



# **AVALIAÇÕES PRELIMINARES DA ETAPA DE CALCINAÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE ELEMENTO CERÂMICO**

Andrezza Barbosa Ramos de Castro  
Rodrigo Viana Khalil

Projeto Final de Curso

Orientadora

Profa. Valéria Castro de Almeida, D. Sc.

Abril de 2013



**AVALIAÇÕES PRELIMINARES DA ETAPA DE CALCINAÇÃO DO LODO  
GERADO POR ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE  
BLOCO CERÂMICO**

***Andrezza Barbosa Ramos de Castro***

***Rodrigo Viana Khalil***

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Ana Catarina Evangelista, D. Sc.

---

Oswaldo de Aquino Pereira Jr, D. Sc

---

Simone Louise Delarue Brasil, D. Sc

Orientado por:

---

Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Abril de 2013

De Castro, Andrezza Barbosa Ramos;

Khalil, Rodrigo Viana.

AVALIAÇÕES PRELIMINARES DA ETAPA DE CALCINAÇÃO DO LODO GERADO POR ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE BLOCO CERÂMICO/ Andrezza Barbosa Ramos de Castro e Rodrigo Viana Khalil. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2013. xi, 57 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2013.

Orientadora: Valéria Castro de Almeida.

1. Lodo de ETA. 2. Bloco Cerâmico. 3. Projeto Final (Graduação - UFRJ/EQ). 4. Valéria Castro de Almeida. I. Título.

A Deus e a toda minha família, em especial aos meus pais,  
meus irmãos, meu marido e à minha avó, maior exemplo em minha vida.  
Andrezza Barbosa Ramos de Castro

A minha família que me apoiou nessa caminhada.  
Rodrigo Viana Khalil

“Trate bem a terra.  
Ela não foi lhe dada pelos seus pais.  
Ela lhe foi emprestada pelos seus filhos.”  
Provérbio queniano

"Algo só é impossível até que  
alguém duvide e acabe  
provando o contrário."  
Albert Einstein

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao DPI por toda atenção a nós destinada ao esclarecer dúvidas e no suporte fornecido para o desenvolvimento desse projeto.

Um agradecimento especial à nossa orientadora, Valéria, pela confiança, apoio e dedicação prestada ao trabalho.

A Petrobras pela realização das análises químicas por fluorescência e refração de Raio-X concedidas pelo funcionário Felipe Gonçalves.

A Profa. Cheila Monthé pela cooperação e auxílio com as análises Térmicas.

Agradecemos aos Professores da UFRJ pelo ensino e aos Funcionários pelo apoio.

### **Agradecimentos Andreza Barbosa Ramos de Castro**

Agradecer a todos que me ajudaram a chegar até aqui não é uma tarefa fácil. Gostaria de começar esse agradecimento pela minha mãe, pois exemplo maior de dedicação e amor não poderia ter tido. Em seguida, agradeço ao meu pai e a sua esposa por terem me dado apoio durante esse longo caminho.

Um agradecimento especial aos meus irmãos, Leonardo e Isabela, e à minha tia Maria querida. Agradeço imensamente ao meu marido, Rafael, pelo carinho, paciência e por estar ao meu lado durante todos esses anos de faculdade.

Acima de tudo agradeço a Deus, por ter me conduzido ao caminho certo e por sua presença constante em minha vida me ajudando a nunca desistir diante dos desafios.

### **Agradecimentos Rodrigo Viana Khalil**

Gostaria de agradecer à minha família pela presença importantíssima na minha vida e nessa caminhada. A minha mãe pelo seu amor incondicional, meu pai por me apresentar à química. A força da minha irmã Karla que me ajudou a superar meus medos, e a minha namorada Gabriela que tornou minha vida mais feliz me dando forças para alcançar meus objetivos.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

## **AVALIAÇÕES PRELIMINARES DA ETAPA DE CALCINAÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE BLOCO CERÂMICO**

Andrezza Barbosa Ramos de Castro  
Rodrigo Viana Khalil

Abril, 2013

Orientadora: Profa. Valéria Castro de Almeida, D. Sc.

As Estações de Tratamento de Água (ETA) produzem uma quantidade significativa de lodo, gerando grandes passivos ambientais. Uma das formas de reutilização deste resíduo é a sua incorporação como matéria-prima em bloco cerâmico. O incremento de resíduos da Construção Civil junto ao lodo de ETA também é viável tecnicamente, resultando em produtos de baixo custo e passíveis de utilização no setor de Habitação, especialmente na construção de moradias populares. O desempenho destes produtos na área da Construção Civil é objeto de estudo de grande relevância para o país, dado o histórico déficit habitacional no Brasil e a preocupação crescente com a destinação correta de resíduos.



## Sumário

|  |            |
|--|------------|
| <b>I - INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>133</b> |
| <b>I.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                           | <b>144</b> |
| I.1.1 – Origem do Lodo de Estações de Tratamento de Água .....     | 155        |
| I.1.2 – Reaproveitamento do Lodo no Setor Cerâmico .....           | 22         |
| I.1.3 – Resíduos na Construção Civil.....                          | 25         |
| <b>I.2 - OBJETIVOS</b> .....                                       | <b>27</b>  |
| I.2.1 - Objetivo Geral.....  | 27         |
| I.2.2 - Objetivos Específicos .....                                | 27         |
| <b>II - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                              | <b>288</b> |
| II.1 - Materiais Utilizados .....                                  | 288        |
| II.2 - Tratamento das Matérias-Primas .....                        | 288        |
| II.3 - Caracterização Elementar das Matérias-Primas .....          | 30         |
| II.3.1 -Caracterização Mineralógica .....                          | 30         |
| II.3.1.1 – Análise Química por Fluorescência de Raio X (FRX) ..... | 30         |
| II.3.1.2 –Refração de Raio X (DRX) .....                           | 30         |
| II.3.1.3 – Análise térmica .....                                   | 31         |
| II.3.1.4 –Microscopia Eletrônica de Varredura.....                 | 31         |
| II.4 - Conformação dos Corpos de Prova e Ensaio de Queima.....     | 31         |
| II.5 - Caracterização Física e Mecânica dos Corpos de Prova .....  | 34         |
| II.5.1 - Avaliação da Retração Linear (RL) .....                   | 34         |
| II.5.2 - Ensaio de Absorção de Água (AA) .....                     | 35         |
| II.5.3 - Ensaio de Porosidade Aparente (PA) .....                  | 35         |
| II.5.4 - Densidade (D) .....                                       | 36         |
| II.5.5- Ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão (TRF).....            | 37         |
| <b>III – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                          | <b>39</b>  |
| III.1 – Caracterização Mineralógica das Matérias Primas .....      | 39         |
| III.1.1 – Análise por Fluorescência de Raios X.....                | 39         |
| III.1.2 – Análise por Difratomia de Raios X.....                   | 40         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III.1.3 – Análise Térmica .....</b>                           | <b>42</b> |
| <b>II.1.4 – Análise por Microscopia de Varredura .....</b>       | <b>44</b> |
| <b>III.2 – Avaliação dos Corpos de Prova após a queima .....</b> | <b>45</b> |
| <b>IV - CONCLUSÃO.....</b>                                       | <b>53</b> |
| <b>V - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                      | <b>55</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura I.1 | Pontos de geração de Resíduos de uma ETA tradicional | 18 |
| Figura I.2 | Tamanho de flocos ( TF) em função do pH              | 20 |
| Figura I.3 | Fluxograma da ETL da SANASA                          | 21 |

### CAPÍTULO II

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura II.1 | Sobras de tijolos   | 28 |
| Figura II.2 | O lodo em diversas etapas   | 29 |
| Figura II.3 | Lodo seco e após calcinação   | 29 |
| Figura II.4 | Diagrama das etapas concretizadas até a realização dos ensaios tecnológicos | 32 |
| Figura II.5 | Matriz retangular de aço inox utilizada na compactação de corpos de prova   | 33 |
| Figura II.6 | Pontos estabelecidos para a determinação das medidas                        | 33 |

### CAPÍTULO III

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Figura III.1  | Difratograma dos resíduos de tijolo   | 39 |
| Figura III.2  | Difratograma do lodo com PAC  | 40 |
| Figura III.3  | Difratograma do lodo após calcinação a 700°C  | 41 |
| Figura III.4  | Análise térmica das sobras de tijolos cominuídos                                      | 41 |
| Figura III.5  | Análise térmica do lodo com PAC   | 42 |
| Figura III.6  | Análise térmica do lodo após etapa de calcinação a 700°C                              | 42 |
| Figura III.7  | Fotomicrografia dos resíduos de tijolo e análise por EDS                              | 43 |
| Figura III.8  | Fotomicrografia do lodo com PAC e análise por EDS                                     | 44 |
| Figura III.9  | Fotomicrografia do lodo após calcinação a 700°C e análise por EDS                     | 45 |
| Figura III.10 | Gráfico de retração linear das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima | 46 |
| Figura III.11 | Absorção de água das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima           | 48 |
| Figura III.12 | Porosidade aparente das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima        | 49 |
| Figura III.13 | Densidade das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima                  | 50 |
| Figura III.14 | Tensão de ruptura à flexão das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima | 50 |

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO III

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Tabela III.1 | Composição química elementar do resíduo de tijolo e do lodo precipitado com PAC e loco calcinado a 700°C | 40 |
|--------------|--|----|

