise granulométrica (AG), espectroscopia na região do infravermelho (IR), termogravimetria (TG) e análise térmica diferencial (DTA), e difração de raios-X (DR-X);
- Formular composições de argamassas usando o traço 1: 2: 9, curadas em 7, 14 e 28 dias utilizando o lodo da indústria têxtil como material substituinte ao cimento em percentuais de 5%, 10%, 15 e 20%, e determinar as propriedades físico/mecânicas dos corpos de prova, utilizando as seguintes técnicas: resistência à compressão, módulo de elasticidade, força máxima e tenacidade;
- Analisar a viabilidade técnica para aplicação dessas argamassas na construção civil, com nas normas vigentes da ABNT.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

No cenário atual muito se tem falado sobre sustentabilidade. Este conceito está sendo empregado nos mais diversos setores, industriais, acadêmicos, comerciais e também para a construção civil.

A mais citada definição de desenvolvimento sustentável é um ideal inatingível, elaborado em 1987 pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, que define "desenvolvimento que atende as necessidades da geração presente sem comprometer que as gerações futuras não consigam atender as suas" (WEDDING e BROWN, 2007)

Um estudo realizado pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts, nos Estados Unidos, durante a década de 1960 demonstrou a exaustão de matérias primas e a incapacidade do ecossistema de se recuperar dos altos impactos ambientais causados pela geração de tecnologia. Quatro décadas depois um segundo estudo produzido pela mesma instituição avaliou a deterioração acontecida durante o tempo passado e que infelizmente confirmou as mais pessimistas previsões (MORA, 2005).

Devido ao aumento da população mundial nos últimos anos, a demanda pelas necessidades primárias do ser humano aumenta também na mesma proporção. A expectativa é que a população mundial aumente em mais dois bilhões de pessoas entre os anos 2000 e 2030, e que a maioria desses habitantes estejam em cidades da África, Ásia e América Latina (O'MERA 2002).

O "metabolismo" das cidades é o responsável pelo aumento do consumo em materiais, energia e água (SHIMODA et al., 2000). Segundo O'Mera (2002), aproximadamente 78% das emissões de carbono vem de combustíveis fósseis (derivados do petróleo), que são queimados para virar cimento, e 76% da madeira industrializada no mundo é usada nas grandes cidades, e ainda que 60% da água encanada é consumida nas cidades.

De acordo com o cenário exposto acima, o crescimento urbano e sua infraestrutura irão continuar a produzir o máximo de impacto ambiental no meio ambiente através do consumo de materiais, energia e matéria prima (MORA, 2005). Com isto o número de construções deve aumentar progressivamente, mas se deve

estar atento ao paradigma da sustentabilidade, demandar um aumento da durabilidade do que se está sendo construído visando minimizar o impacto ambiental.

Segundo Mora (2005), sustentabilidade pode ter um significado econômico, quando um negócio pode ser sustentavelmente gerenciado se for explorado sob um período de tempo indefinido. Tomando como exemplo a exploração de uma mina, esta pode ser insustentável se for explorado até se esgotarem os minérios em seu solo. Por outro lado a exploração de madeira pode ser sustentável se for calculada a quantidade de madeira produzida por ano e retirada apenas uma certa quantidade (montante igual ao que é produzido a mais).

A sustentabilidade aplicada a construções pode ser definida de várias maneiras (DOUGHTY et al., 2004). Por um lado, pode se referir a cada processo de construção, como também ao objeto a ser construído. Na verdade, a construção envolve o consumo de matérias primas, materiais, energia e o uso da terra sobre a qual a estrutura é estabelecida.

Em termos absolutos sustentabilidade, deveria ser somente possível quando as construções utilizassem apenas energias vindas de recursos renováveis e materiais renováveis, ou materiais reciclados de resíduos de construções.

O conceito de construção sustentável (UREN et al., 2000 e HENDRIKS,2000) tem sido usado para caracterizar uma construção que inclui critérios ambientais no conceito do projeto, na maneira de construir, na manutenção e quando necessário no processo de demolição.

Metha (2001) afirma que apenas 6% de toda a matéria prima utilizada pelo homem se torna produto usável, todo o restante se retorna para a natureza em forma de resíduos perigosos e inconvenientes, poluindo o ambiente.

A forma mais eficiente para a construção se aproximar da sustentabilidade é a primeira reutilizar resíduos de atividades industriais, bem como melhorar a durabilidade das obras. Ambas as alternativas podem ser ligadas em conjunto como, por exemplo, a utilização de materiais residuais como cinzas volantes e escórias de ferro, como substitutos de cimento na produção de concreto, aumentando a durabilidade do concreto simultaneamente atendendo aos dois objetivos.

A utilização de produtos fabricados com resíduos em construções não constitui somente como uma resposta racional para a melhoria da questão ambiental para as indústrias, mas também como uma necessidade, e como tal tem sido

implementada em países que tem falta de matéria prima, como por exemplo, Holanda e Japão (BARKER, 2000).

Resíduos de construções podem ser usados por razões econômicas quanto também por razões morais. Na Alemanha foram usados cascalhos de cidades devastadas na guerra mundial em novas construções. O uso de cascalhos em construções também se deu em Barcelona, no ano de 1992 com o intuito da realização dos Jogos Olímpicos na cidade (MORA, 2005).

2.2 CONSTRUÇÕES VERDES

Construções verdes podem ser definidas como aquelas onde se tem um baixo custo operacional, consumo de recursos reduzidos, ambiente de trabalho saudável e redução de resíduos (WEDDING, BROWN 2007), também conhecidas como construções de alto desempenho e ecologicamente responsável.

Uma outra definição de construções verdes foi elaborada por Fischer (2010) que define construções verdes como sendo praticas integradas de construções que significativamente reduzem impacto ambiental das construções em comparação com as práticas convencionais.

A indústria da construção é responsável por 7% da emissão global de CO₂. Isso se deve a grande produção de concreto (aproximadamente 1kg de CO₂ para cada quilo de cimento), e se estima que 2 milhões de toneladas de concreto sejam consumidas ao ano durante esta década (MORA, 2005).

A necessidade por construções verdes se dá pelo alto consumo de recursos naturais que a população mundial demanda como necessidade. Nos Estados Unidos essa necessidade é demonstrada pelo impacto ambiental significativo causado pelos 4,7 milhões de prédios comerciais e 116 milhões de residências, que incluem o uso de 12% de novas fontes de água, 88% do abastecimento de água potável, 40% de matérias-primas, 37% de toda a energia e 68% de toda eletricidade (WEDDING e BROWN 2007).

De acordo com a ANEAM (2012), o Brasil é o 4º colocado no ranking em número de edifícios com certificados de edifício verde. Com dados atuais o Brasil, começa o ano de 2012 com 42 empreendimentos certificados e 441 em busca do

selo verde. Com isso o Brasil fica apenas atrás dos EUA, China e Emirados Árabes, respectivamente (ANEAM 2012).

Dos edifícios brasileiros certificados com o selo verde, destaca-se o prédio da Editora Abril, localizado na cidade de São Paulo, que pode ser visualizado na Figura 2.1

Figura 2.1 – Prédio Editora Abril



Fonte: GBC – Brasil (2012)

O Conselho de Construções Verdes dos Estados Unidos (USGBC) é o responsável por conceder selos de construções verdes, conhecidos como LEED - Leadership in Energy and Environmental Design (Liderança em projeto ambiental e de energia).

Tomando como exemplo os Estados Unidos, existem pelo menos sete órgãos federais e 54 cidades e alguns estados, onde existem pacotes de incentivos para construções verdes (WEDDING, BROWN 2007).

Devido ao impacto causado na economia, sociedade e meio ambiente o aumento de construções sustentáveis tem se tornado um ponto chave para os países que pretendem alcançar o desenvolvimento sustentável. No Reino Unido esta abordagem foi expressa como uma construção é sustentável quando esta procura corrigir as falhas da indústria da construção. Assim, tornar-se sustentável é estar

preocupado com a eficiência, o dinheiro aplicado, o lucro e o valor do investimento, pois se trata de ajudar a sociedade e proteger o ambiente, e existe um consenso crescente para as vantagens competitivas para as empresas que tenham uma abordagem sustentável (HOLTON et al., 2010).

Consequentemente a indústria da construção sofre agora uma forte pressão de várias partes interessadas, incluindo legisladores, consumidores, clientes e investidores que desejam se tornar mais sustentáveis.

Wedding e Brown (2007) destacaram a importância da revitalização de áreas antes ocupadas por indústrias (em geral o termo usado para essas áreas é "brownfield"), com edificações verdes, pois as construções verdes tem um importante fator no sucesso de revitalizações.

2.3 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Devido à grande geração de resíduos e ainda a falta de tecnologia adequada para um descarte seguro, a pesquisa de alternativas para a diminuição dos impactos causados e também a redução do descarte dos mesmos, tem se tornado um novo tema de muitos estudos na construção civil.

Um dos objetivos das pesquisas com resíduos sólidos é a diminuição da atividade de extração das matérias primas do meio ambiente, visto que hoje muitos recursos naturais estão comprometidos pela ação predatória do homem.

A vantagem de se utilizar resíduos como matéria prima é a quantidade gerada, na maioria dos casos, muito alta proporcionando uma nova fonte abundante de matéria prima. Dessa forma, a cada dia vem aumentando o número de oportunidades para a introdução de materiais sustentáveis na construção civil.

Já há algum tempo, muitos cientistas vem incorporando vários tipos de resíduos aos materiais de construção. Como exemplo, Raut et al., (2011), citam que foram estudados à adição de massa para fabricação de tijolos, resíduos como bituca de cigarro, resíduo do processamento de papel, lodo têxtil, isopor, fibras plásticas, resíduo de algodão, cinzas volantes, lama seca de estação de tratamento de efluentes, cinza de casa de arroz, escória de alto forno, resíduo de produção de papelão, resíduo de calcário, serragem, resíduos de fabricação de chá, lodo de estação de tratamento de efluentes de petróleo e escória de solda.

Halil e Turgut (2008) investigaram o potencial do uso de resíduo de algodão combinado com cal, visando a produção de um novo material compósito leve e de baixo custo. As propriedades físicas e mecânicas desses compósitos com alto teor de resíduo de algodão foram testadas. Obteve-se resultados de resistência a compressão, à flexão e absorção de água que atenderam à normas internacionais como BS1881, BS 6073 e ASTM C 67-03.

Um material alvo de estudo foi o clínquer do cimento portland. O clínquer do cimento portland é composto de rochas calcárias e argilas, tem em sua constituição quatro fases principais: alita (silicato tricálcico), belita (silicato bicálcico), a fase aluminato e a fase ferrita. Pode-se ver na Tabela 2.1 a composição química do clínquer de cimento portland.

Tabela 2.1 – Composição do clínquer do cimento Portland

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO ₂
66,4%	21,9%	5,7%	3,2%	1,2%	0,4%	0,2%	0,5%	0,3%	0,2%	0,1%

Fonte: Arruda et al., (2007)

Arruda et al., (2007), estudando a composição química do cimento portland, pode observar a compatibilidade química do lodo têxtil com o cimento portland.

Com isso pode-se concluir que resíduos de diferentes naturezas vem sendo estudados como alternativa de material sustentável. Na maioria dessas pesquisas a introdução desses resíduos se dá pela necessidade de se encontrar um novo fim para aqueles que não seja o descarte no meio ambiente ou o depósito em aterros sanitários.

Além disso, os resíduos adicionados aos materiais podem atuar como materiais aditivos (proporcionando uma nova propriedade ao material) ou apenas como um material de carga (evitando o descarte do resíduo no meio ambiente).

Detomi et al., (2011), estudou a adição de partículas de PET na composição de compósitos cimentícios, com o objetivo de investigar a interferência nas propriedades mecânicas. Essa partículas tiveram tamanhos de 2, 4 e 6 mm e porcentagem de 5% e 15%. Foi verificado que houve uma redução das propriedades mecânicas em função do aumento do percentual e do tamanho das partículas de PET. Assim pode-se concluir que o uso das partículas de PET em compósitos cimentícios fica indicado em aplicações não estruturais.

Freire et al., (2011), pesquisou a adição de resíduos de itabirito, uma rocha constituída principalmente por camadas intercaladas de sílica e hematita à argamassas. O objetivo do estudo foi de verificar a resistência à compressão de corpos de prova de argamassa com dois diferentes tipos de cimento, CPV e CPlI. Os resultados mostraram que o resíduo adicionado não afeta a resistência em argamassas confeccionadas com cimento CPlI, mas a resistência aumenta quando os corpos de prova são à base de cimento CPV.

A utilização de resíduos de corte de granito e resíduos da construção civil foi estudada como uma alternativa viável para a fabricação de argamassas. Foi constatado que em teores de até 50% pode ocorrer a atividade pozolânica, proporcionando aumentos significativos na resistência à compressão simples das mesmas (MENEZES et al., 2009).

Souza (2008) estudou a durabilidade de argamassas com adição de cinza de casca de arroz. Foram confeccionados corpos de prova com percentuais de cinza de 3%, 6%, 9%, 15%, 20% e 30%, em substituição ao aglomerante e 10%, 20% e 30% em substituição ao agregado miúdo. Ambos foram feitos nos traços 1:4, 1:6 e 1:8. No estudo não foi encontrado uma influência na durabilidade das argamassas em relação a presença da cinza da casca de arroz, foi percebido pelos resultados dos ensaios mecânicos que os corpos de prova com cinza de casca de arroz, apresentaram resultados dentro das normas ABNT mas abaixo dos valores dos corpos de prova convencionais, desse modo comprovando a viabilidade da utilização cinza de casca de arroz.

Foi estudada a utilização de lodos de esgotos para a confecção de tijolos cerâmicos que buscou identificar a dosagem máxima de lodo neste tipo de produto. Foram feitas composições com percentuais de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% de resíduo. A dosagem de lodo foi relacionada a um aumento na porosidade dos tijolos cerâmicos. Os tijolos que tiveram maior percentual de lodo em sua composição foram os que tiveram os piores resultados em suas propriedades mecânicas. Foi constatado que os tijolos com 5% de lodo perderam em média cerca de 45% de sua resistência à compressão quando comparado com o tijolo de referência, já o tijolo com o maior percentual de lodo, teve uma redução de 90% da sua resistência à compressão quando comparado ao tijolo de referência. (DUARTE 2008).

Recentemente, o lodo têxtil tem sido utilizado como um material alternativo na formulação de materiais de construção. A grande maioria desses trabalhos faz o uso dos resíduos em bases de traços, sempre em porcentagens que vão de 5% até 30%. Esses estudos buscam a incorporação do lodo têxtil na composição de argamassas e blocos cerâmicos flexão (ASPIRAS e MANALO, 1995).

Estudos indicaram que a adição de retalhos de indústrias de tecidos na fabricação de materiais alternativos. Nesse estudo, os retalhos de uma indústria têxtil, foram adicionados a cimento e água com o objetivo de se ter um material compósito, em forma de blocos, mais leve que o concreto e de baixo custo. Os retalhos foram adicionados ao cimento com dimensões de 2 a 6 cm com proporção cimento-retalho de 1:3, 1:4 e 1:5, em peso, e proporção de água variando de 0,53 a 0,85. Os resultados dos ensaios realizados indicaram que os blocos que foram confeccionados com retalhos maiores tiveram uma maior resistência a tração, que os outros. Foi observado também que a razão retalho-cimento variou inversamente com os resultados de resistência à tração e à flexão (ASPIRAS e MANALO, 1995).

Foram realizados estudos comparativos na adição de lodo têxtil em diversos materiais de construção, que mostraram que traços de até 30% de lodo eram possíveis para a fabricação de materiais de construção não estruturais (BALASUBRAMANIAM, 2006)

Arruda et al., (2007) procurou verificar a compatibilidade entre a composição química do lodo têxtil e da matéria prima do clínquer de cimento portland. Foram realizados experimentos em laboratório, através da fabricação de clínqueres substituindo percentuais de 1%, 2%, 3% e 5%, de farinha crua de lodo têxtil. Depois das amostras serem caracterizadas por difração de raios-x e análise térmica diferencial, verificou-se que a adição de lodo na matéria-prima não interferiu significativamente na sua composição e diminuiu sua temperatura de clinquerização, gerando uma economia energética.

Musse (2007) estudou a inclusão de cinza lodo de ETE na confecção de argamassas. Neste estudo a cinza calcinada em temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, foi introduzida em percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% em traços de argamassas. Foi observado que para os corpos de prova com percentuais de 5% e 10%, atingiram-se os valores próximos aos de uma argamassa de referência. Assim se conclui que se torna viável o uso de adições de até 10% de cinza de lodo de ETE em substituição ao cimento portland.

2.4 ARGAMASSAS

Desde muito cedo o homem evolui de acordo com a necessidade do uso de materiais a sua volta. A busca por novos materiais se dá pela necessidade de se adequar a uma situação onde os materiais antes usados não têm mais a mesma eficiência. Isso não é diferente no caso dos materiais de construção. Durante toda a história do homem, podemos ver a busca por um local de moradia, construído ou adaptado das mais diversas situações. O homem pré-histórico vivia em cavernas (idade da pedra, paleolítico), depois evoluiu para construções em palafitas (neolítico, idade da pedra lascada), já na idade dos metais o homem já começava a construir suas primeiras edificações.

Os primeiros materiais usados em construções foram rochas (mármore, granito) estas na grande maioria das edificações, eram cortadas para serem unidas através de encaixe como peças de quebra cabeça. Muitos templos greco-romanos foram construídos por essa técnica.

Devido a essa necessidade de se construir, era necessária a produção de novos materiais. Muitos desses materiais foram descobertos pelo acaso. É atribuída ao povo grego a descoberta dos primeiros materiais cimentantes, tufo vulcânico encontrados na ilha de Thera. Esse material vulcânico quando misturado a cal e areia resultavam em argamassas de alta resistência mecânica e apresentavam capacidade de endurecimento (MORAIS, 1992).

Os povos romanos também tiveram um favorecimento ambiental ao usar cinzas vulcânicas para construção de estradas (MORA, 2005). Assim os romanos fabricaram um concreto que funcionava como o cimento dos dias de hoje, fazendo com que algumas estradas construídas no tempo do Império Romano ainda existam até hoje. Devido a esse fato, é muito comum em vários países europeus a expressão "todas as estradas levam a Roma".

Ainda na Roma antiga, além das cinzas vulcânicas serem adicionadas na preparação das argamassas, diversos materiais também foram utilizados. Podemos citar como exemplo borra de azeite, ovos, cera de boi, cerveja, urina e até sangue de boi que também tinha a função de colorir a cal (ALVAREZ, SEQUEIRA e COSTA, 2005). Esses materiais tinham o objetivo de conferir, aderência e impermeabilidade às argamassas.

No caso das argamassas, também se atribui seu descobrimento em diferentes épocas. Alguns pesquisadores apontam a descoberta das primeiras argamassas na localidade de Yftah´el, Galileia, hoje estado de Israel, um piso polido de 180m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, que tem data estimada de produção em 7000 a.C. e 9000 a.C. (CASAREK 2010).

O segundo registro mais antigo do uso de argamassas é de 5600 a. C., em uma laje de cerca de 25cm de espessura, também executada com argamassa de cal, no pátio da vila de Lepenske-Vir hoje Iugoslávia. A partir daí existem vários registros do emprego de argamassas de cal e gesso pelos egípcios, gregos, etruscos e romanos (CASAREK 2010).

2.4.1 Definição de argamassa

Segundo a norma ABNT NBR 13281-2001, argamassa é definida como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria.

Outra definição de argamassa foi dada por Rocha (2005), que define argamassas como sendo constituídas por material ativo, a pasta, e material inerte, o agregado miúdo. A pasta é uma mistura do(s) aglomerante(s) com a água e é responsável pela ligação dos grãos de areia entre si, a fim de formar um todo homogêneo.

As argamassas mais comuns tem em sua constituição cimento areia e água. Em alguns casos também se adiciona materiais como saibro, argila, caulim, e outros com intuito de obter propriedades especiais (CASTRO, 2008).

Uma argamassa com qualidade deve ter todos os grãos do material inerte (agregado miúdo) envolvido e aderido pelo material ativo (a pasta) e os espaços entre os grãos do agregado miúdo devem ser preenchidos pela pasta (CASTRO 2008).

2.4.2 Propriedades das argamassas

Atualmente podemos ver os mais diversos tipos de materiais sendo adicionados às argamassas em substituição parcial aos aglomerantes e agregados tradicionais. Esses materiais são em sua maioria resíduos de processos, que estão sendo usados com o intuito de isolar resíduos perigosos do meio ambiente e também conferir melhoria nas propriedades das argamassas.

A partir das décadas de 1970 e 1980, a produção de argamassas passou por uma revolução com a descoberta de aditivos plastificantes e superplastificantes (de natureza orgânica e inorgânica) que deixavam as argamassas com porosidades e propriedades mecânicas diversificadas. Por aumentarem a fluidez do material, tornando mais fácil a trabalhabilidade, esses aditivos permitem a incorporação de outros materiais que potencializam a resistência original do cimento (COIMBRA e MORELI, 1999).

Ao se escolher uma argamassa, devem ser levados em consideração os seguintes fatores (PATTON, 1978):

- Resistência da argamassa – garantir que sejam absorvidas as deformações naturais as quais a alvenaria estiver sujeita, selar juntas.
Freire et al., (2011), pesquisou a influência do tipo de agregado (resíduo de mineração e areia de rio) e o cimento (CP II e CP V) usado na confecção de argamassas, concluindo que ambos interferem na sua resistência final;
- Penetração de água e das chuvas – integrar os sistemas de vedação das construções contribuindo com funções como estanqueidade e ação contra o intemperismo.
Musse (2007) constatou que a absorção de água em argamassas confeccionadas no traço 1:3 com percentuais de 5%, 10% 15% e 20% de cinza de lodo de ETE aumentava com o aumento do percentual da cinza na composição da argamassa, o que era esperado;
- Interação argamassa/tijolo – garantir a aderência entre a base e o revestimento da argamassa.

Coimbra e Moreli (1999) mostraram que a adição de sílica ativada na composição de argamassas com superplastificantes agia diretamente no endurecimento do cimento, aumentando a formação de silicato de cálcio hidratado, sendo esta substância o componente básico do cimento responsável pelo seu endurecimento;

- **Trabalhabilidade** – facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma ação homogênea.

Rodrigues et al., (2011), pesquisaram a influencia da substituição de percentuais de 10, 15 e 30% de cimento por resíduos de porcelanato e tijolos cerâmicos. Foi estudada a influência desses resíduos no processo de hidratação das argamassas e foi visto que a pega da argamassa não é alterada significativamente;

- **Retenção de água** – manter a trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água de base.

Pereira et al., (2011) estudaram a retenção de água em argamassas formuladas com pó de exaustão de indústria metalúrgica. As argamassas apresentaram retenção de água de 88% a 95% classificadas com retenção de água normal e retenção de água alta.

2.4.3 Classificação das argamassas

De acordo com Carasek (2010) as argamassas podem ser classificadas por vários critérios, os principais estão listados na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Classificação das argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: Casarek, (2010)

A Tabela 2.3 apresenta a classificação das argamassas com relação a sua função na construção civil:

Tabela 2.3 – Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção

Função	Tipos
Para construção em alvenarias	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) • Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de reboco • Argamassa de camada úmida • Argamassa para revestimento
Para revestimento de pisos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de contrapiso • Argamassa de alta resistência
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colantes • Argamassa de rejuntamento
Argamassa de recuperação de estruturas	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de reparo

Fonte: Casarek, (2010)

As argamassas mais usadas na construção civil são as argamassas de assentamento (também conhecida como argamassa de assentamento de alvenaria) e as argamassas de revestimento (também conhecida como argamassa de revestimento de paredes).

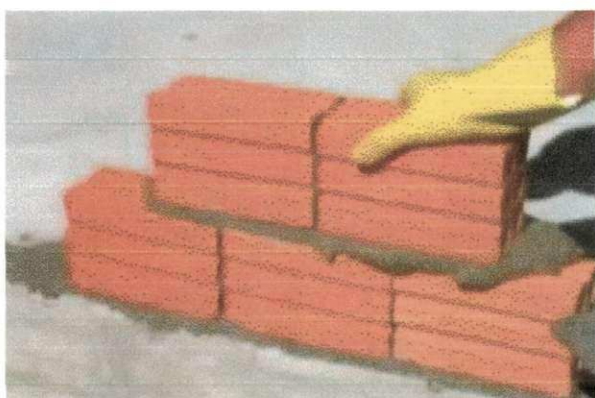
Casarek (2010) define esses dois grandes grupos de argamassas da seguinte forma:

- Argamassas de assentamento:

Tem como função unir os blocos cerâmicos dando estrutura e estabilidade à construção. A argamassa de assentamento de alvenaria é utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos, também chamados de unidades de alvenaria. As principais funções das juntas de argamassa na alvenaria são: unir as unidades de alvenaria de forma a constituir um elemento monolítico, contribuindo na resistência aos esforços laterais; distribuir uniformemente as cargas atuantes na

parede por toda a área resistente dos blocos; selar as juntas garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas; absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica), a que a alvenaria estiver sujeita. Podemos ver na Figura 2.2 um esquema de como a argamassa de assentamento se apresenta numa construção:

Figura 2.2 - Argamassa de assentamento, aplicação entre blocos

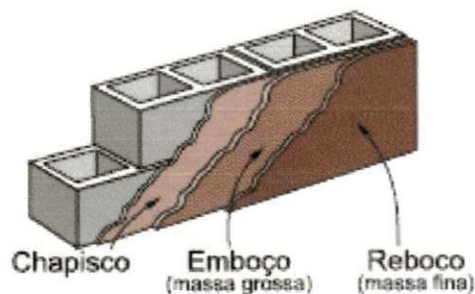


Fonte: Allbiz – Argamassas de assentamento (2012)

- Argamassas de revestimento:

A função das argamassas de revestimento é revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, etc. O revestimento de argamassa pode ser constituído por várias camadas com características e funções específicas, conforme ilustrado na Figura 2.3:

Figura 2.3 – Representação da argamassa de revestimento.



Fonte: Argamassa de Revestimento (2011)

De acordo com a Figura 2.3 o chapisco é a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

O emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo (por exemplo, cerâmica). E o reboco é a camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo (por exemplo, pintura) ou que se constitua no acabamento final.

2.5 LODO TÊXTIL

O lodo têxtil é um material gerado do processo de tratamento de efluentes de indústrias têxteis (ETE). De acordo com a classificação fornecida pela norma NBR 14000, é definido como um material não inerte de Classe IIA. Este resíduo deve ter uma disposição correta devido a sua composição complexa, pois se utilizam corantes nos processos de tingimento, além de soda, polímero, sulfato de alumínio, ferro, cal e produtos utilizados no tratamento de efluentes (HEREK et al., 2005).

Assim sendo, este resíduo não pode ser disposto no meio ambiente, pois além de ter sua composição variada, é solúvel em água, e se colocado em contato com a natureza sem nenhum tratamento pode causar poluição.

A composição química do lodo têxtil é bastante variada, visto que nos processos têxteis e de tratamento de efluentes são usados produtos como: soda, polímeros, corantes, sais ácidos, amido, sulfato de alumínio e ferro, cal, etc, (PRIM et al., 1998).

O lodo têxtil é composto basicamente de água, óxidos de minerais, matéria orgânica e também dos esgotos sanitários da indústria. A água na composição do lodo é proveniente do processo de fabricação de tecidos, os óxidos de minerais presentes vêm da poeira em suspensão no ar e nas instalações da fábrica e do processo de tingimento, onde são usados pigmentos inorgânicos, que quando aplicados em excesso, se desprendem dos tecidos, contribuindo para a formação de resíduos. A matéria orgânica presente se deve as fibras tecidas e a bactérias usadas

nas ETE's. A Figura 2.4 apresenta parte de uma estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil.

Figura 2.4 – Parte da estação de tratamento de efluentes (ETE) da COTEMINAS, decantador secundário.



Fonte: Pesquisa direta, 2011

De acordo com Herek (2005) existem varias formas de se tratar os resíduos sólidos, entre elas estão a solidificação e estabilização. A solidificação consiste em encapsular a resíduos perigosos dentro de uma matriz sólida de grande integridade estrutural. Já a estabilização tem como objetivo estabilizar os resíduos perigosos e transformá-los em materiais menos poluentes.

Segundo Andreoli et al., (2001), o lodo tratado nas ETE's tem como objetivo atender os seguintes requisitos:

- **Adensamento:** visa à remoção de umidade, (diminuição do volume). é mais utilizado nos processo de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percloradores.
- **Estabilização:** remoção da matéria orgânica inibindo o potencial de putrefação do lodo e conseqüentemente, seu potencial de produção de odores, visa também a redução de micro organismos patogênicos

- **Desaguamento:** remoção da umidade (diminuição do volume). os principais objetivos são: redução do custo de transporte para o local de disposição final, melhoria nas condições de manejo do lodo, aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas a preparação para incineração.

Antes de ser encaminhado para o descarte, o lodo é prensado para se retirar o excesso de água. Observa-se na Figura 2.5 o aspecto do lodo têxtil quando prensado ao fim do processo das ETE's.

Figura 2.5 – Lodo Têxtil gerado nas ETE's



Fonte: Pesquisa direta, 2011

Diariamente, são geradas altas quantidades desse resíduo, fazendo com que as indústrias procurem meios adequados para o seu descarte, afetando o mínimo possível o meio ambiente. Estes descartes em muitos casos são realizados em aterros sanitários, causando um impacto ambiental considerável, podendo vir a acarretar danos ao meio ambiente.

Além disso, as indústrias sofrem com os custos elevados desse descarte, que envolvem operações logísticas, (transporte dos resíduos), e manutenção dos aterros sanitários.

Na empresa Coteminas localizada no Distrito Industrial da cidade de João Pessoa-PB, são geradas por dia cerca de 8 toneladas de lodo têxtil. Essa carga, é transportada diariamente em caminhões, como ilustra a Figura 2.6, para serem depositadas em aterros especiais.

Figura 2.6 – Caminhão sendo carregado de lodo têxtil.



Fonte: Pesquisa direta, 2011

Pesquisas indicam que chegam a ser produzidos no estado de Santa Catarina 20 mil toneladas por mês de lodo têxtil (PRIM et al., 1998). Na cidade de Blumenau, 2,5 toneladas por mês são depositadas em aterro sanitário, que vem a se tornar uma questão problemática considerando sua composição química e a quantidade produzida.

Em países como a Índia, em algumas regiões produtoras de tecido, o descarte de lodo têxtil chega a 200 toneladas por dia (FERSI et al., 2005). Essas grandes quantidades de lodo descartadas em cursos de água sem o devido tratamento, acarretam varias problemas ambientais como sólidos em suspensão, alto pH e forte coloração escura.

Balasubramaniam (2006) examinou o potencial do reuso lodo têxtil em materiais de construção, na região sul da Índia. Foram testadas amostras de tijolos com até 30% de lodo em substituição de cimento, seguindo normas ASTM a fim de avaliar a aplicação sustentável estrutural e não estrutural de tijolos. Os tijolos

cimento-lodo não alcançaram a resistência requerida para aplicação estrutural. Já para outras propriedades não estruturais como, pisos e blocos de pavimento os tijolos alcançaram a resistência solicitada (RAUT et al., 2011).

Muitos pesquisadores tem se dedicado a estudar a composição do lodo têxtil. Alguns estudos comprovaram a sua compatibilidade química com os constituintes de matérias primas usadas em materiais de construção. De acordo com os estudos de Arruda et al., (2007), existe a tendência de se adicionar o lodo têxtil calcinado na composição de cimentos portland, por se ter compatibilidade química com o clínquer do cimento. Outros estudos identificaram a adição do resíduo em composição de traços para concretos e também em blocos cerâmicos (FONTES et al., 2003).

Moreira et al., (2001) estudaram a confecção de blocos cerâmicos com adição de lodo com traços de 5% e 10%. O lodo em estudo foi calcinado em temperaturas de 1000°C, 1050°C e 1100°C. Foi observado que a porosidade dos blocos aumentou com o aumento do percentual de lodo na composição, que o acarretou uma diminuição nas propriedades mecânicas dos blocos. Essa porosidade se deve à presença de matéria-orgânica presente na composição do lodo, que se decompõe durante a calcinação do lodo formando vazios na estrutura do bloco. O estudo concluiu que se deve procurar uma proporção adequada de lodo com os outros constituintes de massas cerâmicas para que se tenha sua utilização com eficiência.