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                |   |
|----------------|---|
| AA             | Absorção de Água                                |
| ABNT           | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| AP             | Argila Pura                                     |
| CBIC           | Câmara Brasileira da Indústria da Construção    |
| CETESB         | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| C <sub>i</sub> | Comprimento Inicial                             |
| C <sub>F</sub> | Comprimento Final                               |
| CONAMA         | Conselho do Meio Ambiente                       |
| D              | Densidade                                       |
| DRX            | Difração de Raios X                             |
| DSC            | Differential Scanning Calorimetry               |
| DTA            | Differential Thermal Analysis                   |
| EDS            | Energy Dispersive X Ray Spectrometer            |
| E <sub>i</sub> | Espessura Inicial                               |
| E <sub>F</sub> | Espessura Final                                 |
| ETA            | Estação de Tratamento de Água                   |
| ETL            | Estação de Tratamento de Lodo                   |
| FRX            | Fluorescência de Raios X                        |
| IPT            | Instituto de Pesquisas Tecnológicas             |
| L <sub>i</sub> | Largura Inicial                                 |
| L <sub>F</sub> | Largura Final                                   |
| MEV            | Microscopia Eletrônica de Varredura             |
| M <sub>F</sub> | Massa Final após a queima                       |
| ONU            | Organização das Nações Unidas                   |
| PA             | Porosidade Aparente                             |
| PAC            | Cloreto de Polialumínio                         |
| pH             | Potencial Hidrogeniônico                        |
| PIB            | Produto Interno Bruto                           |
| PNSB           | Programa Nacional de Saneamento Básico          |
| RC             | Resíduo de Concreto                             |
| RCD            | Resíduo de Construção e Demolição               |
| RL             | Retração Linear                                 |

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| T   | Tijolo 100%                |
| TRF | Tensão à Ruptura de Flexão |

## I - INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento urbano do Brasil ao longo dos anos vem aumentando a demanda de novas edificações, reformas prediais e obras civis relacionadas à infraestrutura urbana, além disso, o desenvolvimento de atividades dos setores secundário e terciário da economia, acompanhado de significativo crescimento populacional, acarretou em um acréscimo na demanda de água potável e conseqüentemente, da quantidade de resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), que somados aos resíduos da indústria civil representam um significativo passivo ambiental.

Estima-se que somente no Estado de São Paulo foram gerados em 2004 aproximadamente 30.000 toneladas de lodo em Estações de tratamento de água (COSIN *et al.*, 2004). Os lodos das ETAs são dispostos frequentemente em cursos d'água mais próximos, sem nenhum tratamento, causando problemas ambientais, tais como risco à vida aquática residente, aumento da quantidade de sólidos, assoreamento, mudanças de cor e turbidez, aumento das concentrações de alumínio e ferro, além de gradativamente, poder causar riscos à saúde pública, uma vez que os lodos concentram as impurezas presentes na água bruta.

Por sua vez, o entulho gerado na construção civil muitas vezes é lançado em encostas podendo ocasionar deslizamentos e junto a redes de drenagem e canais que obstruem o escoamento de águas pluviais e provocam inundações. Sua disposição em aterros sanitários é a alternativa mais adequada, entretanto compete por espaço com o resíduo proveniente de outros setores.

No Brasil, o problema do atendimento às necessidades mínimas de habitação para as camadas da população de baixa renda não foi ainda solucionado, havendo uma demanda da ordem de seis milhões de moradias destinadas às famílias com renda mensal inferior a cinco salários mínimos (WATANABE, 2000). Uma alternativa para tal problema implica na prática de novas tecnologias que utilizem matérias primas de origem natural, renováveis ou não, e também resíduos sólidos industriais e urbanos, compatíveis com a situação socioeconômica do País (CALMON *et al.*, 1998). Em países em desenvolvimento são adotadas alternativas tecnológicas de menor custo e regimes de autoconstrução ou de ajuda mútua, os quais são incentivados pelo governo, com

a participação de associações comunitárias. Segundo Cybis & dos Santos (2001), a indústria da construção civil caracteriza-se pelo elevado desperdício de materiais, e hoje se trabalha muito na prevenção da poluição com ganhos econômicos e ambientais na aplicação das Técnicas de produção mais limpa no setor.

De acordo com Pinto (1997), o aproveitamento do entulho pelo mesmo setor que o gera, a construção civil, facilita a reciclagem, contribui para minimizar os prejuízos dos descartes irregulares em cursos d'água ou vias públicas e prolonga a vida útil das áreas destinadas à sua deposição. Além da viabilidade tecnológica e das vantagens sociais e ambientais, é necessário destacar a importância da viabilidade econômica da reciclagem de entulho. Considerando o menor preço do agregado reciclado, possibilita-se a redução dos custos das obras civis e a ampliação da oferta pública de moradias populares, além de outros benefícios sociais, tais como a geração de emprego e renda.

## **I. 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Segundo o relatório de Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais.

Com esta ideia inicial, a adequada disposição dos resíduos constitui um problema ambiental que deve ser resolvido. Muitas vezes, o destino final destes resíduos são os aterros sanitários, o que não é considerado atualmente, como sendo a melhor solução. Segundo Dijkema *et al.* (2000), vem nascendo um novo paradigma para o gerenciamento: o conceito de resíduo vem sendo redefinido no sentido de entendê-lo como matéria-prima de um novo processo. Um produto é considerado resíduo quando não tenha sido usado em todo seu potencial.



As bases para a obtenção de melhores condições ambientais são o desenvolvimento com suas dimensões econômicas e sociais, a conservação e gerenciamento de recursos, os grupos sociais na organização e fortalecimento da sociedade e, finalmente, os meios de implementação das iniciativas e projetos para a sua efetivação. A produção mais limpa é uma técnica que busca a minimização do uso de insumos materiais, através de ações entre o processo industrial e o meio ambiente.

Neste cenário de produção limpa, o gerenciamento de resíduos é um grande aliado para obtenção de bons resultados. Assim, é preciso avaliar as quantidades e tipos de matérias-primas utilizadas e a origem do desperdício (resíduos e emissões) ou da parcela subutilizada. Minimizando a quantidade de resíduos, os custos de tratamento e disposição são menores.

As políticas de produção mais limpa integram os objetivos ambientais aos dos processos produtivos, propondo um crescimento econômico sustentável, com uma excelente proposta ambiental e constituindo-se um bom negócio para as indústrias.

Segundo Cybis & dos Santos (2001), entre as indústrias em nível mundial, a construção civil é uma das mais importantes, acarretando grandes quantidades de perdas em seus processos. O uso dos resíduos e desperdícios, próprios e de outras indústrias, torna-se um desafio para seus administradores, que tentam minimizar os custos de materiais e insumos a serem usados nos projetos. Para Ângulo *et al.* (2000), a reciclagem de resíduos faz parte do desenvolvimento sustentável na construção civil.

Estes resíduos de construção e demolição (RCD) representam valores perto de 60% do volume total de resíduos gerados nas cidades brasileiras.

### **I.1.1 – Origem do Lodo de Estações de Tratamento de Água**

A água é um componente essencial para a vida animal e vegetal, sendo ela provavelmente o único recurso natural que tem a ver com todos os aspectos da civilização humana desde o desenvolvimento agrícola ao industrial.

Com isso, há necessidade de consumir a água de forma prudente e racional, evitando o desperdício e a poluição. Segundo a ONU (2007), se até

2025 os atuais padrões de consumo se mantiverem, duas em cada três pessoas no mundo vão sofrer escassez moderada ou grave de água. O uso sem controle pode levar a diminuição do volume, ou até mesmo o esgotamento dos reservatórios subterrâneos, sendo esta de vital importância, pois a maior parte da comunidade mundial é dependente desta fonte de abastecimento.

No Brasil, por exemplo, 49% dos municípios são abastecidos total ou parcialmente com água dos poços profundos ou rasos. Em relação à quantidade total de água, o Brasil é um país privilegiado, pois possui a maior reserva de água doce do mundo, 12% do total, porém, sua distribuição é desuniforme em todo o território nacional.

Segundo Gandolfo (2007), atualmente a agricultura é responsável por 70% do uso e 87% do consumo de água total no mundo, sendo que em termos globais, a indústria usa 24% e consome 4% da água hoje aproveitada. No caso da agricultura irrigada (40% do total mundial), por exemplo, a iminente escassez desse recurso, tem como impacto a diminuição do suprimento global de alimentos e com isso o aumento nos preços no mercado internacional.

Segundo o IBGE, as informações coletadas pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (PNSB) sobre abastecimento de água apontam aspectos relevantes da cobertura do serviço de distribuição de água por rede geral, a qual se caracteriza pela retirada da água bruta da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento à população. Dos 5.564 municípios brasileiros existentes em 2008, 5.531 (99,4%) realizavam abastecimento de água por rede geral de distribuição em pelo menos um distrito ou parte dele.

Para disponibilizar os recursos hídricos à população uma grande estrutura de captação e tratamento de água é desenvolvida, sendo as Estações de Tratamento de Água (ETA) responsáveis pelo processamento desta.

Muitos processos e operações podem ser empregados nas diferentes tecnologias de tratamento em função da qualidade da água bruta. A escolha de uma ou outra combinação de processos e operações de tratamento depende de inúmeros fatores, principalmente o conhecimento profundo das características da água bruta, da disponibilidade de estudos de tratabilidade ou da possibilidade de sua execução, das condições socioeconômicas da comunidade e da existência de pessoal qualificado para operação e manutenção. Uma vez considerados tais

fatores, é imprescindível a realização de um estudo de alternativas que contemple as condições técnicas, econômicas e financeiras, que leve em conta as tecnologias comparáveis tecnicamente (DI BERNARDO, 2011).