Herek et al., (2009) em seus estudos, apresentaram a adição de lodo têxtil em blocos cerâmicos, com traços de 5%, 10%, 15% e 20% em peso. Após a queima, os tijolos foram analisados por meio de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, lixiviação e solubilização. Observou-se nos resultados dos ensaios que a resistência à compressão é inversamente proporcional a quantidade de lodo adicionada, enquanto a absorção de água é diretamente proporcional à mesma quantidade de lodo presente nos tijolos. De acordo com o estudo é possível a fabricação de tijolos de vedação com até 20% de lodo têxtil em sua composição.

METODOLOGIA

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho de pesquisa foram utilizados os seguintes materiais relacionados abaixo:

- Areia normal - Adquirida no comercio de Campina Grande – PB. A areia foi beneficiada através de peneiramento, seguindo a norma ABNT NBR 248;
- Lodo Textil - Proveniente da indústria têxtil Coteminas S.A., localizada no distrito industrial de João Pessoa – PB. O lodo utilizado foi inicialmente secado a 110°C por 24h em estufa com circulação de ar.
- Cal calcítica – da marca Mega O, adquirida no comercio de Campina Grande – PB;
- Cimento Portland CP II F-32 – Da marca ZEBU, adquirido no comercio de Campina Grande – PB;
- Água – Foi utilizada água canalizada proveniente do açude Epitácio Pessoa, da cidade de Boqueirão no estado da Paraíba, fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

3.2.1 Análise química (AQ)

As matérias-primas convencionais foram submetidas à análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais, seguiram metodologia adotada no Laboratório de Análises Mineraias da Universidade Federal de Campina Grande. A análise química forneceu dados essenciais de grande utilidade industrial e científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico- químicas e tecnológicas. As determinações usuais são: perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 , K_2O , MgO , Na_2O e matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.

3.2.2 Espectrometria vibracional de absorção no infravermelho (FTIR)

Os espectros foram obtidos em um espectrofotômetro de absorção na região do infra vermelho com transformada de Fourier Bruker, modelo IF66 na região compreendida entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} . Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.3 Termogravimetria (TG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas em uma termobalança, modelo SHIMADZU TGA-50, em atmosfera de nitrogênio com cadinho de platina, fluxo de 50 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e razão de aquecimento de 100 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, numa faixa de temperatura que variou da ambiente até 900 $^{\circ}\text{C}$. A massa utilizada foi em torno de 4.0 \pm 0.5 gramas. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise térmicas da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.4 Difração de Raios-X

Para a determinação e a quantificação das fases presentes, a cristalinidade e o tamanho do cristalito das matérias-primas foi usado um difratômetro de Raios-X da SHIMADZU, modelo XRD-6000 com radiação utilizada de $K\alpha$ de Cu (40kV/30mA). A velocidade do goniômetro de 2 $^{\circ}/\text{min}$ e passo de 0,02 $^{\circ}$. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.5 Análise granulométrica (AG)

A análise granulométrica é fundamental para uma completa e precisa caracterização das matérias-primas, considerando que os materiais apresentam granulometria diversa, que influencia no processamento e nas propriedades finais do

material. A areia utilizada foi caracterizada pelos procedimentos da NBR NM 248:2003 “Agregados - Determinação da composição granulométrica - método de Ensaio”, que prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. O ensaio foi realizado no Laboratório de Reciclagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal Campina Grande – PB.

3.3 TRATAMENTO TÉRMICO DO LODO TÊXTIL

O lodo foi tratado termicamente em forno tipo Mufla nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, num programa de temperatura de 10°C/ min e tempo de estabilização de 2 horas. A análise foi realizada no Laboratório de Engenharia de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal Campina Grande.

3.4 FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas tem em sua formulação, lodo têxtil, cimento, areia e cal. Elas foram preparadas no Laboratório de Reciclagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal Campina Grande. Foram confeccionados corpos-de-prova do traço convencional e traço com lodo, e corpos-de-prova dos compósitos, conforme o traço de dosagem (a: b: c), assumindo os valores 1: 2 : 9, segundo norma NBR 7200 (ABNT 1982), no qual o cimento é representado por “a”, a cal por “b” e a areia por “c”. Para formulações das argamassas foram utilizados os seguintes percentuais de lodo tratado termicamente, 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Os percentuais de lodo foram sempre incorporados como material substituinte ao cimento que é o material compatível.

3.5 ENSAIOS MECÂNICOS

As argamassas foram submetidas a ensaios de compressão simples, determinação de módulo de elasticidade, tenacidade e força máxima, tomando com referência a norma NBR 7215 (ABNT 1996). As argamassas foram curadas em câmara úmida por 7, 14 e 28 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

4.1.1 Análise Química

A Tabela 4.1 apresenta a composição química do lodo têxtil que foi seco em estufa na temperatura de 110°C por 24h.

Tabela 4.1 - Resultado análise química do lodo têxtil sem perda ao fogo

 Materiais	 Concentração (%)
 SiO₂	86,63
 SO₃	3,36
 MgO	2,85
 CaO	2,67
 Al₂O₃	2,02
 P₂O₅	1,71
 Fe₂O₃	0,40
 K₂O	0,20
 CuO	0,09
 ZnO	0,02
 MnO	0,02
 SrO	0,01

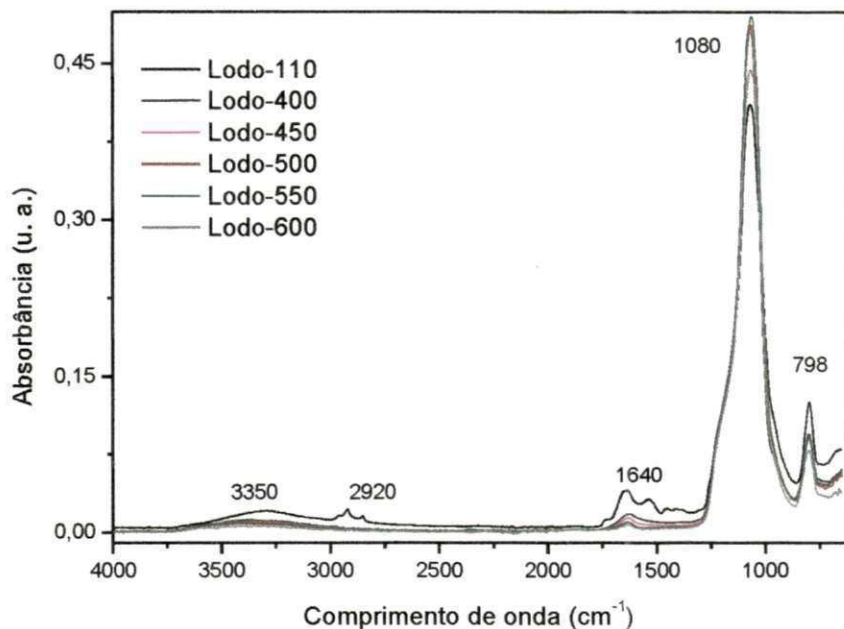
É possível observar na Tabela 4.1 que os óxidos predominantes na composição do lodo têxtil foram SiO₂, SO₃, MgO, CaO e Al₂O₃. A grande quantidade de sílica presente indica a compatibilidade com um dos constituintes do cimento, matéria prima dos materiais de construção.

Outros óxidos metálicos presentes como óxido de alumínio e de ferro são provenientes do processo de floculação e da sua presença em formulações de corantes utilizados em tecidos. Vê-se também a presença de CaO um dos constituintes da cal calcítica. Por essa análise pode-se concluir a compatibilidade química dos constituintes do lodo têxtil com as matérias primas das argamassas.

4.1.2 Espectrometria vibracional de absorção no infravermelho (FTIR)

Na Figura 4.1 pode ser visto a análise de FTIR das amostras de lodo tratadas termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C.

Figura 4.1 – Espectro de infravermelho das amostras de lodo tratadas termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C



Na Figura 4.1 observa-se que a amostra de lodo seca a 110°C apresenta uma banda em 3350 cm^{-1} que é atribuída ao grupo OH. Todas as amostras mostraram um pico intenso em 1080 cm^{-1} que é característico de vibrações Si-O que podem ocorrer na região de 900 à 1100 cm^{-1} .

A partir da banda de 2920 cm^{-1} , foi atribuída a deformação axial de CH e CC, que é encontrada na região de 3000 à 2840 cm^{-1} , e pode ser observado na amostra de 110°C e este fenômeno diminui com o aumento da temperatura de queima do lodo. Também foi observada uma banda em 1640 cm^{-1} que indica deformação do grupo OH. Foi observado nas amostras um pico em 798 cm^{-1} , na frequência de vibração de Si-O-Al. Estes resultados, corroboram com os estudos propostos por Martins (2006).

Na Tabela 4.2 podem ser vistos os eventos ocorridos em cada faixa de temperatura analisada.

Tabela 4.2 – Principais banda de absorção na região do infra vermelho de lodo seco e das amostras calcinada em diferentes temperaturas em 400 e 4000cm⁻¹

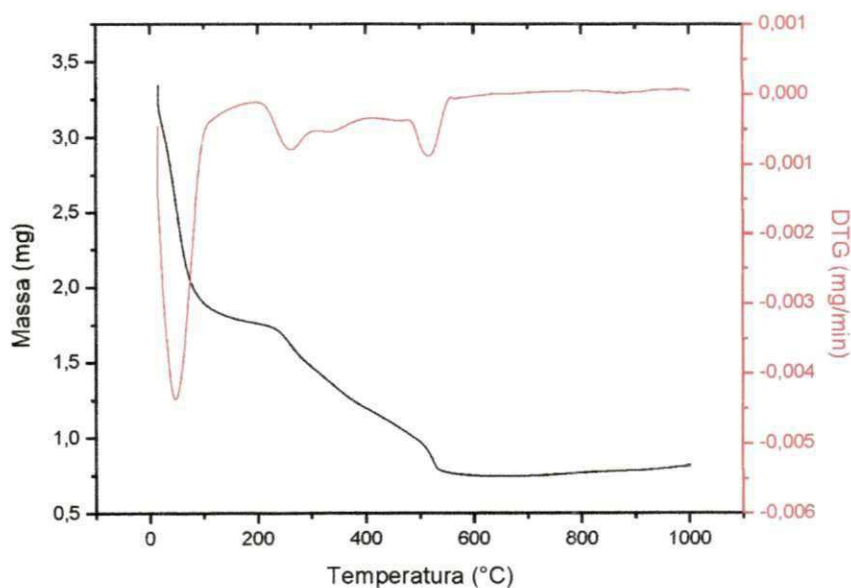
Bandas	110°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
Si-O-Al	798 (m)	798 (m)	798 (m)	798 (m)	798 (m)	798 (m)
Si-O	1080(F)	1080(F)	1080(F)	1080(F)	1080(F)	1080(F)
OH	1640 (f)	----	----	----	----	----
	3350 (f)	----	----	----	----	----
C-H e C-C	2920 (f)	----	----	----	----	----

4.1.3 Análise Termogravimétrica

Foi realizada a análise termogravimétrica com o objetivo de se conhecer o comportamento térmico das matérias primas utilizadas nesse estudo.

Na Figura 4.2 tem-se o resultado da análise termogravimétrica realizada no lodo “in natura”.

Figura 4.2 – Curva TG do lodo “in natura” obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de ar sintético



Pode-se verificar na curva TG do lodo “in natura” que o lodo se decompõe em 3 etapas. A Tabela 4.3 apresenta os dados da decomposição térmica do lodo “in natura”, como: as faixas de temperatura, as temperaturas de pico e a perda de massa por cada etapa.

Tabela 4.3 - Dados da decomposição térmica do lodo "in natura", com razão de 10°C/ min e atmosfera de ar sintético

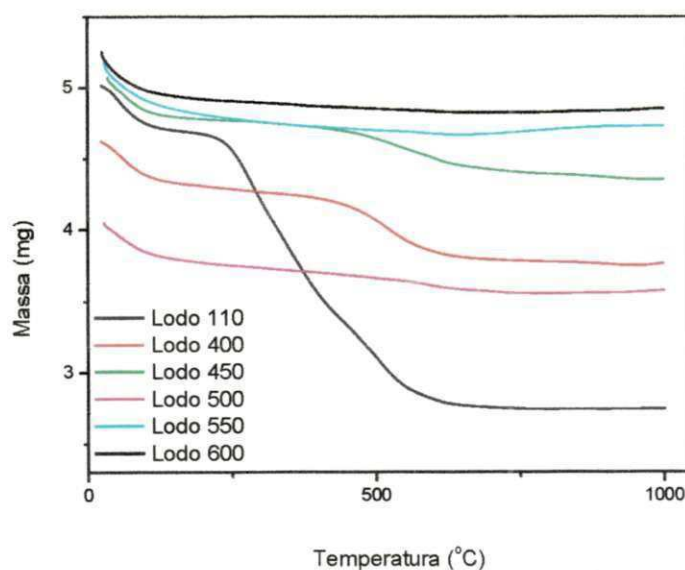
Amostra	Etapas de Decomposição	Faixas de Temperatura (°C)	Temperatura de Pico (°C)	Perda de Massa %	Perda de Massa mg
Lodo "in natura"	1	28 – 76	44,4	44,3	1,5
	2	236 – 307	270,7	16,1	0,5
	3	502 – 534	494,0	13,5	0,4

Nota-se que na 1ª etapa de decomposição o lodo tem uma grande perda de massa (44,3%), provavelmente relacionada ao excesso de água presente no lodo. Já na segunda etapa ocorre uma perda de massa do lodo de 16,1%, a qual pode ser relacionada à presença de matéria orgânica e água de constituição, ocorrendo na faixa de temperatura de 236°C até 307°C.

Já na terceira etapa ocorre uma perda de massa menor e logo após tem-se a estabilização da massa. Pode-se atribuir esta estabilização ao fato de não haver mais presença de matéria orgânica, que possibilita que o lodo seja submetido a temperaturas mais altas.

Foi realizada a análise termogravimétrica do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtidas usando uma razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio. Na Figura 4.3 verifica-se o resultado desta análise.

Figura 4.3 – Curvas TG do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtida à razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio.



Pode ser observado na Tabela 4.4 as etapas de decomposição, faixas de temperatura e perda de massas do lodo estudado. Desses dados, conclui-se que as amostras apresentaram temperatura inicial de decomposição em torno de 29°C, indicando uma baixa estabilidade térmica.

Tabela 4.4 – Dados da decomposição térmica das amostras de lodo seco à 110°C e tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, com razão de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio

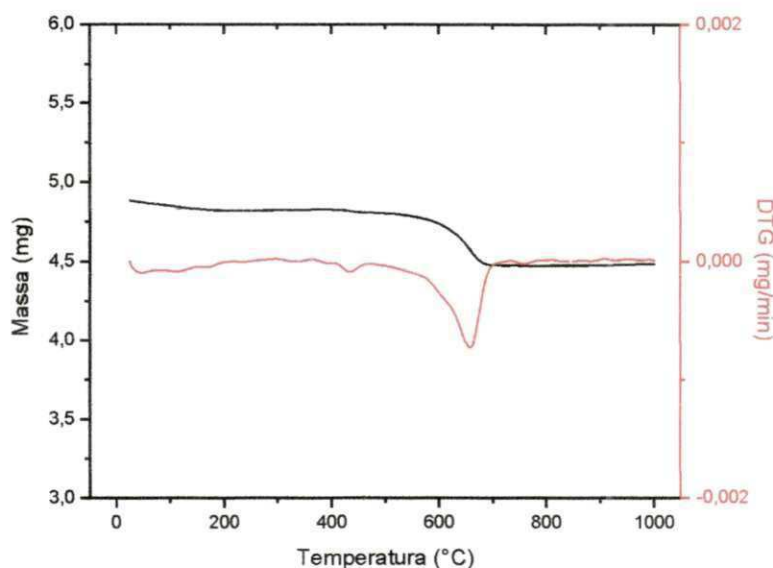
Amostras	Etapas de decomposição	Faixa de temperatura(°C)	Temperatura de pico (°C)	Perda de massa	
				(%)	mg
110	1	22-151	60	6,8	0,23
	2	160-430	308	26,9	1,29
	3	430-665	496	12,4	0,59
400	1	24-219	70	7,5	0,39
	2	231-954	496	13,1	0,67
450	1	36-244	67	5,9	0,30
	2	262-954	547	8,2	0,42
500	1	28-198	64	6,8	0,28
	2	198-779	493	5,4	0,22
550	1	30-221	60	7,2	0,38
	2	221-615	299	2,5	0,13
600	1	26-200	52	5,9	0,31
	2	200-654	371	1,8	0,09

Foi observado para o lodo seco à 110°C que a primeira etapa de decomposição ocorreu na faixa de temperatura de 22°C – 151°C, com perda de massa de 6,8%, que pode ser atribuída à presença de água. A segunda etapa de decomposição foi mais significativa com perda de massa de 26,9% na faixa de temperatura de 160°C – 430°C, que pode ser atribuída a decomposição de matéria orgânica, já a terceira etapa de decomposição na faixa de decomposição de 430 – 665°C apresentou uma perda de massa de 12,4% atribuída a perda de hidroxila com um total de 53,9%.

A amostra tratada termicamente à 400°C apresentou duas etapas de perda de massa, a primeira relacionada a presença de água, que ocorreu na faixa de 24°C – 219°C, com perda de massa de 7,5% e a segunda com perda de massa de 13,1%, relacionada à presença de hidroxila. As outras amostras apresentaram comportamento similar às amostras tratadas termicamente na temperatura de 400°C.

Foi realizada também a análise térmica do cimento utilizado na composição das argamassas. A Figura 4.4 ilustra o comportamento térmico do cimento.

Figura 4.4 – Curva TG do Cimento obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio



Verificam-se na Tabela 4.5 os dados da decomposição térmica do cimento, como: as faixas de temperatura, as temperaturas de pico e a perda de massa por cada etapa.

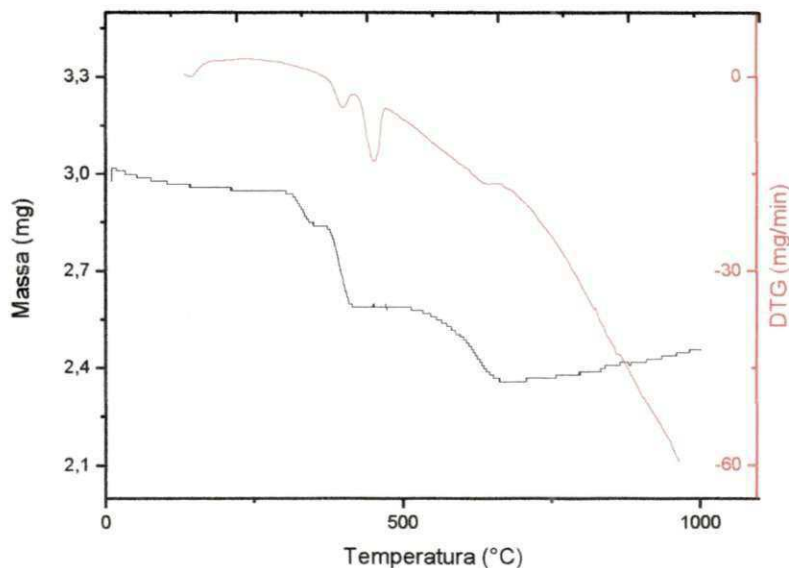
Tabela 4.5 – Dados da decomposição térmica do cimento, obtidos à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio

Amostra	Etapas de decomposição	Faixa de temperatura (°C)	Temperatura de pico (°C)	Perda de massa	
				%	mg
Cimento	1	24 – 202	80	1,1	0,05
	2	406 – 465	433	0,4	0,02
	3	556 – 705	643	6,4	0,31

É observado na primeira etapa de decomposição da curva TG do cimento, uma perda de massa na faixa de temperatura de 24°C – 202°C, atribuída a presença de água de hidratação. A segunda etapa de decomposição, compreendida na faixa de 406°C – 465°C, é atribuída à perda de CO₂. Já a terceira perda de massa, na faixa de temperatura de 556°C – 705°C é atribuída a desidroxilação de argilo-minerais presentes na composição do cimento. Estes resultados afirmam os estudos propostos por Arruda et al. (2007).

A Figura 4.5 apresenta a análise termogravimétrica da cal utilizada na composição das argamassas.

Figura 4.5 – Curva TG da cal obtida à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio



Na Tabela 4.6 são apresentadas as etapas de decomposição da cal, como: as faixas de temperatura, as temperaturas de pico e a perda de massa por cada etapa.

Tabela 4.6 – Dados de decomposição térmica da cal com razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio

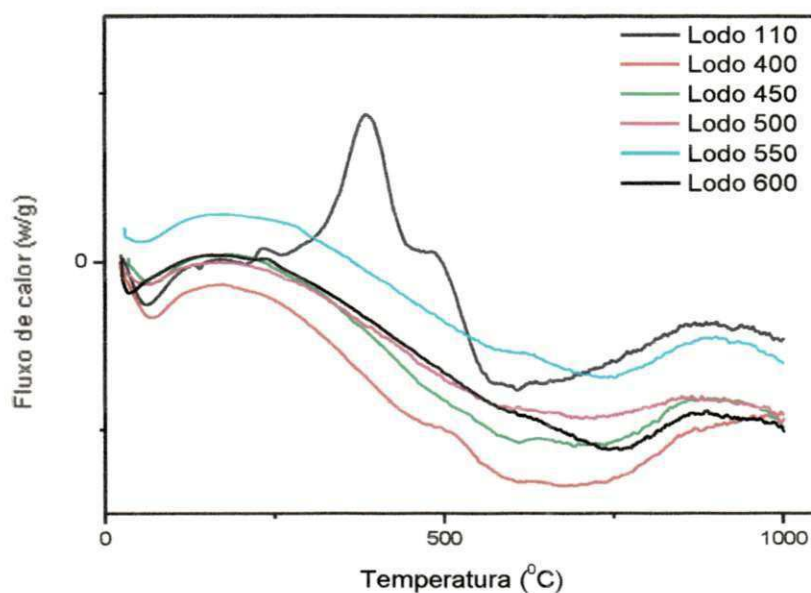
Amostra	Etapas de decomposição	Faixa de temperatura (°C)	Temperatura de pico (°C)	Perda de massa %	Perda de massa mg
Cal	1	316 – 340	328	3,1	0,10
	2	383 – 407	393	7,4	0,25
	3	535 – 630	611	6,9	0,23

Pode-se notar que a primeira perda de massa da cal se dá na faixa de temperatura de 316°C – 340°C, esta perda é referente à presença de $Mg(OH)_2$. Já a segunda fase de decomposição compreendida entre 383°C – 407°C refere-se à presença de $Ca(OH)_2$, enquanto que a terceira etapa de decomposição, compreendida entre 535°C – 630°C refere-se a presença de $CaCO_3$. Estes resultados corroboram com os propostos por Morais (1992).

4.1.3.1 Análise Térmica Diferencial (DTA)

A Figura 4.6 ilustra o resultado da análise térmica diferencial (DTA), realizada nas amostras de lodo, nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtidas usando uma razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio.

Figura 4.6 – Curva DTA das amostras de lodo nas temperaturas de 110°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, obtidas à razão de aquecimento de 10°C/ min e atmosfera de nitrogênio

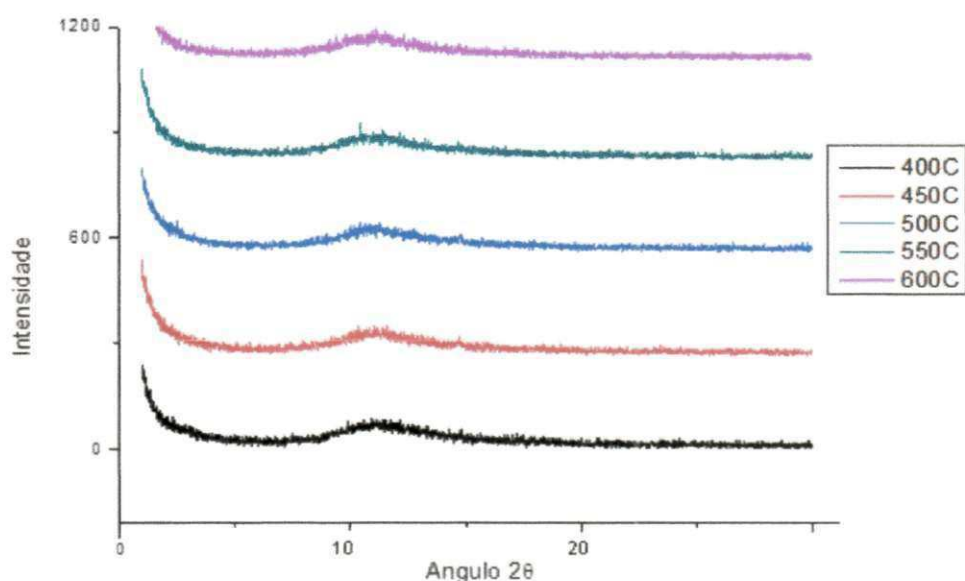


De acordo com a Figura 4.6 as amostras identificaram duas bandas endotérmicas, a primeira com máximo por volta de 65°C, que pode ser atribuída à presença de água e a segunda com máximo por volta de 650°C que pode ser atribuída à presença de OH. Entretanto o lodo seco à 110°C também apresentou duas outras bandas exotérmicas com máximo em 365°C e 495°C, que estão provavelmente relacionadas á oxidação e decomposição de matéria orgânica presente no lodo.

4.1.4 Difração de raios-X (DRX)

Pode-se observar na Figura 4.7 os difratogramas das amostras do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C.

Figura 4.7 – Difratograma das amostras de lodo tratadas termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C



É notada uma banda, caracterizada pela ausência de picos bem definidos. A banda principal pode ser observada na faixa entre os ângulos de 12° e 15°, onde esta pode ser atribuída a presença de sílica amorfa, em 13,9° aproximadamente. Estes resultados corroboram com os obtidos por Santos (1980).

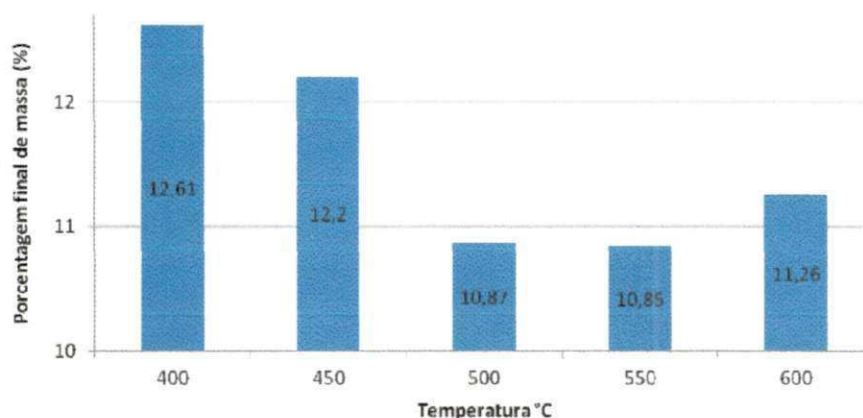
Dos difratogramas apresentados, vê-se que o comportamento do lodo é praticamente o mesmo para todas as amostras estudadas. Sendo assim, pode-se concluir que o programa de temperatura não causou mudanças estruturais nas amostras.

4.1.5 Tratamento térmico do lodo têxtil

Durante a calcinação do lodo nas diferentes temperaturas, pode-se notar um comportamento em comum. Em média todas as amostras calcinadas em diferentes

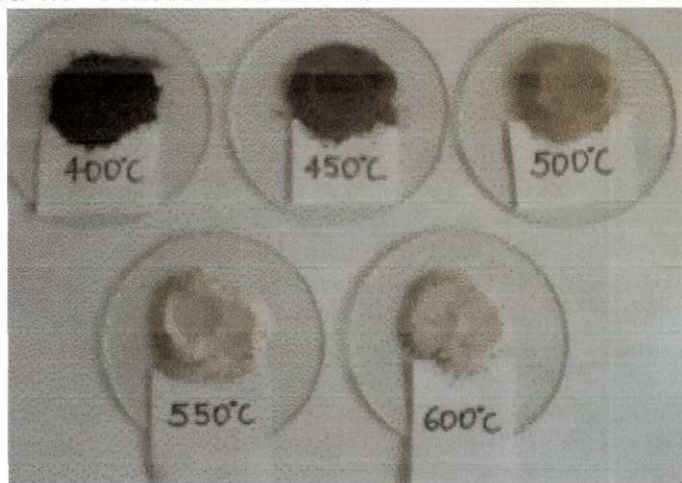
temperaturas, apresentaram uma perda de 88% em massa. Este fato pode ser atribuído a grande quantidade de água e matéria orgânica presente no lodo, como se vê na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Percentual de resíduo após tratamento térmico



O resultado do estudo da calcinação do lodo foi a aparência das amostras após a queima. A Figura 4.9, apresenta a aparência do lodo calcinado em diferentes temperaturas.

Figura 4.9 - Amostras do lodo calcinado a diferentes temperaturas



Fonte: Pesquisa direta, 2011

Observa-se na Figura 4.9 que com o aumento da temperatura de calcinação, obteve-se o clareamento da amostra. As cores do lodo calcinado variam do preto,

até chegar a uma coloração muito clara, quase branca. Esse clareamento pode ser atribuído a perda de matéria orgânica, presente no lodo.

4.1.6 Análise Granulométrica

Foi realizada também a análise granulométrica da areia utilizada na pesquisa. Para isso foi feito um peneiramento, seguindo a norma ABNT 248, com o objetivo de se conhecer em que escala granulométrica estava a areia em estudo.

Na Tabela 4.7, observa-se o resultado da análise granulométrica da areia.

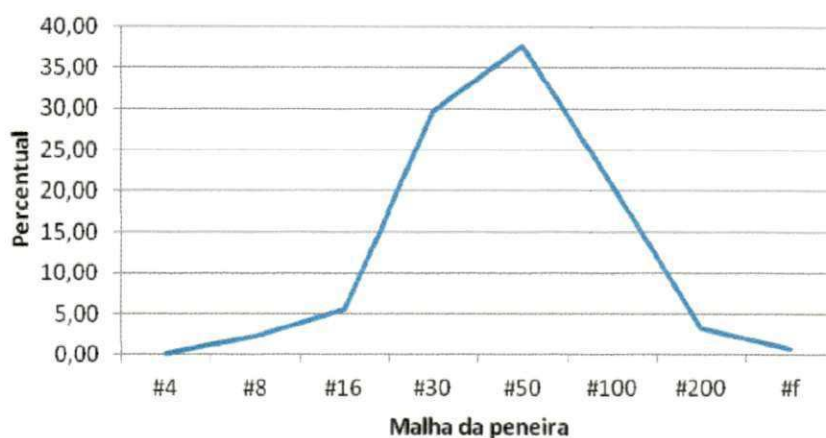
Tabela 4.7 – Estudo granulométrico da areia

Peneiras		Norma ABNT 248 Distribuição	
Nº	mm	Peso Retido (g)	% Retida
4	4,8	1,45	0,15
8	2,4	21,26	2,13
16	1,2	55,10	5,51
30	0,6	297,86	29,79
50	0,3	377,51	37,75
100	0,15	206,98	20,70
200	0,075	32,36	3,24
	Fundo	7,45	0,75
	TOTAL	999,97	100%

De acordo com a Tabela 4.7 a matéria prima possui uma faixa predominante de tamanho e está entre 4,8mm – 0,075. Assim, se conclui pela análise granulométrica que a matéria prima está classificada como areia. Este resultado está em consonância com os estudos de Pinto (1988) que classifica as frações granulométricas de acordo com seus diâmetros equivalentes, seguindo a nomenclatura: pedregulho (76 – 4,8mm), areia (4,8 – 0,05mm), silte (0,05 – 0,005mm) e argilas (< 0,005mm).

Pode-se interpretar melhor, através de uma curva granulométrica, na Figura 4.10:

Figura 4.10 – Curva de distribuição granulométrica da areia



Analisando a Figura 4.10 nota-se que a maior concentração de partículas encontra-se na faixa de 0,6 à 0,15mm. As outras frações granulométricas presentes estão em quantidade bem menor, o que não chega a influenciar na classificação da matéria prima como areia.

4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

Foram realizados ensaios mecânicos em corpos de prova da argamassa, seguindo a norma ABNT NBR 7215 (1996). Os corpos de prova foram confeccionados usando o seguinte traço 1:2:9, (1 parte de cal, 2 partes de cimento e 9 partes de areia). Os percentuais usados na confecção das argamassas foram de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Após tratamento térmico em forno mufla, num programa de temperatura de razão de aquecimento de 10°C por minuto e 2 horas de estabilização nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C, os percentuais de lodo foram adicionados ao cimento, como material substituinte.