De uma forma geral, na ETA o tratamento da água bruta segue as seguintes etapas: aeração, eliminação de impurezas grosseiras, pré-cloração, controle de vazão, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação (TEIXEIRA, 2006).

Seguindo as etapas de tratamento, após a adição de produtos químicos para coagulação e floculação, ocorre a etapa de clarificação na qual a água bruta sofre processos físico-químicos responsáveis pela redução da turbidez da água, decorrente da dispersão da luz, que pode ocorrer principalmente por silte e argila, partículas coloidais, microrganismos, plâncton e matéria orgânica particulada dispersa no meio. No final deste processo, é obtida a água clarificada além do material sólido que fica retido no fundo dos decantadores, denominado de “lodo de ETA”.

Diversas impurezas podem estar presentes na água, principalmente partículas coloidais, matéria orgânica dissolvida e organismos em geral. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, o que impede sua aproximação e faz com que permaneçam no meio líquido se não tiverem suas características modificadas. Para a remoção das mesmas, é preciso alterar algumas características da água, o que causa a modificação das características das impurezas. Tal efeito pode ser alcançado através dos processos de coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração.

A coagulação depende fundamentalmente das características da água e das impurezas presentes, conhecidas através de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, potencial zeta, condutividade elétrica, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal e em suspensão. A coagulação é um processo que consiste na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de matéria orgânicas dissolvidas através de dois fenômenos, um químico no qual acontecem as reações de hidrólise do metal, e outro físico, que consiste no transporte das espécies hidrolisadas ou dos precipitados formados para que haja contato com as impurezas presentes na água. É o processamento mais importante para a

obtenção de água filtrada com qualidade satisfatória, principalmente quando se aplica uma das técnicas de filtração direta. Se for conduzida de forma inadequada pode acarretar a produção de efluente de má qualidade, mesmo para baixas taxas de filtração. Por sua vez, no tratamento em ciclo completo, a floculação pode ser ineficiente, comprometendo o desempenho da sedimentação e filtração.

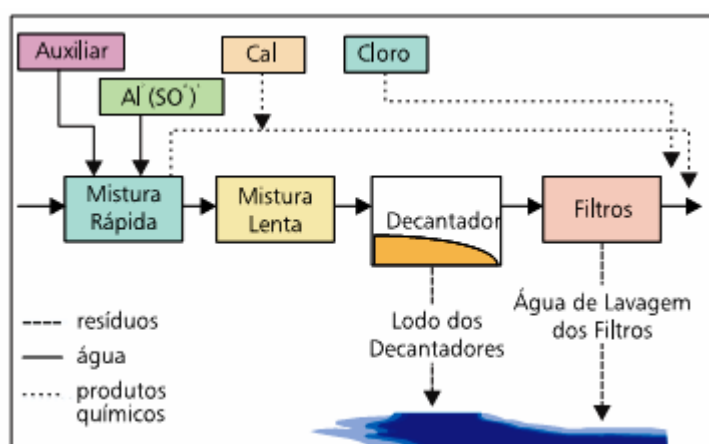


Figura I. 1 - Pontos de geração de resíduos de uma ETA tradicional

Fonte: Prosab – Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água

Na etapa de sedimentação, as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido menos denso. Dessa forma ocorre a clarificação da água, ou seja, separação das fases líquida e sólida, diferente da flotação, onde a clarificação ocorre através da separação das partículas mediante a aderência de bolhas de ar à superfície das partículas causando ascensão das mesmas.

Após o processo de clarificação, o resíduo acumulado nos decantadores é formado basicamente por hidróxidos de alumínio, argilas, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, resultando em uma substância não newtoniana, que devido a sua natureza altamente gelatinosa resiste ao adensamento, principalmente quando a água bruta possui baixa turbidez (FERRANTI, 2005).

Nos decantadores ocorre a remoção de grande parte do material sólido, e a água com as impurezas ainda dispersas que não sedimentaram é direcionada

para os filtros, onde ocorre a etapa de clarificação final. Dessa forma os principais resíduos concentrados em uma ETA são originados da água de limpeza dos filtros, do lodo dos decantadores e dos rejeitos de lavagem dos tanques de equalização.

Como material residual, podemos ter o lodo gerado pela adição dos coagulantes a base de ferro e alumínio ou outro tipo de lodo que resulta da adição de cal e hidróxido de sódio, ou soda, utilizados para remover cálcio e magnésio de águas duras (TAVARES *et al.*, 2009).

É importante a aplicação de técnicas de recuperação para que parte dos resíduos gerados possa ser reutilizada, já que vemos no Brasil uma carência de mananciais que apresentem boa qualidade (COSTA, 2011). É comum que esses mananciais sofram alterações em suas características naturais também por exposição ao ambiente e/ou ação humana. Alguns exemplos como, fortes eventos pluviais que aumentam significativamente a lixiviação de materiais sólidos, desmatamento e o lançamento de efluentes domésticos e industriais são os principais responsáveis pela degradação e contaminação dos recursos hídricos usados para o abastecimento público.

Para manter a qualidade da água tratada, uma Estação de Tratamento de Água (ETA), pode passar tanto por mudanças na sua estrutura física como também nos produtos químicos utilizados. Para um cenário de alta demanda de sólidos na água, temos como opção mais acessível a alteração dos aditivos químicos e não uma mudança física da estrutura de processamento.

O agente coagulante mais aplicado é o Sulfato de Alumínio, principalmente por sua relação custo/benefício, entretanto para altas cargas de sólidos presentes na água é preciso atuar com agentes de coagulação mais eficientes capazes de compensar essa alta demanda de sólidos. Como exemplo de um coagulante mais eficiente, podemos citar o Cloreto de Polialumínio (PAC), que para Costa (2011) consiste em um “complexo poli nuclear de íons de alumínio polimerizados, um tipo de polímero inorgânico de peso molecular medido em várias centenas de unidades. Ele é geralmente formulado como:  $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$ , combinado com pequenas quantidades de outros compostos”.

O cloreto de polialumínio (PAC) é um coagulante inorgânico polimérico, biodegradável, não tóxico, que produz menor quantidade de lodo, além de

apresentar menor quantidade de metais (KAWAMURA, 1991). Sua forte ação de coagulação faz com que os flocos se formem mais rapidamente e em tamanhos maiores e uniformes. Isso pode ser verificado na Figura I. 2, que apresenta a comparação dos diâmetros de flocos formados em função do pH com o uso do PAC frente ao uso de coagulantes menos eficientes como o Sulfato de Alumínio (YAMAMURA *et al.*, 2009).

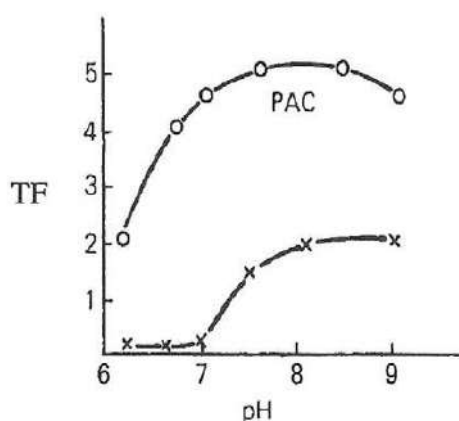


Figura I.2 – Tamanho do Floculo (TF) em função do pH, onde “o” representa o PAC e o “x” representa o sulfato de alumínio

Fonte: Hidroall.

Com o uso do PAC, os flocos formados apresentam um tamanho maior, logo sua a velocidade de decantação também aumenta. Além disso, podemos apontar a faixa de aplicação do PAC e Sulfato de Alumínio em relação ao pH. Sabe-se que o PAC apresenta uma maior faixa de pH, assim como menor consumo de álcalis para correção do mesmo já que o pH da água praticamente não é alterado, mesmo quando ocorre superdosagem do coagulante.

A disposição adequada dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água tem o intuito de diminuir os impactos ambientais associados a esses resíduos. Para o aproveitamento deste material é importante conhecer as características físicas e químicas do lodo, pois dessa forma é possível determinar o melhor destino.

A utilização dos resíduos de ETA no solo deve ser controlada, pois o lodo com alto teor de alumínio que possui grande afinidade com o fósforo, pode indisponibilizá-lo para as plantas (REALI, 1999).

Considerando que alguns resíduos de ETA podem apresentar alto grau de toxicidade principalmente pela presença de grande quantidade de metais no lodo, os aterros sanitários são enquadrados como a opção mais eficiente, porém para que possam ser encaminhados aos aterros sanitários é necessário que a concentração de sólidos na torta seja superior a 25% (REALI 1999).

Um esquema ilustrativo do funcionamento de uma estação de tratamento de lodo (ETL) pode ser visualizado na Figura I.3.

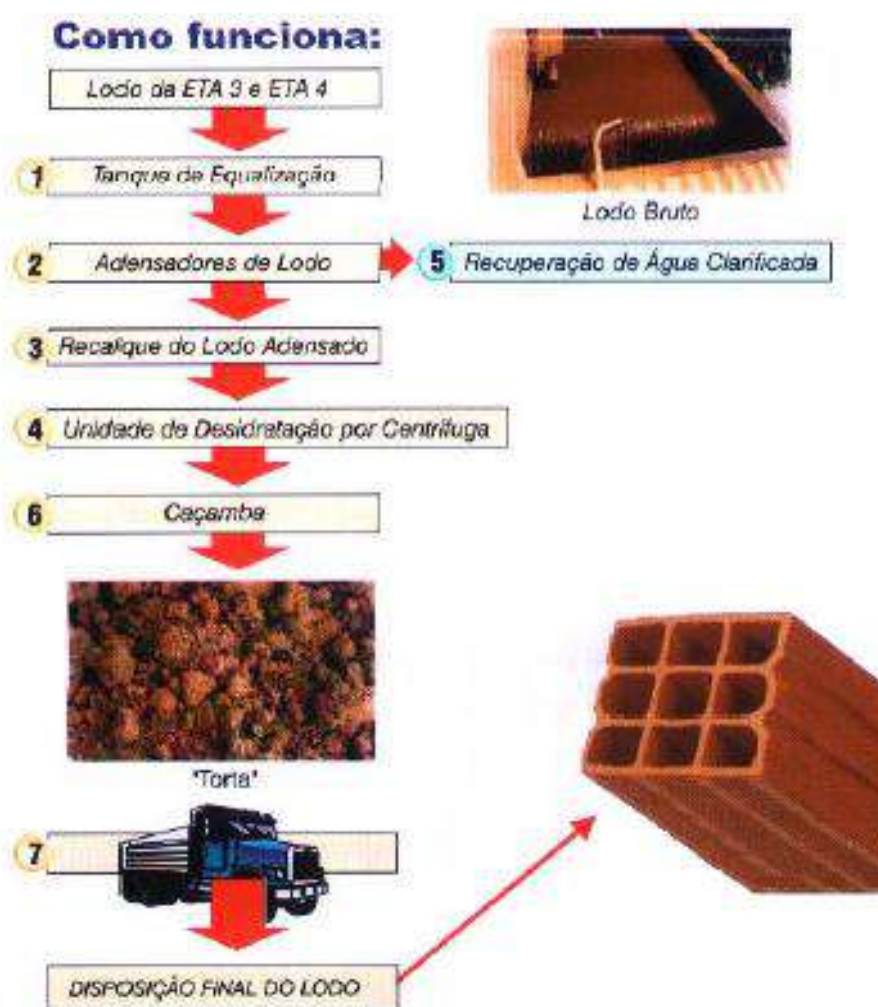


Figura I.3. Fluxograma da ETL da SANASA.

A etapa de equalização tem como função estabilizar grandes oscilações de vazão na entrada do sistema de tratamento afim de não comprometer as etapas

seguintes. No espessamento do lodo temos a remoção da água através da sedimentação ou flotação. Já o processo de recalque se caracteriza por um condicionamento para a posterior desidratação por centrifugação. Dessa forma o material resultante dessa operação pode ser direcionado para o reaproveitamento.

Para o setor cerâmico, existem inúmeros estudos que visam otimizar a quantidade de lodo a ser incorporada no produto final, entretanto o limite de aplicação do resíduo não supera os 10%, principalmente pelo prejuízo nas propriedades físicas do material cerâmico final.

### **I.1.2 Reaproveitamento de lodo no setor cerâmico**

O lodo de ETA, além de ser utilizado na fabricação de cimento e concreto, pode ser aplicado na confecção de peças cerâmicas, tais como tijolos, telhas e outros blocos.

A utilização deste resíduo em misturas com argilas cria condições e promove os meios necessários para o aproveitamento mais racional dos recursos naturais, através de uma tecnologia voltada à preservação do meio ambiente, com ênfase dirigida para a reciclagem de resíduos sólidos inorgânicos.

O setor cerâmico no Brasil é abrangente, dinâmico, movimenta cerca de 6 bilhões de reais por ano e gera 400.000 empregos diretos e 1,25 milhões indiretos. De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica, atualmente, existem 6.620 indústrias no Brasil, sendo 4.200 produtoras de blocos, 2.400 de telhas e 20 de tubos. A quantidade de argila extraída por este setor é de 9.500.000 t/mês para uma produção mensal de 4.000.000.000 de blocos, 700.000.000 de telhas e 465 km de tubos (TRÍPOLI, 2006).

A maioria das indústrias está localizada nas regiões Sudeste e Sul. Segundo o SENAI (TRÍPOLI, 2006), a região Sudeste conta com 1.600 indústrias e 2000 olarias, responsáveis por uma produção mensal de 575.000 blocos e geração de 80.000 empregos diretos. Portanto, o setor de cerâmica vermelha tem potencial para absorver os resíduos gerados em 7.500 estações de tratamento de água do Brasil.



Por outro lado, o setor cerâmico produz os seguintes impactos ambientais quando da retirada de argila de jazidas: desmatamento, reconfiguração de superfícies topográficas, aceleração dos processos erosivos, indução de escorregamentos, modificação de cursos de água, aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão em cursos de água, assoreamento de cursos de água e inundações.

A fabricação de produtos cerâmicos consiste em várias fases, iniciando com a exploração da jazida e tratamento prévio da matéria-prima, passando pela homogeneização, moldagem e secagem do material terminando com sua queima.

Para as argilas serem utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, devem conter algumas características essenciais tais como ser de fácil moldagem, ter valor médio ou elevado para a tensão de ruptura à flexão, antes e após queimar; apresentar mínimo de trincas e empenamento. Estas características são determinadas pela plasticidade, capacidade de absorção e cessação de água e pelo seu comportamento ao calor (alteração de volume durante a secagem e a queima).

A diversidade de oferta de matérias-primas para construção civil é favorecida pela reciclagem de resíduos e isto viabiliza, eventualmente, reduções de preço nos produtos do setor. A partir da comprovação do desempenho destes produtos, é possível utilizá-los na construção de moradias populares, tornando-se um incentivo social habitacional.

Muitos são os resíduos industriais absorvidos pela indústria de cerâmica que, independente da sua origem são utilizados como matéria-prima alternativa. São eles os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose e metalúrgica. As massas utilizadas na indústria de cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes (OLIVEIRA & HOLANDA, 2004).

Segundo Tsutiya & Hirata (2001), as propriedades físico-químicas do lodo de ETA são semelhantes às encontradas nas argilas naturais, comumente utilizadas nas olarias para fabricação de peças cerâmicas. O lodo de ETA consiste basicamente em argila, silte e areia, além de matéria orgânica e outros

compostos químicos formados durante a coagulação e resíduos de alumínio e ferro, dependendo do tipo de coagulante utilizado. Além disso, os lodos podem conter materiais tóxicos como metais pesados (cobre, níquel, estanho, mercúrio, cromo, etc.), que são descartados indevidamente nos esgotos industriais.

A aplicação do lodo de ETA pode ser realizada durante o processo de fabricação de tijolos ou indiretamente na própria jazida onde a argila é extraída. O sucesso ou falha da utilização do lodo em peças cerâmicas segundo Cornwell *et al.*, (2000), depende dos seguintes fatores: Proximidade entre a indústria cerâmica e a estação de tratamento de água, características físico químicas dos resíduos, coagulantes e outros produtos químicos utilizados no processo de tratamento, aceitação deste resíduo pelos ceramistas e os impactos que este uso possa causar nas operações normais da indústria.

A composição granulométrica das massas de cerâmica vermelha exerce papel fundamental no processamento e nas propriedades dos diversos tipos de produtos. A introdução de materiais não plásticos, como a areia e o pó de carvão, que o lodo de ETA pode possuir em maior ou menor quantidade, altera a granulometria das massas, podendo haver alterações em seu comportamento durante o processo. Isto ocorre porque a areia e o pó de carvão são constituídos de partículas de tamanhos consideravelmente maiores que as das argilas (CORNWELL *et al.*, 2000).

Ainda segundo o autor, a umidade contida no resíduo é muito importante para seu manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos.

Em seus estudos, Teixeira (2002) verificou que em geral a adição do lodo à massa cerâmica sempre piora suas propriedades, dependendo das características deste lodo, da concentração utilizada e da temperatura de queima, entretanto, as suas características permanecem dentro dos limites aceitáveis para tijolos.

Mais recentemente, estudos realizados pelo autor com a adição de 0, 10, 20 e 30% de lodo em massa cerâmica, demonstraram que a resistência mecânica à flexão diminui em função do aumento da concentração de lodo à massa cerâmica (TEIXEIRA, 2006).

### **I.1.3 - Resíduos da construção civil**

A indústria da construção civil é um dos setores que mais utiliza matérias-primas naturais consumidas pela sociedade. Detém 75% do que é extraído do ambiente e que é essencial ao desenvolvimento do país, pois tem um grande peso na economia, onde é responsável por 40% da formação bruta de capital e a grande massa de emprego, respondendo por cerca de 7,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional tendo um faturamento da ordem de R\$ 126,2 bilhões de acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (ANICER, s.d.) .

A constituição dos resíduos da construção civil é heterogênea e dependente das características de cada construção e do grau de desenvolvimento da indústria em uma determinada região. Em geral é composto por uma mistura de brita, areia, concreto, argamassa, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, resto de madeira, caixas de papelão, ferro e plástico. Estes resíduos são classificados, segundo a NBR 10.004 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – como resíduos sólidos inertes (resíduos de Classe II-B). Entretanto, não existem estudos sobre a solubilidade dos resíduos como um todo, de maneira a comprovar que não possuem índices de concentração de poluentes superiores ao especificado na referida Norma, o que os classificaria como resíduos não inertes (resíduos Classe II-A).

John & Agopyan (2000) estimaram que nos municípios brasileiros de médio e grande porte, a massa de resíduos produzidos pela construção civil varia de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos. As estimativas para cidades como Jundiaí, Santo André, São José dos Campos, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, Campinas, Salvador e Vitória da Conquista variaram entre 230 kg/hab.ano até 760 kg/hab.ano, com uma média de 510 kg/hab.ano.