Os corpos de prova moldados, tinham peso de aproximadamente 300g e dimensões de 5cm de diâmetro por 10cm de altura, seguindo a norma ABNT 7215 (1996).

Nas Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 podem ser visualizados os resultados de resistência compressão simples dos corpos de prova de argamassas, curadas em 7, 14 e 28 dias respectivamente

Tabela 4.8 – Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 7 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	1,7 MPa	1,7MPa	1,7 MPa	1,7MPa	1,7 MPa
5%	1,5 MPa	1,6 MPa	1,6 MPa	1,6 MPa	1,6 MPa
10%	1,4 MPa	1,5 MPa	1,4 MPa	1,4 MPa	1,5 MPa
15%	1,5 MPa	1,3 MPa	1,3 MPa	1,3 MPa	1,5 MPa
20%	1,2 MPa	1,0 MPa	1,1 MPa	1,3 MPa	1,4 MPa
Desvio padrão	0,18	0,26	0,24	0,17	0,12

Tabela 4.9 – Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 14 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	2,2 MPa	2,2 MPa	2,2 MPa	2,2 MPa	2,2 MPa
5%	2,0 MPa	2,9 MPa	1,8MPa	2,4 MPa	2,3 MPa
10%	1,6 MPa	1,9 MPa	1,6 MPa	1,5 MPa	2,1 MPa
15%	1,5 MPa	1,8 MPa	1,9 MPa	1,9 MPa	1,7 MPa
20%	1,3 MPa	1,6 MPa	1,5 MPa	2,0MPa	2,2 MPa
Desvio padrão	0,37	0,50	0,26	0,33	0,22

Tabela 4.10 – Resultados de resistência à compressão simples dos corpos de prova curados por 28 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	1,2 MPa	1,2 MPa	1,2 MPa	1,2 MPa	1,2 MPa
5%	2,0 MPa	3,0 MPa	1,9 MPa	2,5 MPa	2,4 MPa
10%	2,1 MPa	2,9 MPa	2,6 MPa	2,4 MPa	2,5 MPa
15%	2,1 MPa	3,2 MPa	2,3 MPa	2,5 MPa	2,3 MPa
20%	2,4 MPa	2,1 MPa	1,6 MPa	1,9 MPa	3,1 MPa
Desvio padrão	0,43	0,81	0,56	0,56	0,67

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10, pode se ver que os melhores resultados de resistência à compressão simples são dos corpos de provas curados por 28 dias. Pode ser observado também que a medida que se

aumentou a temperatura de calcinação teve-se também o aumento dos resultados, o que corrobora os trabalhos de Herek (2009).

Esses resultados também identifica que para os corpos de prova com cura de 7 e 14 dias, quando se aumentou o percentual de lodo presente nas argamassas, os resultados de resistência à compressão simples foram diminuindo. Logo, esses dados confirmam os estudos propostos por Musse (2007), e Duarte (2008)

Também se conclui que todos os resultados de resistência a compressão, atingiram valores maiores que 1MPa. Estes dados estão de acordo com a norma ABNT NBR 13279 (1995), onde corpos de prova com até 28 dias de cura devem ter uma resistência a compressão mínima no intervalo $\geq 0,1$ MPa e ≤ 4 MPa.

Um novo dado encontrado foi que nos corpos de prova curados por 28 dias, os melhores resultados foram com os maiores percentuais de 5 – 15%. Os dados apresentados mostram a tendência da melhoria dos resultados com o aumento da temperatura de calcinação e do percentual de lodo, mas sem apresentar uma linearidade. Já na temperatura de 600°C, o melhor resultado foi com o maior percentual de lodo. A argamassa que obteve o maior valor de resistência à compressão foi com 28 dias de cura, 15% de lodo calcinado à 450°C.

Nos apêndices podem ser visualizados os resultados de força máxima, tenacidade e módulo de elasticidade, bem como os gráficos com os resultados dos ensaios mecânicos realizados.

CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

Após a incorporação do lodo têxtil calcinado na composição de argamassas para a construção civil, foi possível concluir que:

- Das caracterizações realizadas com o lodo, pode-se confirmar sua compatibilidade química com os constituintes das matérias primas da construção civil. O lodo têxtil quando tratado termicamente, apresenta uma grande redução de volume, implicando em um produto com alto teor de água e matéria orgânica. Nas análises realizadas não foi detectada a presença de substâncias tóxicas na composição do lodo têxtil;
- As caracterizações térmicas realizadas constataram que tanto o lodo quanto as outras matérias primas usadas na confecção das argamassas apresentaram estabilidade térmica suficiente para sua transformação em um produto da construção civil;
- Dos resultados dos ensaios mecânicos pode-se concluir que as composições de argamassas estudadas atenderam ao mínimo estipulado pelas normas ABNT em vigência. Os resultados das argamassas também confirmaram os estudos anteriores, onde os melhores resultados de resistência à compressão foram encontrados em composições com percentuais de 5 – 15% de lodo calcinado como material substituinte;
- As argamassas com tempo de cura de 28 dias apresentaram os maiores resultados de resistência à compressão, levando a concluir que este seria o melhor tempo de cura a ser empregado;
- Em geral pode-se concluir do estudo a viabilidade técnica da incorporação do lodo têxtil em composição de argamassas, pois as composições de argamassas estudadas atenderam ao mínimo especificado pela ABNT;
- O trabalho também apresenta caráter sustentável, pois dá perspectiva para o reaproveitamento de resíduo e também embasa a pesquisa como um estudo de nova tecnologia para a preservação do meio ambiente;

5.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

- Verificar a toxicidade do lodo têxtil devido a presença de pigmentos orgânicos na composição química do lodo;
- Analisar os gases desprendidos do lodo enquanto da sua queima, visando analisar sua toxicidade;
- Compor traços diferentes de argamassas, com o objetivo de comparar seu desempenho com os traços já estudados;
- Estudar a lixiviação e pega das argamassas através de testes seguindo as normas vigentes da ABNT;
- Direcionar o estudo visando a aplicação das argamassas em funções de revestimento ou assentamento;
- Realizar análises de espectroscopia calorimétrica diferencial (DSC) a fim de verificar alguma transição térmica nas matérias primas;
- Realizar um estudo econômico sustentável que apresente as vantagens de se utilizar o lodo, gerando ganhos mensuráveis na construção civil;

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: **“Classificação de resíduos”**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215 **“Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão”**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279 **“Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão”** Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248:2003 **“Agregados - Determinação da composição granulométrica - método de Ensaio”** Rio de Janeiro: ABNT,
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479: **“Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova”** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. **“Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas”**. 1º Congresso Nacional de Argamassas Industriais, Lisboa – Portugal, 2005.
- Allbiz – Argamassa de assentamento. Disponível em <http://www.br.all.biz/g22239/> acesso em 12 maio 2012.
- ANEAM – Associação Nacional de Engenharia Ambiental. Disponível em http://www.aneam.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=464:brasil-e-4o-colocado-no-ranking-de-paises-com-qedificios-verdesq-certificados&catid=42:externas&Itemid=221 Acesso em 11 Fev 2012
- Argamassa de revestimento. Disponível em: <http://www.fazfacil.com.br/> Acesso em: 18 dez. 2011.
- ARRUDA, S. M., NEGRI, R., GEMELLI, E., CAMRAGO, N. H. A. **Influência da adição de resíduos industriais de tinturarias têxteis na composição de clínquer de cimento portland.**, in 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007.
- ASPIRAS, F. F.; MANALO, J. R. I. **“Utilization of textile Waste Cuttings as Building Material”**. Journal of Materials Processing and technology, Elsevier, 1995.
- BALASUBRAMANIAN, J.; SABUMON, P. C.; JOHN, U.; ILANGOVAN, R. **“ Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials”**. Waste Manf, 2006.

BARKER, L. **"Sustainable construction practices Sustainable building 2000 & Green building challenge 2000"**. October Maastricht NL. Aeneas technical Publishers, 2000.

BAUER, L. A. **Materiais de Construção – Novos materiais para Construção Civil**. Vol1, 5ª edição revisada, LTC Editora, 2010.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 7ª edição, LTC Editora, 2008.

CASAREK, H. **Argamassas – capítulo revisado e ampliado**. In ISAIAG (org) **Materiais de Construção Civil**, 2ª edição, São Paulo. IBRACON, 2010.

COIMBRA, M. A.; MORELLI, M. R. **"Desenvolvimento de argamassas microporosas para a construção civil"**. Revista Cerâmica vol 45, nº 296. São Carlos, 1999.

DETOMI, A. C.; LAUAR, D. F.; PASSOS, L. A.; PANZERA, T. H.; VELLOSO, V. R. **"Efeito da adição de partículas de PET nas propriedades físico-mecânicas de compósitos cimentícios"**. 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas – Brasil, 2011.

DOUGHTY, M. R. C, GEOFFREY G. P., HAMMOND, P. **Sustainability and the built environment at and beyond the city scale**. Building and Environment 2004;39(10):1223–33.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição do resíduo**. Dissertação em Engenharia Sanitária, UFRN, 2008.

FISCHER, E. A. **"Issues in Green Building and the Federal Response: An Introduction"**. Congressional Research Service, USA – 2010.

FERSI, C., GZARA, L., DHAHBI, M. **"Treatment of textile effluents by membrane technologies"**. Desalination nº185, Elsevier, 2005

FREIRE, C. B.; PEREIRA JÚNIOR, S. S.; TELLO, C. C. O.; LAMEIRAS, F.S. **"A influência do tipo de agregado e do cimento na resistência a compressão de argamassas preparadas com resíduo de mineração e areia de rio"** 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas – Brasil, 2011.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento portland**. Dissertação COPPE, Engenharia Civil, 2003

GARCIA, A., SPIM, J. A., SANTOS, C. A., **Ensaio dos Materiais**. Editora LTC, 2000.

GBC – Brasil. Disponível em www.gbcbrazil.org.br Acesso 13 Abril 20112.

HALIL, M. A.; TURGUT, P. "**Cotton and limestone powder waste as brick material**". Constr Build Mater, 2008.

HENDRIKS, C. H. F. **Durable and sustainable construction materials**. AENEAS. NI, 2000.

HEREK, L. C. S.; BERGAMASCO, R.; TAVARES C. R. G., UEMURA, V. O.; Pancotte, L. P. **Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico**. Cerâmica Industrial, 2005

HEREK, L. C. S.; SILVA Jr, A. T.; PAVEZZI, C. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. "**Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos**". Cerâmica Industrial, 2009

HOLTON, I.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. "**Managing for sustainability: findings from four company case studies in the UK precast concrete industry**". Journal of Cleaner Production – Elsevier, 2010

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S; SABBATINI, F. H. **Apostila Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo 1998.

MARTINS F. M., **Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Mineraiis do Estado do Paraná**. 2006, 104p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENEZES, R. R., FARAIS FILHO, J., FERREIRA, H.S., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., "**Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas**". Revista Cerâmica nº 55, 2009.

METHA P. K. **Reducing the environmental impact of concrete. Concrete can be durable and environmentally friendly**. Concrete International 2001;23(10)

MORA, E. P. "**Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials**". Buildind and Environment, Elsevier, November 2005.

MORAIS, C. R. S. **Cais aditivadas com pozolana e cimento portland**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, 1992.

MOREIRA, A. H., OLIVEIRA, R. M., LIMA, P. D. S. **Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção**. Revista cerâmica, vol 303, 2001.

MUSSE, C. L. B. **Avaliação das potencialidades da cinza de lodo de esgoto da ETE de Goiânia como adição mineral na produção de argamassa de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, 2007.

O'MEARA S. M. **Desde Rio a Johannesburg: Governança urbana- Pensar globalmente**. Actuar Localmente World Watch Institute, World Summit Policy Briefs, 29 Agosto 2002.

PATTON, W. J. **Materiais de Construção**. Editora EDUSP, 1978.

PEREIRA, H. R. S.; VALENTINA, L. V. O. D.; WARCH, P. "**Estudo da capacidade de retenção de água em argamassas co incorporação de pó de exaustão**" 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas – Brasil, 2011.

PINTO, H. C. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª edição. LTC Editora, 1988.

PRIM, E. C. C., CHERIAF. M., CASTILHOS JR. A. B. R.; JANAIDE C., LUZ, C. **A Valorização do lodo da indústria têxtil como material de construção civil utilizando a técnica de solidificação/ estabilização com cimento**. in XXVI Congresso Interramericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS, 1998.

ROCHA, A. K. A. **Incorporação de resíduo de caulim em argamassa de alvenaria. Campina Grande – PB**, Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

RAUT, S. P., RALEGAONAR, R. V., MANDAVAGNE, S. A.. "**Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of wast-create bricks**". Construction and Building Materials, 2011.

RODRIGUES, R. A.; ALVES, L. S.; EVANGELISTA, A. C. J.; ALMEIDA, V. C. "**Comparação de tempo de pega e temperatura de hidratação de argamassas com substituintes cerâmicos**" 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas – Brasil, 2011.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas, vol 1**. Editora Edgard Büchler, 1980, pp 245- 273

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas de casca de arroz**. Campina Grande – PB. Tese de Doutorado, Centro de Ciências e tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

UREN, S., BROWN A., GOOCH, F. **Sustainable construction in practice**. In: Proceedings of International Conference on sustainable building 2000, Ibd.

APÊNDICES

Tabela T1 – Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por 7 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	3,3 KN	3,3 KN	3,3 KN	3,3 KN	3,3 KN
5%	3,2 KN	3,2 KN	3,1 KN	3,1 KN	3,2 KN
10%	3,0 KN	3,1 KN	3,1 KN	2,9 KN	3,1 KN
15%	3,2 KN	2,4 KN	2,1 KN	2,3 KN	3,1 KN
20%	2,9 KN	2,1 KN	2,0 KN	2,3 KN	2,9 KN

Tabela T2 – Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por 14 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	3,2 KN	3,2 KN	3,2 KN	3,2 KN	3,2 KN
5%	2,9 KN	3,1 KN	3,2 KN	2,7 KN	3,2 KN
10%	2,8 KN	2,7 KN	2,3 KN	2,2 KN	2,8 KN
15%	2,6 KN	2,7 KN	2,6 KN	3,2 KN	3,2 KN
20%	2,4 KN	2,1 KN	2,5 KN	3,2 KN	3,3 KN

Tabela T3 – Resultados de força máxima dos corpos de prova curados por 28 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	2,9 KN	2,9 KN	2,9 KN	2,9 KN	2,9 KN
5%	3,6 KN	7,1 KN	4,2 KN	5,4 KN	5,4 KN
10%	4,2 KN	6,9 KN	5,8 KN	5,7 KN	6,1 KN
15%	4,5 KN	7,5 KN	5,1 KN	5,8 KN	5,5 KN
20%	5,3 KN	4,3 KN	3,7 KN	4,2 KN	6,8 KN

Tabela T4 – Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 7 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	6,2 J	6,2 J	6,2 J	6,2 J	6,2 J
5%	5,4 J	5,8 J	5,8 J	5,9 J	6,0 J
10%	5,3 J	5,7 J	5,7 J	5,8 J	5,6 J
15%	5,3 J	5,6 J	5,6 J	5,6 J	5,8 J
20%	5,1 J	5,4 J	5,3 J	5,5 J	5,6 J

Tabela T5 – Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 14 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	5,2 J	5,2 J	5,2 J	5,2 J	5,2 J
5%	4,8 J	5,4 J	4,8 J	4,5 J	5,5 J
10%	4,4 J	5,0 J	4,8 J	4,8 J	5,0 J
15%	3,7 J	4,3 J	4,9 J	5,3 J	4,5 J
20%	3,0 J	4,1 J	4,0 J	5,8 J	5,6 J

Tabela T6 – Resultados de tenacidade dos corpos de prova curados por 28 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	3,1 J	3,1 J	3,1 J	3,1 J	3,1 J
5%	4,1 J	8,3 J	6,8 J	8,4 J	7,6 J
10%	6,9 J	9,1 J	9,0 J	10,2 J	8,1 J
15%	5,8 J	9,8 J	7,7 J	17,5 J	8,2 J
20%	7,3 J	5,4 J	6,9 J	7,2 J	9,9 J