Para Brito (1999), a estimativa de resíduos produzidos pela Prefeitura Municipal de São Paulo é de aproximadamente 280 kg/hab.ano. Projeções do IBGE mostram que cada habitante, em média, geraria anualmente 0,51 t destes resíduos, o que significa que o volume de entulho no Brasil seria da ordem de 92 milhões de toneladas/ano.

Segundo Hirschfeld (1996), existe desperdício em todos os setores da construção civil. Com relação ao tijolo, a quantidade efetivamente entregue em relação à quantidade adquirida, registra porcentagens de perdas que vão de 3% a 20%. No corte de peças, as porcentagens aumentam ainda mais.

Segundo Ângulo (2005), na definição de RCD (resíduos de construção civil) estão incluídos todos e quaisquer resíduos provenientes desta atividade, seja de construção ou demolição, com presença ou não de solos ou vegetação. Os resíduos de concreto (RC) incluem os rejeitos de demolição de estruturas de concreto, resíduos de usinas de fábricas de elementos pré-moldados, concretos pré-misturados, pavimentos de concreto, entre outros.

A Resolução 307 do Conselho do Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 2002), prevê a responsabilidade dos municípios na elaboração do plano de gestão destes resíduos, já que são notórios os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde da população pela falta do mesmo.

Em geral a aplicabilidade do resíduo de construção e demolição está canalizada para a utilização como agregado sendo denominado agregado reciclado definido como o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentam características técnicas para aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. As perdas de tijolos são destaques quando se trata de desperdício na construção civil, por ser a parcela visível e também porque o consumo desnecessário deste material resulta numa alta produção de resíduos.

Neste contexto, temos um setor com enorme potencial de reaproveitamento seja das sobras de tijolos como do lodo ou na da fabricação de produtos cerâmicos.

## **I. 2 - OBJETIVOS**

### **I. 2.1 - Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho é avaliar a viabilidade técnica do uso conjunto de resíduo oriundo da construção civil e o lodo de ETA para a produção de blocos cerâmicos, sendo uma alternativa de destinação final destes resíduos sólidos urbanos.

### **I. 2.2 - Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar as propriedades físico-químicas do lodo coletado na estação de tratamento de água em estudo;
- Avaliar através de ensaios físico-mecânicos e químicos as propriedades dos corpos cerâmicos obtidos com a adição do lodo de ETA e tijolo (cerâmica vermelha) obtido como resíduo da construção civil em estudo;
- Determinar o efeito do coagulante, cloreto de Polialumínio, nas propriedades do material cerâmico.

## II - MATERIAIS E MÉTODOS

### II.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização da parte experimental desta pesquisa foram utilizadas as seguintes matérias primas:

- Sobras de tijolos - fração retida na malha de 115#.
- Lodo proveniente da ETA Águas do Imperador utilizando o PAC como coagulante,
- Lodo calcinado a 700 °C

### II.2 – TRATAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As sobras de tijolos em tamanhos variados foram inicialmente submetidas ao processo de cominuição como pode ser visualizado na Figura 2.1.



Figura II.1 – Sobras de Tijolos: (a) coletada no canteiro de obra, (b) após a cominuição

Com o objetivo de reduzir a granulometria na cominuição do material foi utilizado um triturador de rolos e em seguida um pulverizador de disco ambos da marca DENVER.

O lodo proveniente da etapa de decantação da Estação de Tratamento de Água foi seco ao ar livre e em seguida submetido ao processo de cominuição com objetivo de desagregar os torrões de lodo formados após a etapa de secagem.



Figura II.2 – O lodo em diversas etapas: (a) após a coleta na etapa de decantação,(b) após a separação da fase líquida,(c) depois de seco ao ar, (d) depois de cominuído.

O lodo após a etapa de secagem foi calcinado a 700°C a fim de verificar se a adição da etapa de calcinação antes da incorporação as sobras de tijolo iria provocar uma diminuição do aumento de porosidade.

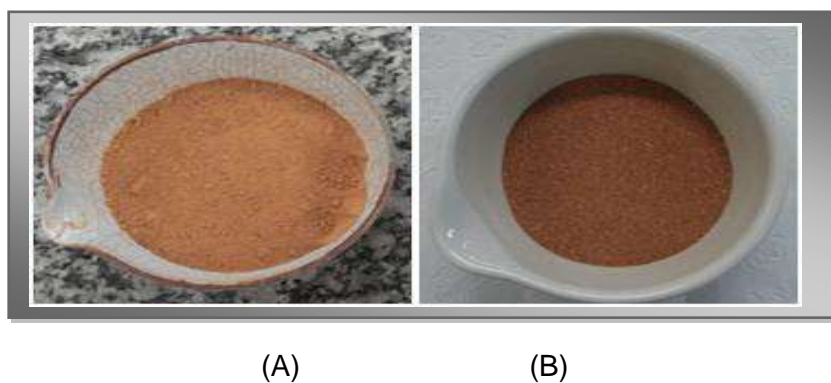


Figura II. 3 – Lodo seco (A) lodo após a etapa de calcinação a 700°C (B)

## **II.3 - CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DAS MATÉRIAS-PRIMAS**

### **II.3.1 -Caracterização Mineralógica**

A caracterização das matérias-primas lodo da ETA, e dos resíduos de tijolo foram realizadas empregando-se métodos físicos de Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Análise Térmica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

#### **II.3.1.1 - Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)**

O princípio da técnica consiste em transições eletrônicas, onde os elétrons das camadas mais externas dos átomos, quando atingidos por radiação, são expulsos, fazendo com que os átomos se ionizem. Ocorrem, então, transições entre camadas dentro dos íons formados, fazendo com que os mesmos emitam Raios X, cuja intensidade é caracterizada para cada elemento existente.

O espectro obtido por indutância de certa amostra, isto é, FRX, foi interpretado. A intensidade do espectro é proporcional à quantidade do elemento presente. Esta técnica foi utilizada para a determinação dos teores dos elementos na forma de óxidos.

Para as análises das sobras de tijolo e do lodo de ETA com PAC e do lodo calcinado foi utilizado em um espectrômetro de Fluorescência de Raios X do laboratório de Raios X – do CENPES - PETROBRAS.

#### **II.3.1.2 - Difração de Raios X (DRX)**

A utilização da técnica de difração de Raios X tem como finalidade a identificação da estrutura cristalina. O equipamento de DRX é basicamente um tubo emissor de Raios X, uma câmara circular onde se situa a amostra (goniômetro) e um detector que recebe os raios difratados. A técnica de ensaio consiste em incidir um feixe de Raios X de comprimento de onda conhecido ( $\lambda$ ) sobre uma camada fina e homogênea de pó, que gira no centro do goniômetro variando o ângulo de incidência ( $\theta$ ). Como consequência, o feixe se difrata e



reflete com ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se o difratograma correspondente. As análises foram realizadas utilizando o método do pó, com radiação  $K\alpha$  do cobre fonte a 40 kV e 35 mA.

Para as análises das sobras de tijolo e do lodo de ETA com e sem PAC o equipamento utilizado foi um Difratômetro X'PERT PRO, da PANalytical do Laboratório de Raios X, CENPES – PETROBRAS.

### **II. 3.1.3 - Análise Térmica**

Análise térmica é um grupo de técnicas nas quais propriedades químicas e físicas de uma substância e/ou seus produtos de reação são medidas, enquanto a amostra é submetida a uma programação de temperatura.

Dentre as técnicas termoanalíticas mais utilizadas encontra-se a Análise Térmica Diferencial (DTA do inglês Differential Thermal Analysis), na qual se acompanha a variação na propriedade física de temperatura da amostra em relação a um material que não apresente variação de absorção ou liberação de calor (termicamente inerte), chamado de material de referência (LEMOS, 2003).

O DSC foi desenvolvido com o intuito de evitar as dificuldades encontradas no DTA ou compensá-las, criando um equipamento capaz de quantificar a energia envolvida nas reações.

### **II.3.1.4 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A utilização desta técnica permite realizar um estudo das características superficiais e da morfologia das partículas. Quando uma radiação é empregada para iluminar um objeto, o valor limite do poder de resolução é definido pelo comprimento de onda da radiação. No microscópio eletrônico, ao invés da luz visível, a amostra é bombardeada com um feixe de elétrons altamente energético, permitindo, portanto, um poder de resolução bem mais elevado que na microscopia ótica.

Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura JSM6460LV JEOL. O microscópio possui um sistema de EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer)

utilizado para quantificar e qualificar os elementos químicos, além de permitir o mapeamento dos mesmos em toda a área selecionada.

#### II.4 - Conformação dos Corpos de Prova e Ensaio de Queima

Os corpos de prova foram preparados com as misturas das frações de tijolo e lodo com teor pré-determinado. Em função dos dados da literatura, que apontam o valor máximo de substituição de lodo de ETA na argila ser de 10%, estabeleceu-se que as quantidades a serem utilizadas de lodo, com PAC e do lodo calcinado seriam, 10% e 20% em relação à massa de tijolo empregada no preparo dos corpos de prova (20g total).