Tabela T7 – Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 7 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	386,8 MPa	386,8 MPa	386,8 MPa	386,8 MPa	386,8 MPa
5%	237,2 MPa	240,0 MPa	240,0 MPa	255,3 MPa	240,4 MPa
10%	128,9 MPa	188,0 MPa	186,3 MPa	195,4 MPa	232,2 MPa
15%	136,1 MPa	163,0 MPa	160,3 MPa	188,9 MPa	222,6 MPa
20%	100,4 MPa	122,0 MPa	122,4 MPa	174,8 MPa	183,8 MPa

Tabela T8 – Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 14 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	391,3 MPa	391,3 MPa	391,3 MPa	391,3 MPa	391,3 MPa
5%	280,3 MPa	302,6 MPa	343,1 MPa	321,5 MPa	372,4 MPa
10%	274,9 MPa	282,6 MPa	222,9 MPa	324,7 MPa	361,3 MPa
15%	262,6 MPa	293,1 MPa	278,5 MPa	330,4 MPa	355,8 MPa
20%	247,8 MPa	260,5 MPa	200,3 MPa	333,6 MPa	384,6 MPa

Tabela T9 – Resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova curados por 28 dias

Percentual de lodo têxtil	Temperatura de calcinação				
	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
0%	204,8 MPa	204,8 MPa	204,8 MPa	204,8 MPa	204,8 MPa
5%	215,6 MPa	309,2 MPa	162,8 MPa	160,8 MPa	232,4 MPa
10%	224,7 MPa	285,7 MPa	219,6 MPa	225,4 MPa	264,5 MPa
15%	250,4 MPa	292,2 MPa	155,1 MPa	176,2 MPa	250,4 MPa
20%	257,4 MPa	321,1 MPa	160,5 MPa	127,2 MPa	276,4 MPa

Apêndice A – Gráficos dos ensaios de resistência à tração do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 7 dias

Figura A1 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 7 dias de cura

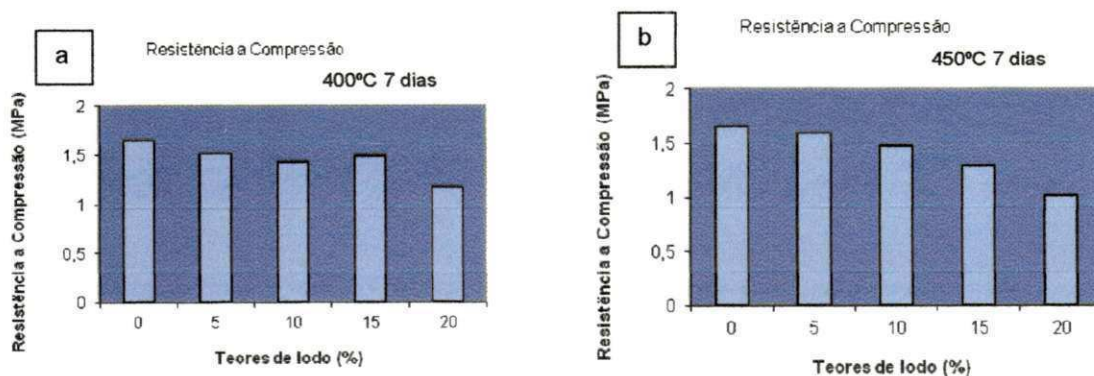


Figura A2 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura

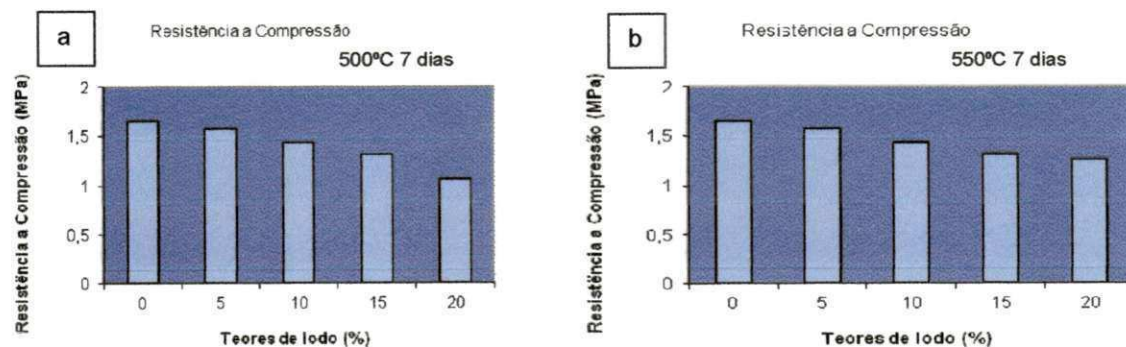
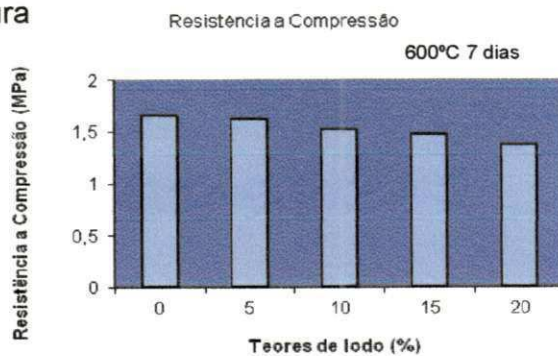


Figura A3 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura



Apêndice B – Gráficos dos ensaios de resistência à tração do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 14 dias

Figura B1 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura

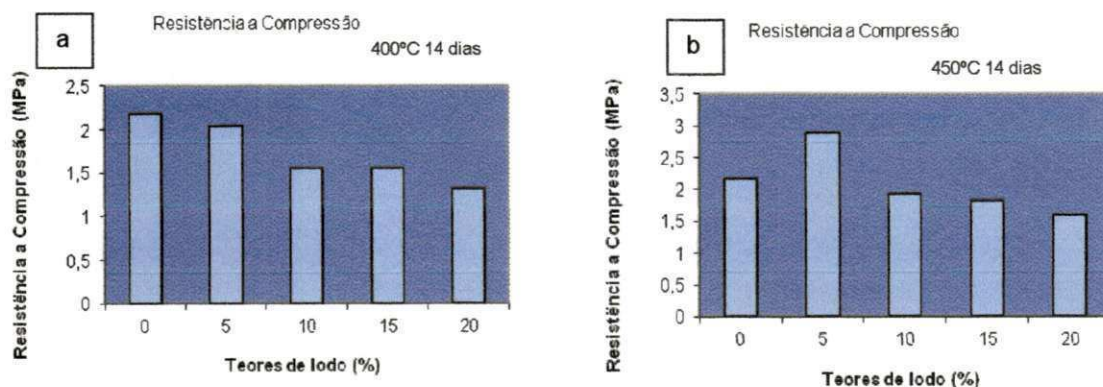


Figura B2 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura

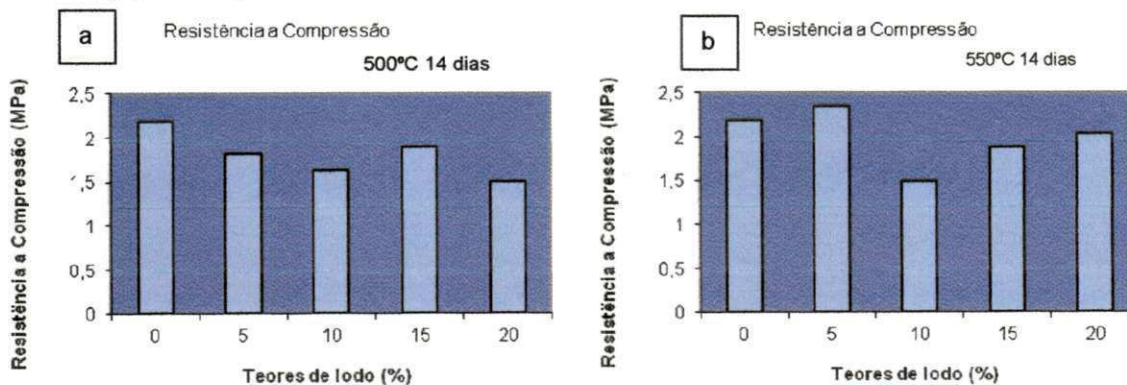
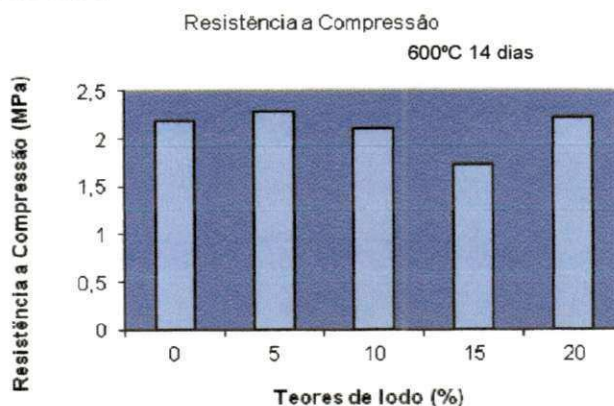


Figura B3 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura



Apêndice C – Gráficos dos ensaios de resistência à tração do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 28 dias

Figura C1 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura

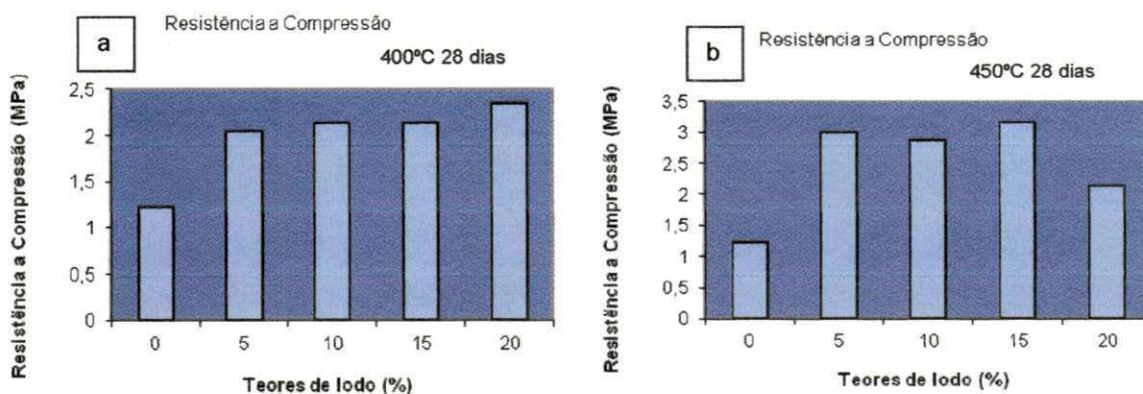


Figura C2 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550, ambos com 28 dias de cura

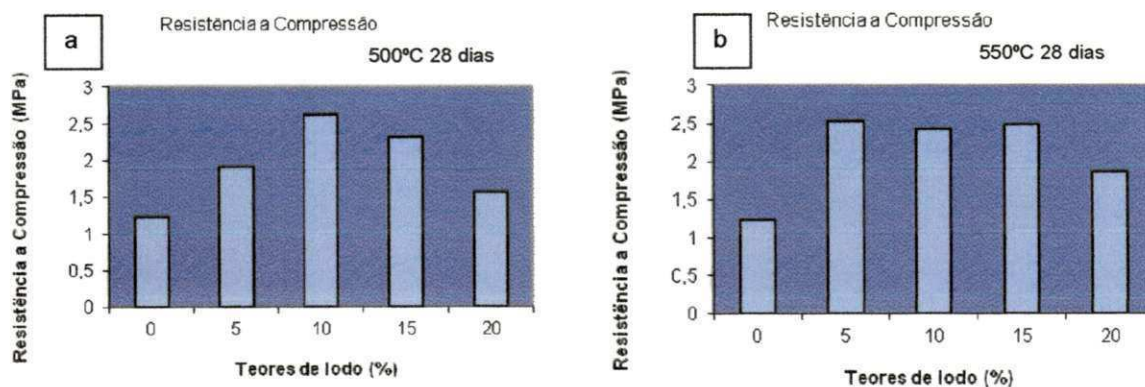
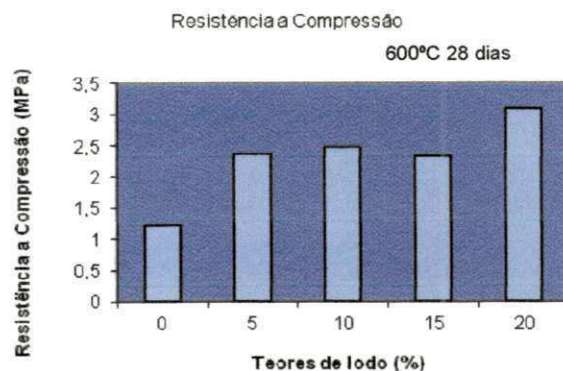


Figura C3 – Ensaio de resistência à compressão do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura



Apêndice D – Gráficos dos resultados de força máxima do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 7 dias

Figura D1 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (a) 450°C, ambos com 7 dias de cura

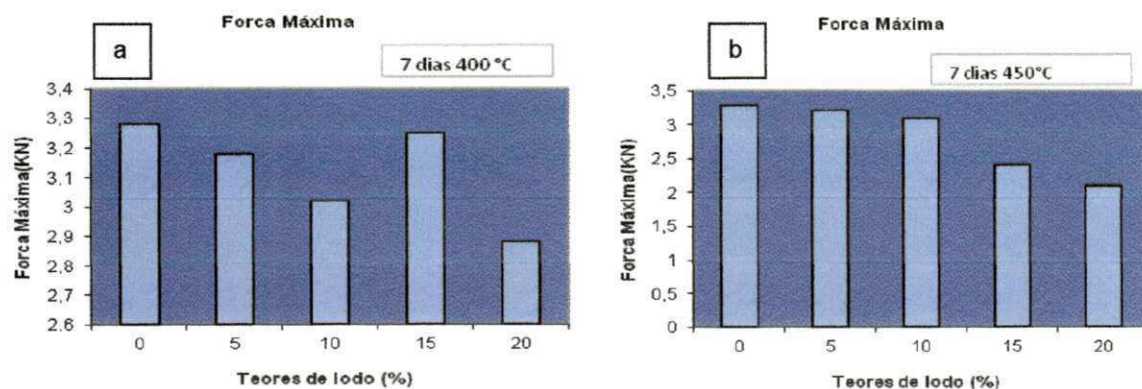


Figura D2 – Ensaio de força máxima o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura

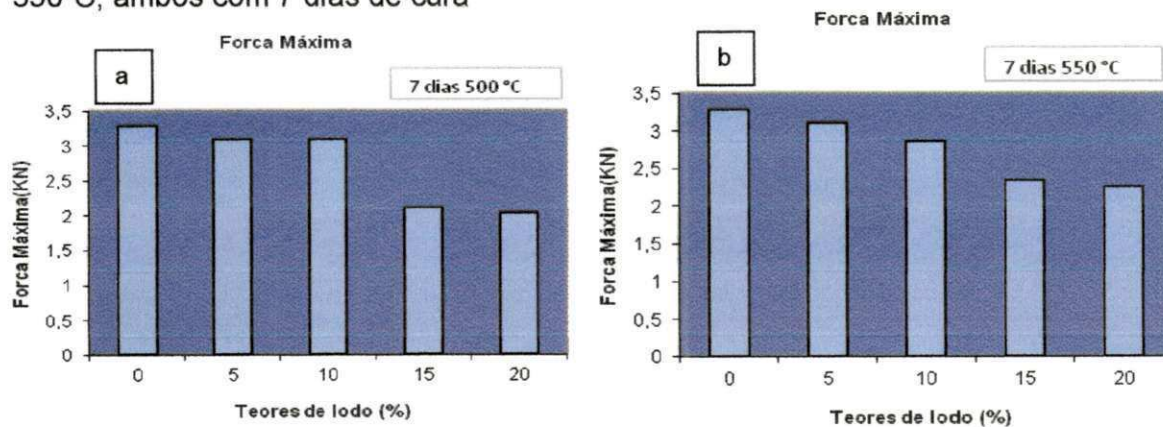
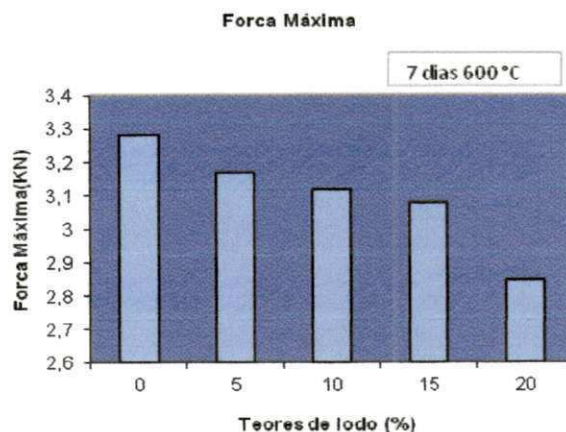