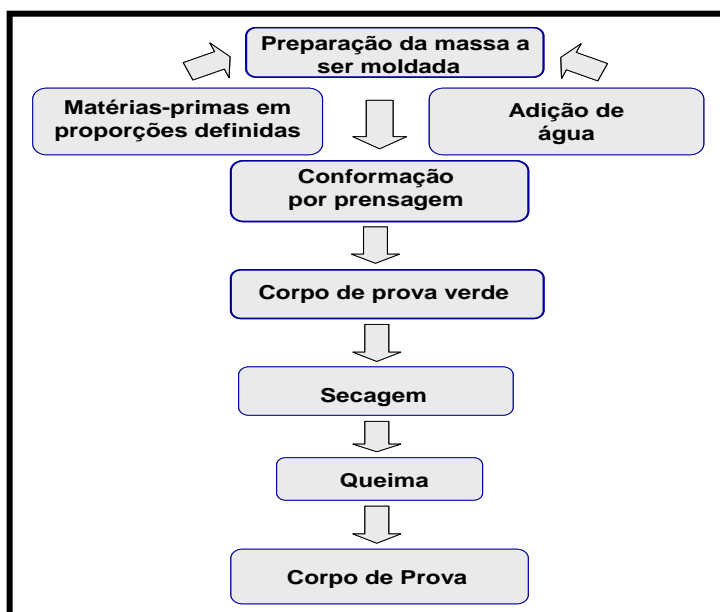


Figura II.4 – Diagrama das etapas concretizadas até a realização dos ensaios tecnológicos.

Deste modo foram preparadas diferentes misturas:

- Tijolo 100% (T100%)
- Tijolo 90% e Lodo com PAC 10% (90%T-10%LCPAC)
- Tijolo 80% e Lodo com PAC 20% (80%T-20%LCPAC)
- Tijolo 90% e Lodo calcinado 10% (90%T-10%LC)
- Tijolo 80% e Lodo calcinado 20% (80%T-20%LC)

As misturas preparadas formaram massas cerâmicas, as quais foram conformadas através de compactação (prensagem) em uma matriz retangular de aço inox, com medidas de 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 5 mm de espessura (Figura II.5), sob uma pressão de 200 kgf/cm<sup>2</sup> conforme aplicado no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SANTOS, 1989), conferindo uma maior estabilidade dimensional da peça cerâmica.



Figura II. 5 – Matriz retangular de aço inox utilizada na compactação dos corpos de prova.

Os corpos foram secos em estufa a 60°C. As dimensões (Li, Ci e Ei – Largura, Comprimento e Espessura Iniciais) foram determinadas através de um paquímetro digital em pontos estabelecidos conforme apresentado na Figura II.6).

Em seguida, os corpos de prova foram colocados dentro do forno elétrico para serem calcinados, nas temperaturas previamente determinadas de 950, 1050 e 1150 °C durante o período de 2 horas. Após o resfriamento dos corpos de prova, decorrente de convecção natural, foi feita a pesagem ( $M_F$  – Massa Final após a queima) e medição dos mesmos ( $L_F$ ,  $C_F$  e  $E_F$  – Largura, Comprimento e Espessura Finais após a queima) seguindo a mesma metodologia aplicada anteriormente.

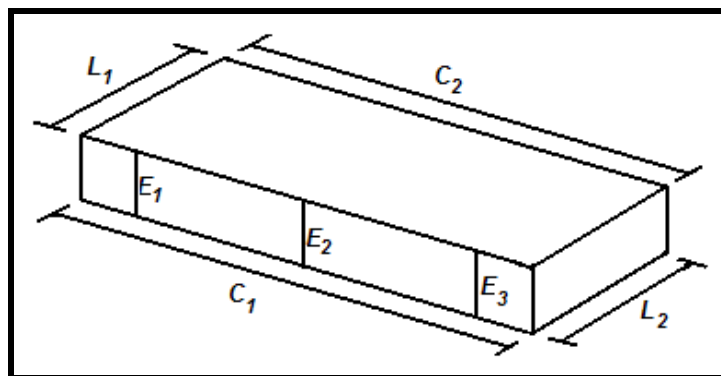


Figura II. 6 – Pontos estabelecidos para a determinação das medidas.

Com base nos valores obtidos foi possível determinar a Retração Linear (RL), a Absorção de Água (AA), a Porosidade Aparente (PA), a Densidade (D) e a Tensão de Ruptura à Flexão (TRF) dos corpos de prova.

## II.5 - Caracterização Física e Mecânica dos Corpos de Prova

Durante o processo de fabricação de cerâmica, especificamente em sua queima, reações termicamente ativas se processam no interior da massa cerâmica, promovendo a formação das fases determinantes para as características físicas e mecânicas na fase final do processo (DUTRA & PONTES, 2002).

Desta forma, através de ensaios, pode-se avaliar as propriedades do novo material cerâmico obtido.

### II.5.1 - Avaliação da Retração Linear (RL)

A Retração Linear pós queima de uma peça cerâmica é determinada a partir da equação II. 1.

$$RL (\%) = \left( \frac{C_I - C_F}{C_I} \right) \times 100 \quad (II.1)$$

Onde:

$C_I$  - Comprimento inicial do corpo de prova (em cm);

$C_F$  - Comprimento final do corpo de prova, depois de calcinado (em cm).

A retração linear de queima depende fundamentalmente da densidade aparente da peça prensada, da composição da massa e das condições de queima. O volume da peça prensada seca é a soma do volume das partículas sólidas e dos poros entre as mesmas. Na queima, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa.

O aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases líquidas, facilitando assim seu “escorrimento” para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram, resultando em uma diminuição do volume de poros e na retração linear.

### II.5.2 - Ensaio de Absorção de Água (AA)

A Absorção de Água (AA) é definida como o ganho percentual de massa que tem o corpo de prova quando absorve o máximo de água. Sua determinação é feita medindo-se o peso do corpo de prova seco e em seguida mergulhando-o em água fervente por 2 horas, período no qual a água inunda os poros abertos. Após este período, a amostra é suspensa e a água que escorre em sua superfície é ligeiramente seca. O percentual de água absorvida é determinado através da equação II. 2:

$$AA (\%) = \left( \frac{P_U - P_A}{P_A} \right) \times 100 \quad (II.2)$$

Onde:

$P_U$  - Peso do corpo de prova úmido (em g);

$P_A$  - Peso do corpo de prova seco (em g).

A absorção de água do material cerâmico é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta e avaliar a fundência do material.

### II.5.3 - Ensaio de Porosidade Aparente (PA)

A Porosidade Aparente é definida como o percentual volumétrico de porosidade aberta existente no corpo de prova. Sua medição é feita pelo método gravimétrico, segundo a equação II. 3:

$$\mathbf{PA\ (\%)} = \left( \frac{P_U - P_A}{P_U - P_I} \right) \times 100 \quad (\text{II.3})$$

Onde:

$P_U$  - Peso do corpo de prova úmido (em g);

$P_A$  - Peso do corpo de prova seco (em g);

$P_I$  - Peso do corpo de prova imerso em água (em g).

A porosidade final do produto é influenciada pela porosidade inicial do material recém-formado, verde, seco, da formação da fase líquida na queima e do rearranjo das fases cristalinas. O aumento da porosidade aumenta a fragilidade dos materiais, diminuindo a sua resistência mecânica, por potencializar o surgimento de falhas no material. Uma propriedade bastante relacionada com a porosidade é a absorção de água.

#### II.5.4 - Densidade (D)

A Densidade (D) do corpo de prova foi determinada utilizando a equação II. 4:

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{PA}{AA} \quad (\text{II. 4})$$

Onde:

*PA* - Porosidade aparente do corpo de prova (em %);

*AA* - Absorção de água do corpo de prova (em %).

O aumento da densidade durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que, ao se deformarem, passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles.

Como a massa específica aparente ou densidade do compacto é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a massa permanece constante durante a compactação, a única forma de aumentar a massa específica aparente é através da redução de volume. A densidade é uma propriedade importante relacionada com a resistência a flexão das peças, absorção de água e retração linear.

#### II.5.5- Ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)

A Tensão de Ruptura à Flexão do corpo de prova indica a sua capacidade de suportar esforços exercidos por cargas que possam levar a rupturas, esmagamento ou quebras, sendo obtida por meio de ensaio experimental e calculada através da equação II. 5:

$$\text{TRF (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3.P.b}{2.L.E^2} \quad (\text{II.5})$$

Onde:

*P* - Carga atingida no momento da ruptura (em kgf);

*b* - Distância entre os apoios do corpo de prova (em cm);

*L* - Largura do corpo de prova (em cm);

$E$  - Espessura do corpo de prova (em cm).

Durante o aumento da temperatura de queima, antes mesmo de atingir a temperatura máxima (ideal), ocorre modificação das fases cristalinas do tijolo. Na temperatura máxima ocorrem reações químicas e, com isso, a formação de nova fase cristalina e fusões parciais (fase líquida) e a consolidação do material através da formação de uma estrutura que, em processo de resfriamento, se torna rígido e com mais resistência que o material seco.



### III Resultados e Discussão

#### III. 1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A caracterização mineralógica das matérias-primas foi realizada empregando das técnicas de Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Análise Térmica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

##### III. 1.1 ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS –X

A composição química das matérias-primas utilizadas neste trabalho está apresentada na Tabela III. 1.

Tabela III. 1: Composição química elementar do resíduo de tijolo e do lodo precipitado com PAC e do lodo calcinado a 700°C.

| % peso                        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | MgO |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|-----|
| <b>Sobras de Tijolos</b>      | 63,8             | 30,6                           | 0,8              | <0,1 | 3,6                            | 0,6              | 0,4 |
| <b>Lodo da ETA com PAC</b>    | 49,7             | 39,5                           | 1,3              | 0,2  | 7,7                            | 0,8              | 0,3 |
| <b>Lodo calcinado a 700°C</b> | 49,3             | 40,7                           | 1,3              | -    | 7,0                            | 0,7              | -   |

Os dados da tabela III. 1 mostram que os resíduos de tijolos apresentam um alto teor de sílica e alumina característico das argilas minerais utilizadas na indústria de cerâmica vermelha. O lodo de ETA apresenta em sua composição valores significativos de sílica, alumínio e ferro, correlacionados com as características naturais dos particulados provenientes da água que chega à ETA. A fim de verificar a influência do coagulante nas propriedades dos corpos cerâmicos produzidos, foi feita a calcinação (700°C) do lodo antes da sua incorporação. Promovendo assim, a saída de toda a parte orgânica que poderia

ser a responsável pela diminuição das propriedades pesquisadas. Os dados obtidos mostram que o lodo após a calcinação não apresentou uma variação significativa de seus componentes.

### III. 1.2 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A Figura III. 1 mostra o difratograma do resíduo de tijolos.

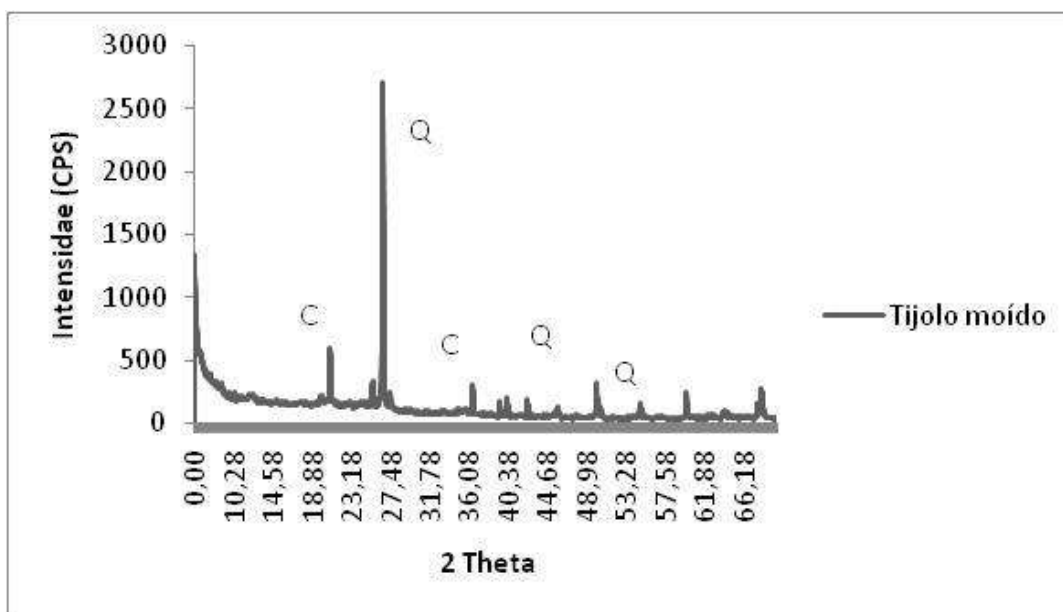


Figura III. 1: Difratograma dos resíduos de tijolos

A partir da análise do difratograma foi possível identificar que os resíduos de tijolos são compostos por caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) – JCPDS 29-1488 e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) – JCPDS – 46-1045; minerais característicos das argilas empregadas na indústria de cerâmica vermelha.

A Figura III. 2 mostra o difratograma do lodo com o PAC.

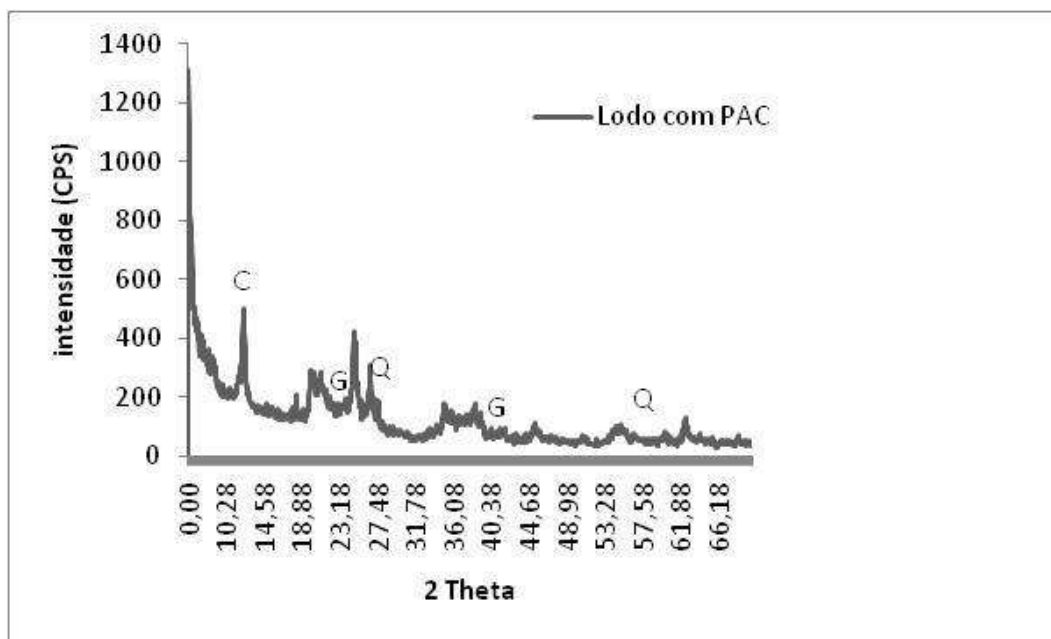


Figura III. 2 - Difratograma do lodo com PAC

Verifica-se para o lodo (PAC) a presença de caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) – JCPDS 29-1488, quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) – JCPDS – 46-1045; e Gibsitita  $\text{Al}(\text{OH})_3$  – JCPDS 33-0018. A presença desses elementos pode ser justificada pelas características dessa água que chega a ETA, que pode conter areia e materiais argilosos. O quartzo e a caulinita podem favorecer ao processo de conformação, pelo aumento da plasticidade, mas o excesso da gibsitita pode acarretar a quebra da peça durante a secagem, pois tem grande capacidade de retenção de água, causando com isso o aparecimento de microtrincas no corpo verde.

A Figura III. 3 mostra o difratograma do lodo após sua calcinação a  $700^\circ\text{C}$  onde é possível observar que o processo de calcinação provocou mudanças de fases dos constituintes do lodo. A quase ausência dos picos cristalográficos sugere que nesta faixa de temperatura já teve início a transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa).

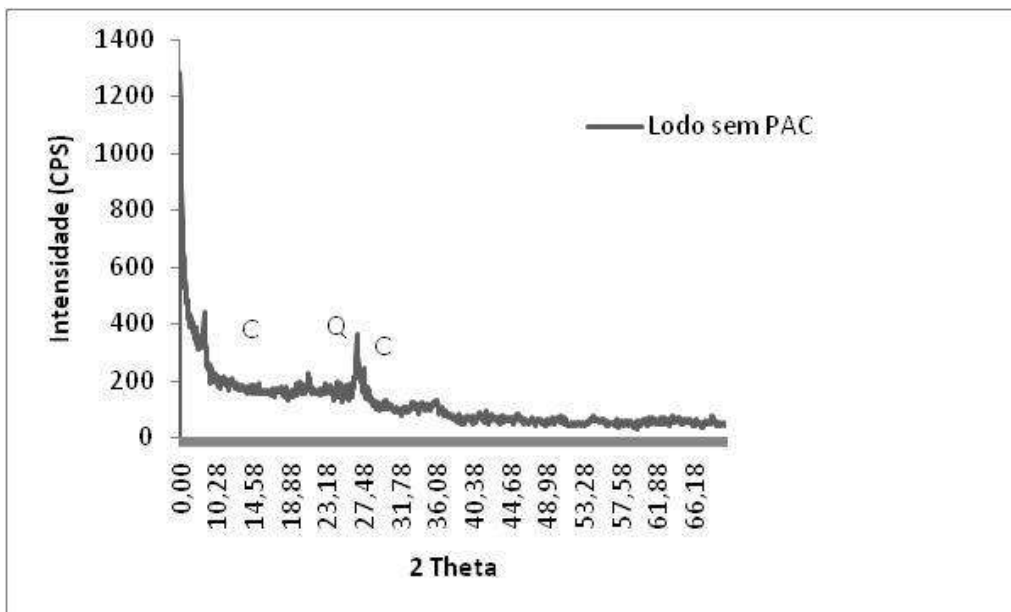


Figura III. 3 : Difratoograma do lodo após a calcinação 700 °C

### III. 1.3 ANÁLISE TÉRMICA

As condições para realização da análise térmica das matérias-primas envolvem atmosfera de ar e temperatura máxima de aquecimento de 1000°C. Na Figura III. 4 verifica-se a análise para a amostra de sobras de tijolo.