Figura D3 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura



Apêndice E – Gráficos dos resultados de força máxima do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 14 dias

Figura E1 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura

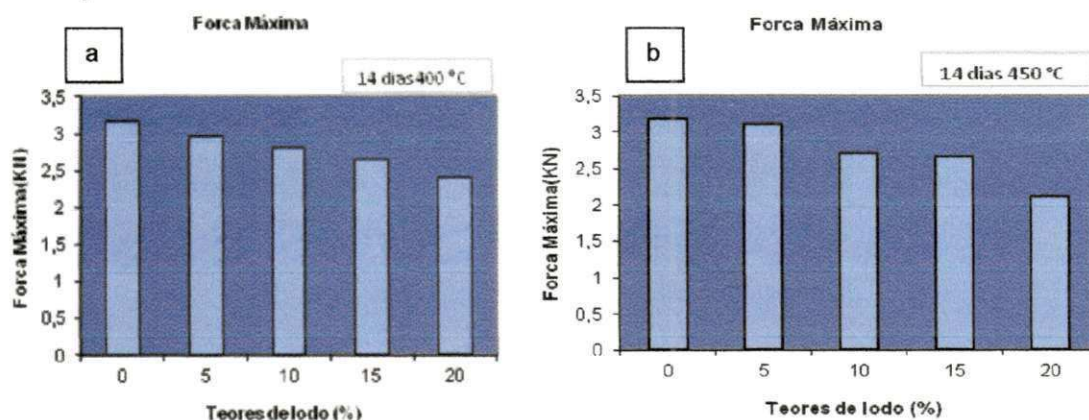


Figura E2 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura

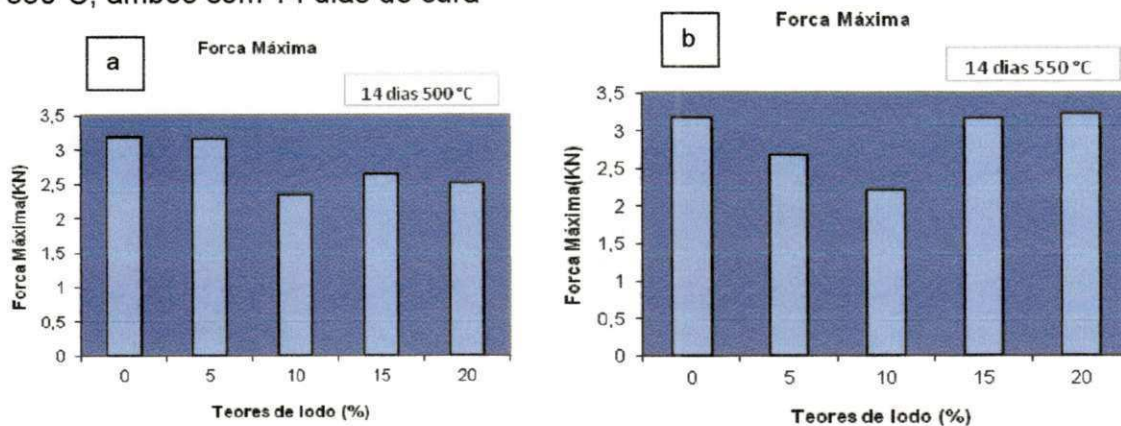
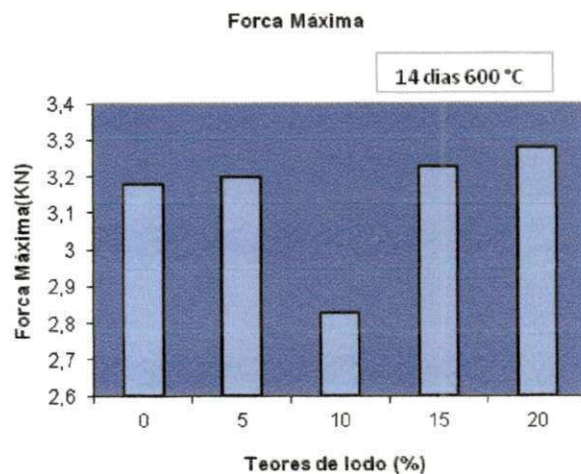


Figura E3 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura



Apêndice F – Gráficos dos resultados de força máxima do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 28 dias

Figura F1 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura

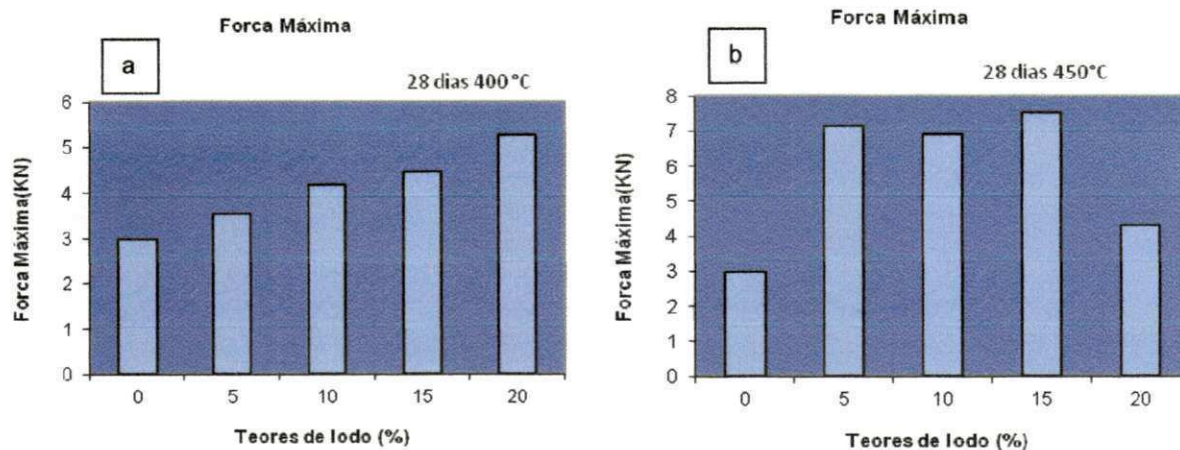


Figura F2 – Ensaio de força máxima o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura

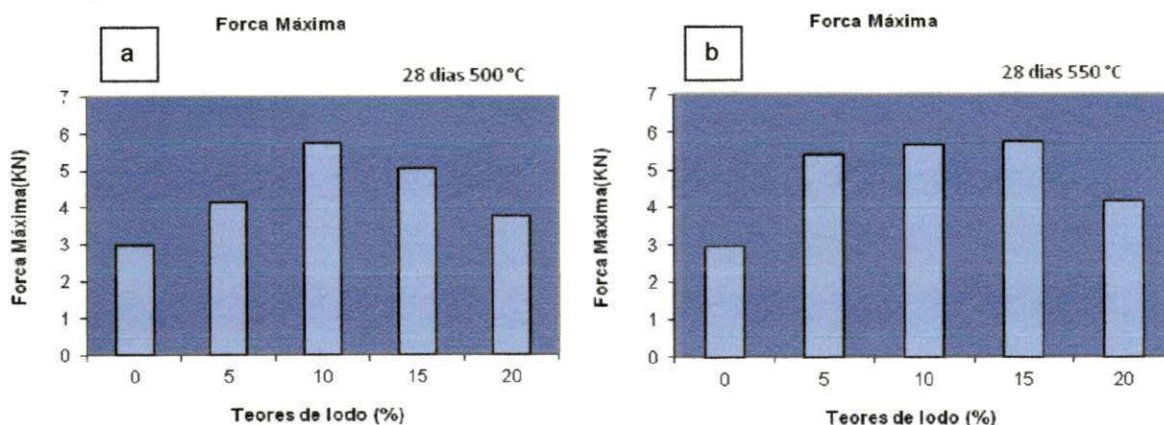
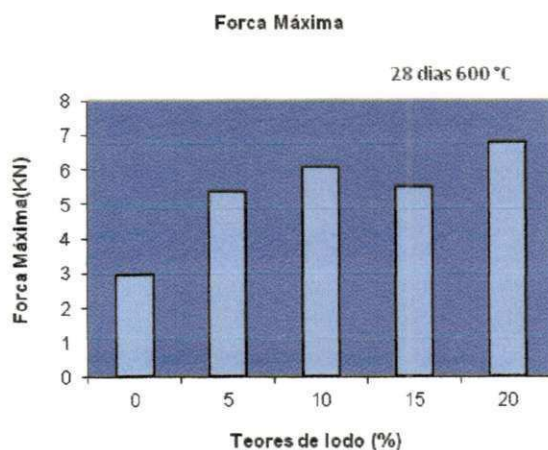


Figura F3 – Ensaio de força máxima do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura



Apêndice G – Gráficos dos resultados de tenacidade do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 7 dias

Figura G1 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 7 dias de cura

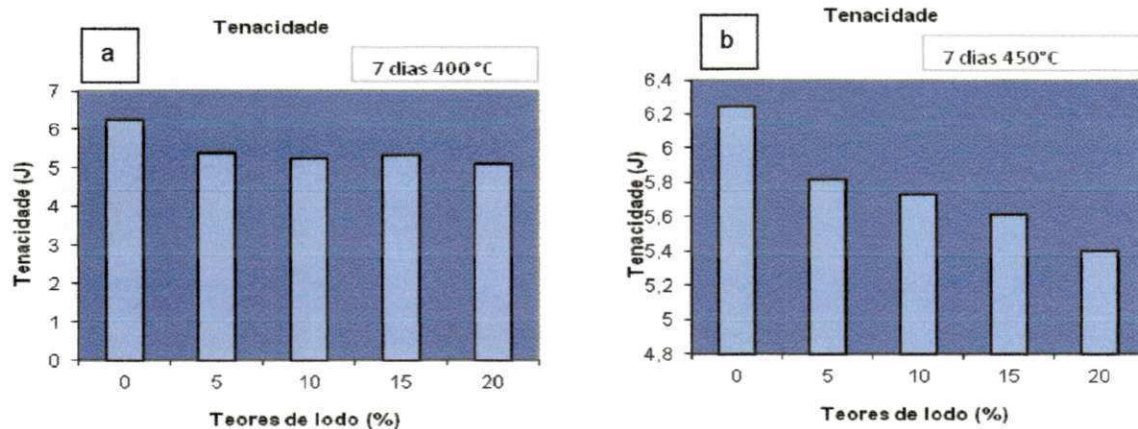


Figura G2 – Ensaio de tenacidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (a) 550°C, ambos com 7 dias de cura

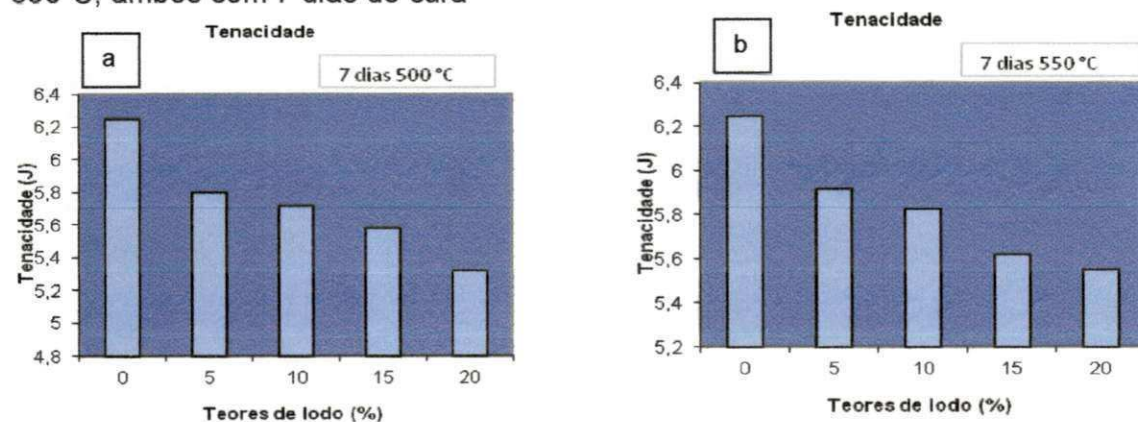
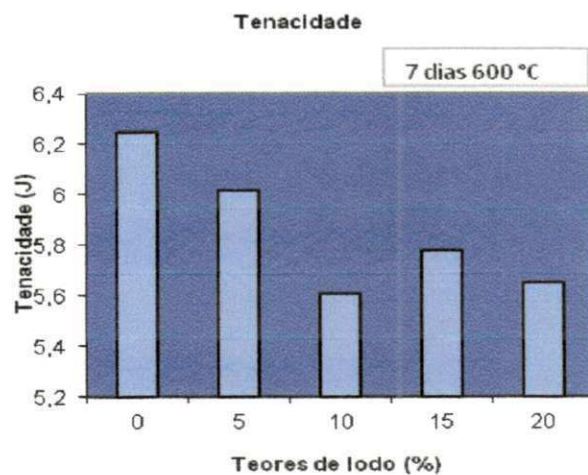


Figura G3 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura



Apêndice H – Gráficos dos resultados de tenacidade do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 14 dias

Figura H1 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura

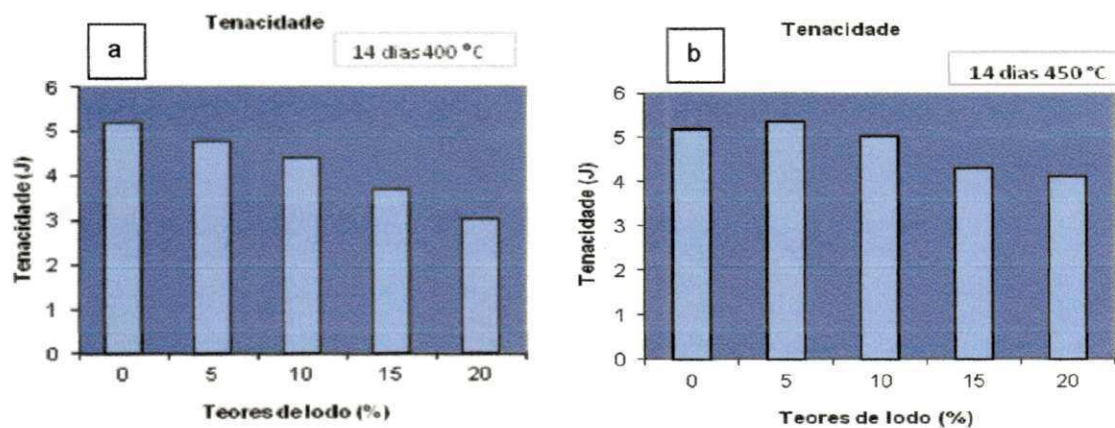


Figura H2 – Ensaio de tenacidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura

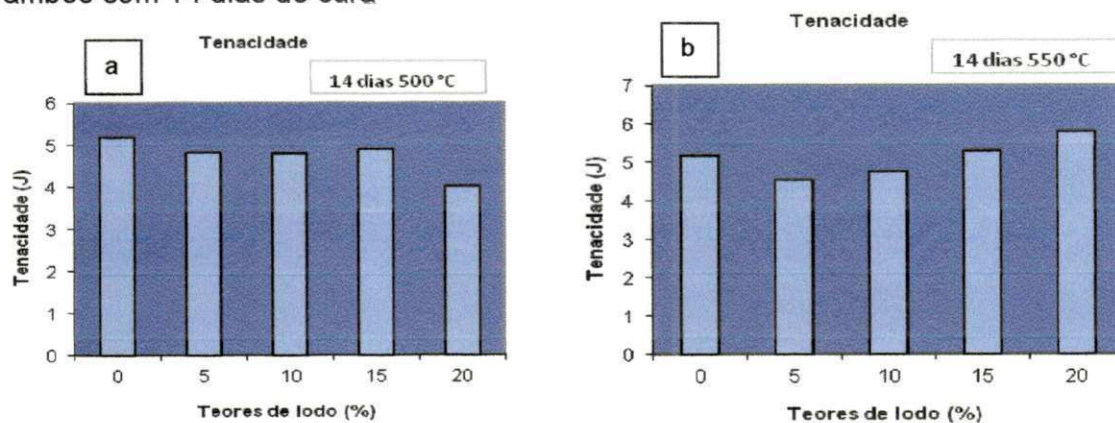
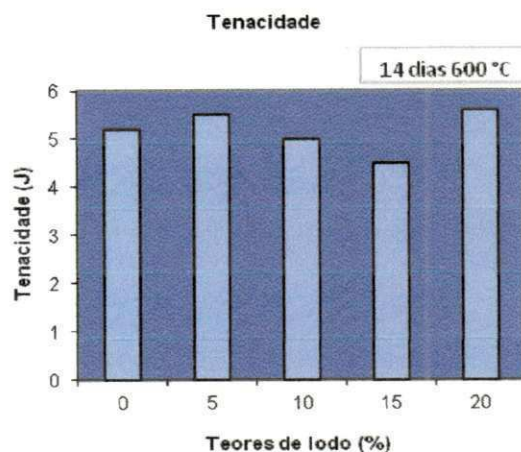


Figura H3 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura



Apêndice I – Gráficos dos resultados de tenacidade do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 28 dias

Figura I1 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura

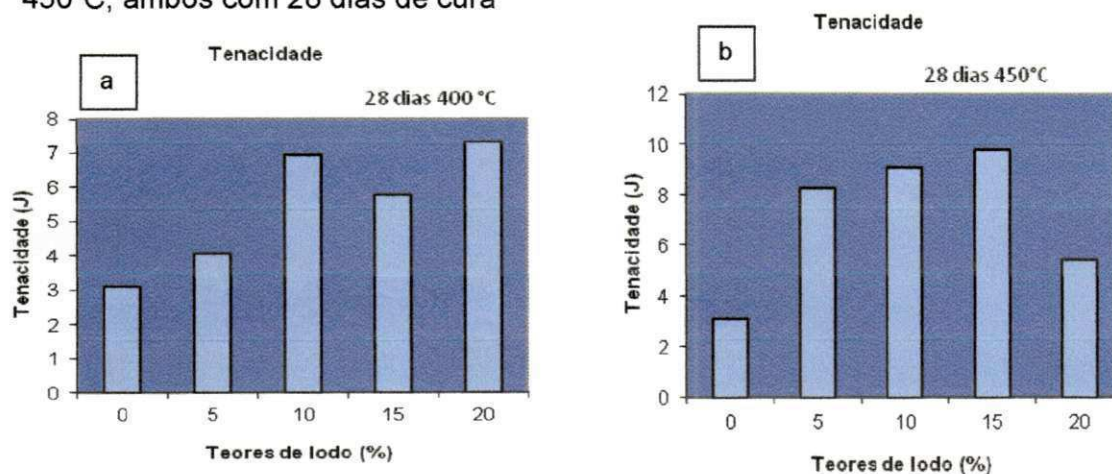


Figura I2 – Ensaio de tenacidade o lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura

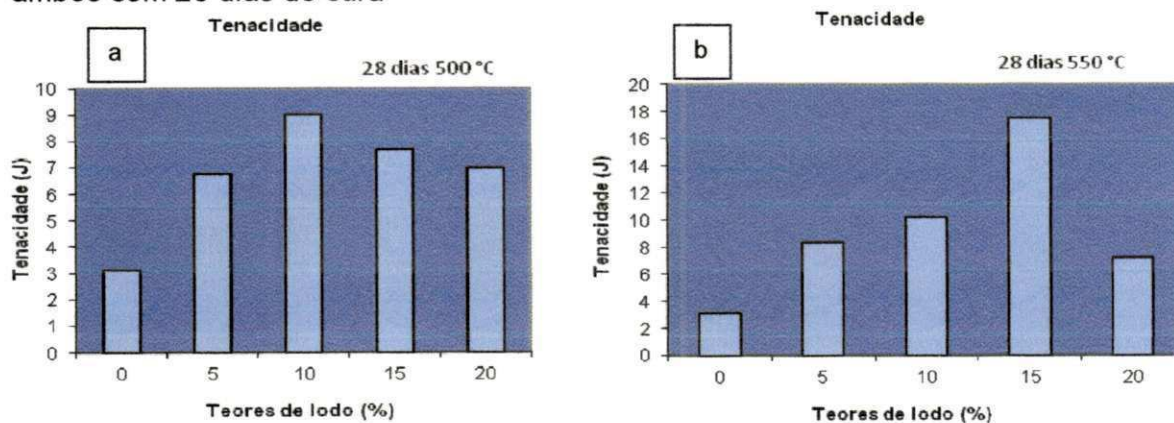
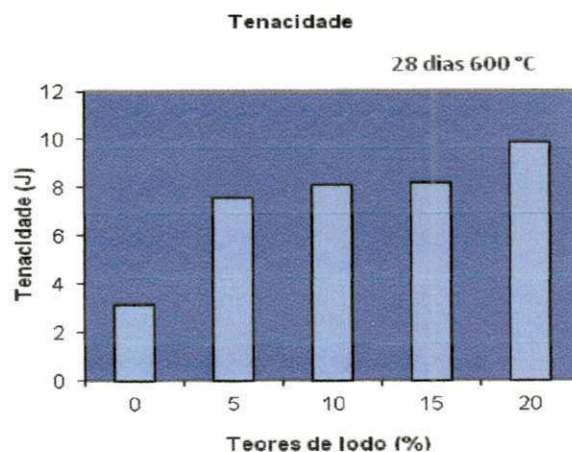


Figura I3 – Ensaio de tenacidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura



Apêndice J – Gráficos dos resultados de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 7 dias

Figura J1 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 7 dias de cura

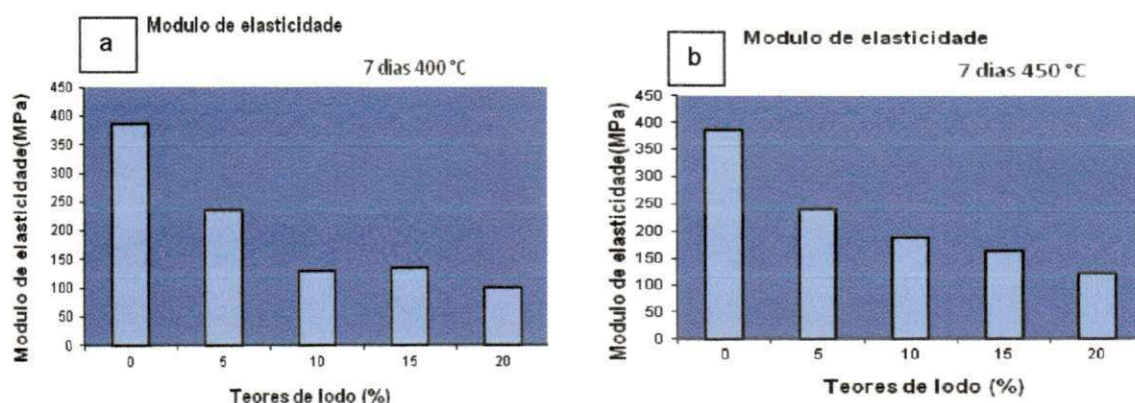


Figura J2 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 7 dias de cura

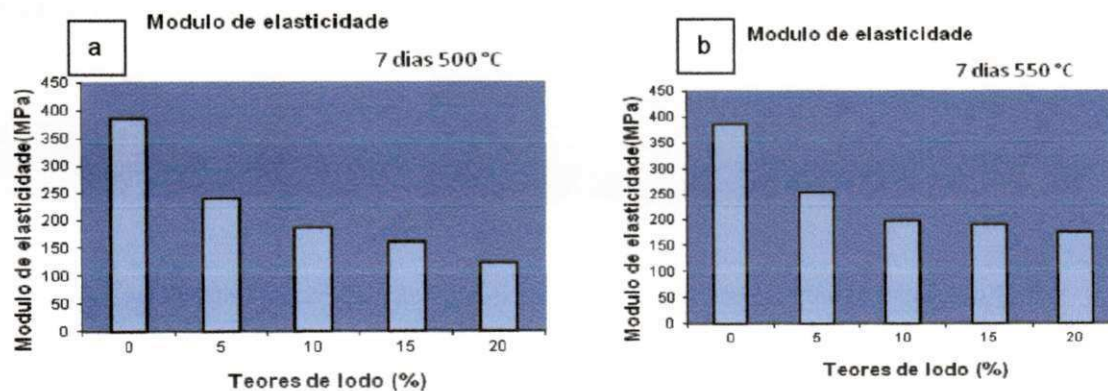
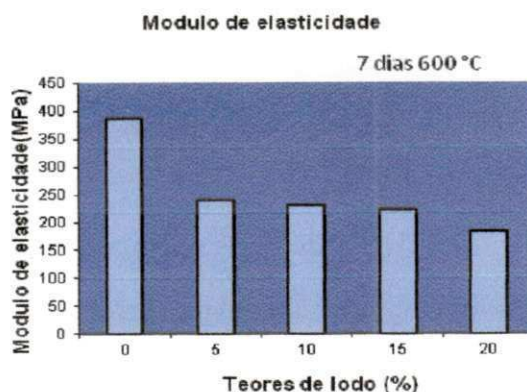


Figura J3 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 7 dias de cura



Apêndice K – Gráficos dos resultados de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 14 dias

Figura K1 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 14 dias de cura

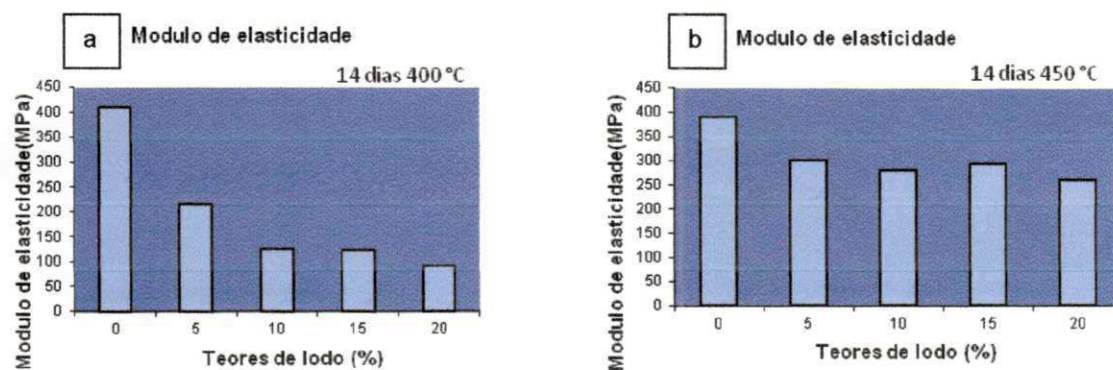


Figura K2 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 14 dias de cura

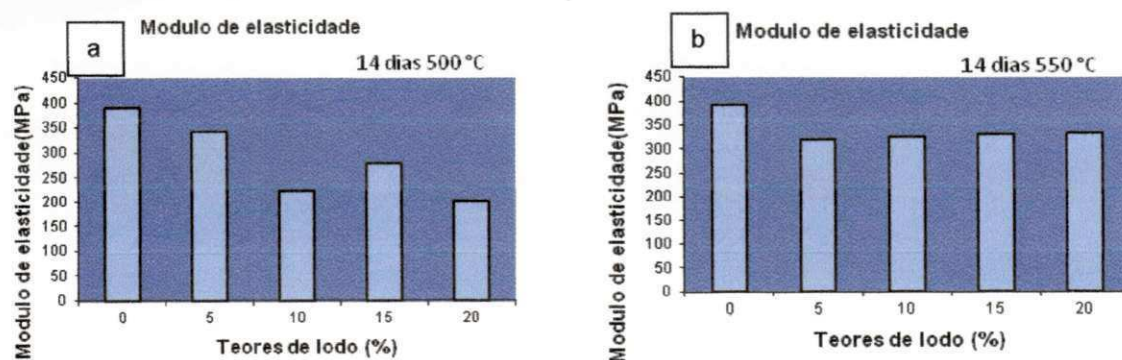
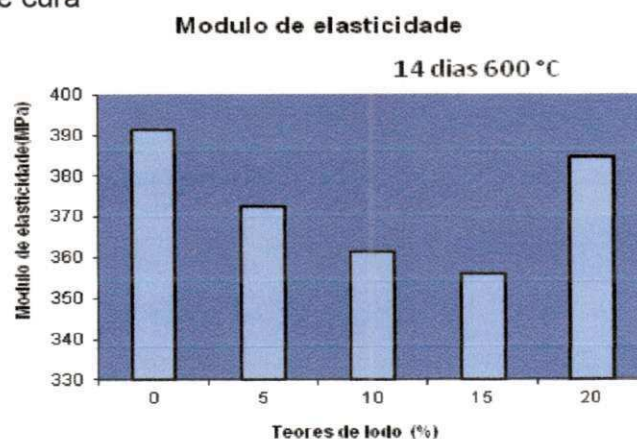


Figura K3 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 14 dias de cura



Apêndice L – Gráficos dos resultados de módulo de elasticidade e do lodo tratado termicamente nas temperaturas de 400°C, 450°C, 500°C, 550°C e 600°C e curados por 28 dias

Figura L1 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 400°C, (b) 450°C, ambos com 28 dias de cura

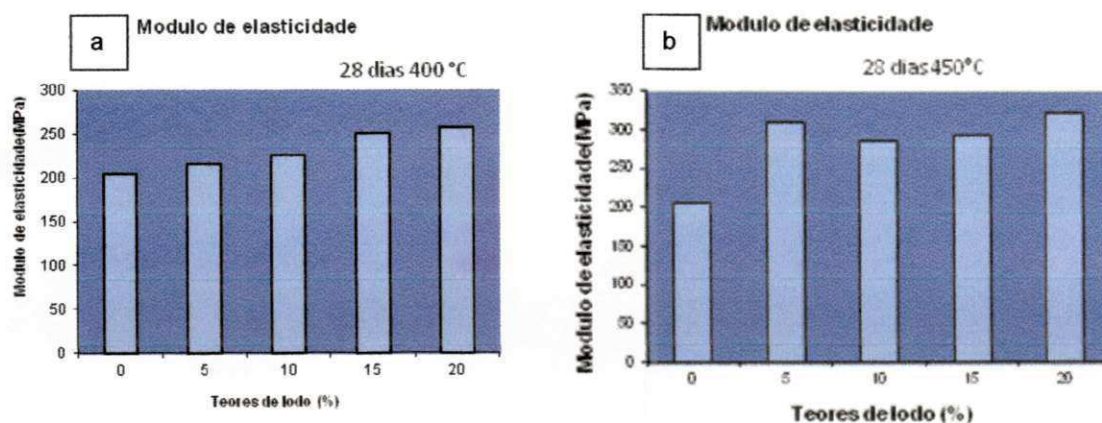


Figura L2 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente: (a) 500°C, (b) 550°C, ambos com 28 dias de cura

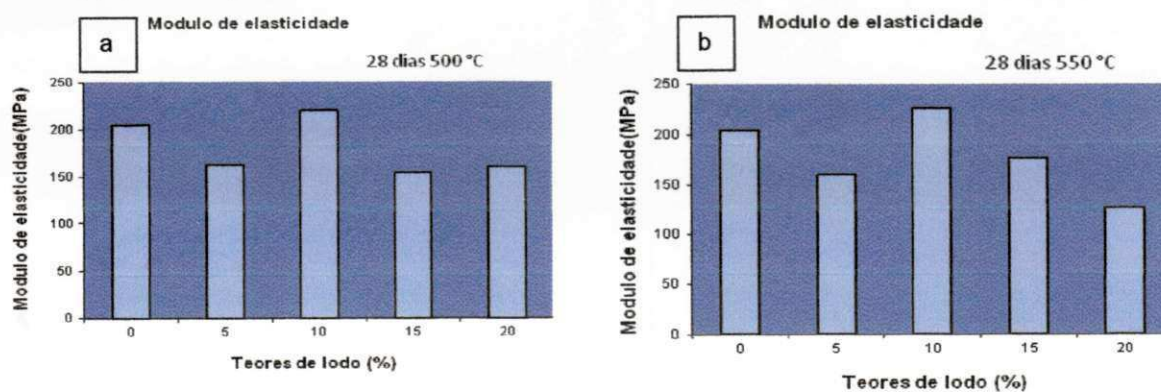


Figura L3 – Ensaio de módulo de elasticidade do lodo tratado termicamente à 600°C, com 28 dias de cura