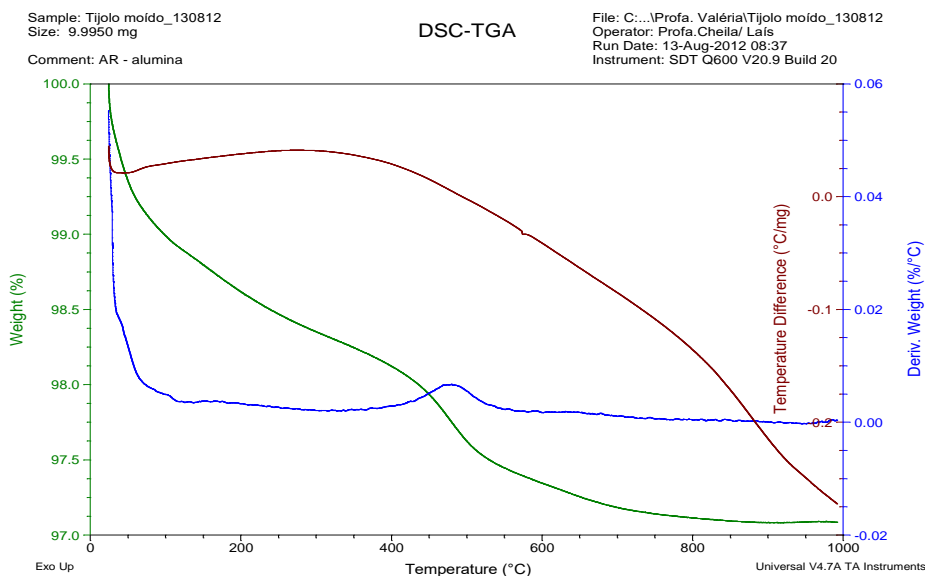


Figura III.4 – Análise térmica das sobras de tijolos cominuídos.

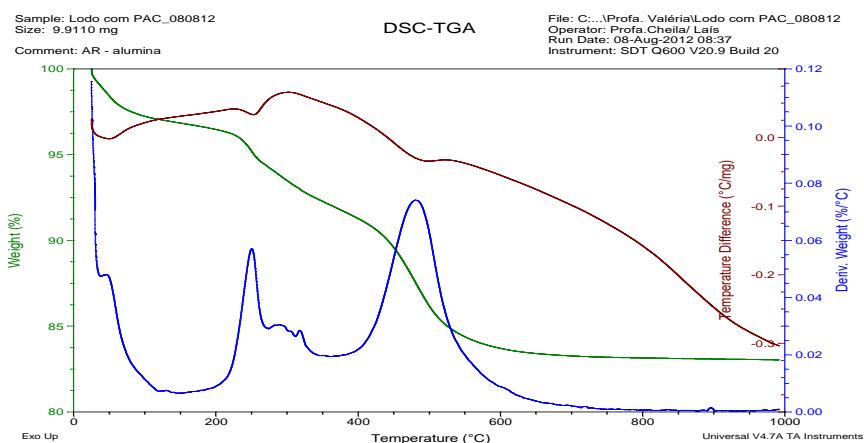


Figura III. 5 – Análise termica do lodo com PAC.

Através da análise do gráfico da Figura III. 5, verifica-se que a perda de massa total do lodo é de aproximadamente 17,5%. No período inicial observa-se uma expressiva perda de massa, que pode ser atribuída à saída da molécula de água não estrutural adsorvida nos poros da argila. Pode ser visto, até a temperatura de 250°C, um evento endotérmico que refere-se à perda de água intermolecular e a desidratação da gibbsita. Em torno de 400°C a 550°C, verifica-se uma perda de massa que pode estar relacionada à água de constituição e à desidroxilação da caulinita.

A Figura III. 6 mostra o resultado para o lodo após a etapa de calcinação.

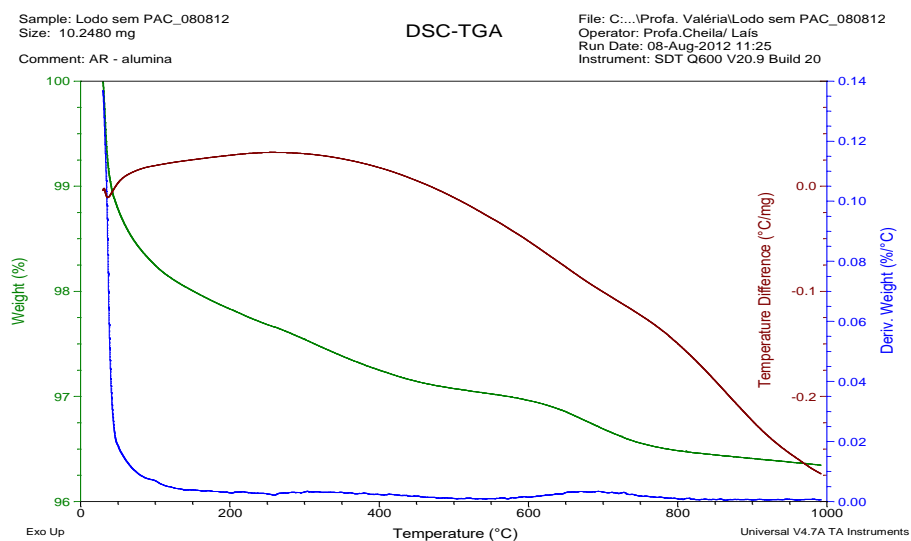


Figura III. 6 – Análise termica do lodo após a etapa de calcinação a 700°C.

Através da análise do gráfico da Figura III. 6, verifica-se que a perda de massa total do lodo é de aproximadamente 4,0%. Apenas no período inicial observa-se uma expressiva perda de massa, que pode ser atribuída à saída da molécula de água adsorvida nos poros da argila, como visto anteriormente na Figura III. 5. A quase ausência dos picos cristalográficos sugere que nesta faixa de temperatura de calcinação (700°C) já teve início as transformações observadas na Figura III. 5.

### III. 1.4. ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A Figura III. 7 ilustra a análise micro estrutural dos resíduos de tijolos

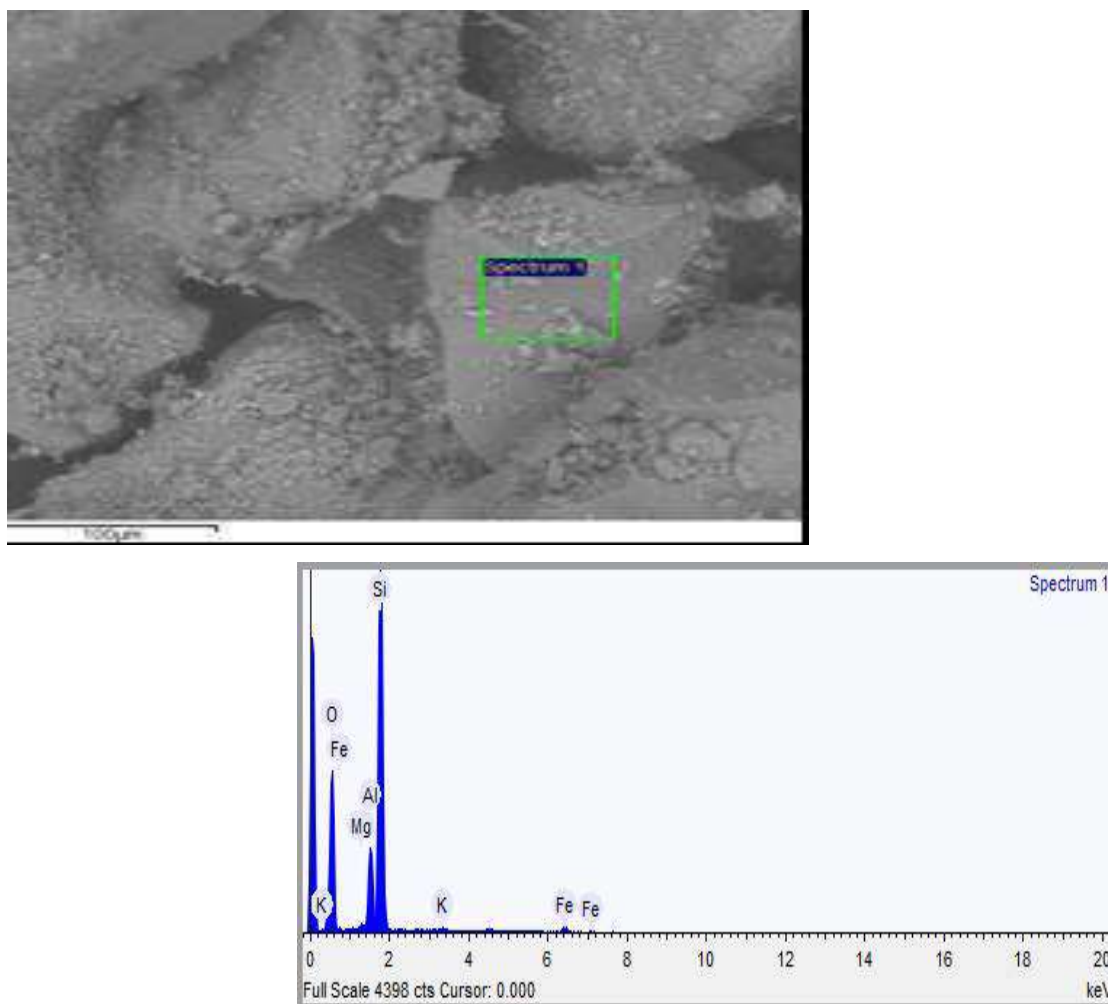


Figura III.7 : Fotomicrografia dos resíduos de tijolos e análise por EDS.

Observa-se na fotomicrografia das sobras de tijolos, um material denso, homogêneo e de formato regular. A análise por EDS mostra a presença de sílica, alumínio, ferro e potássio, como identificado por FRX.

A Figura III. 8 ilustra a análise micro estrutural do lodo com o PAC.

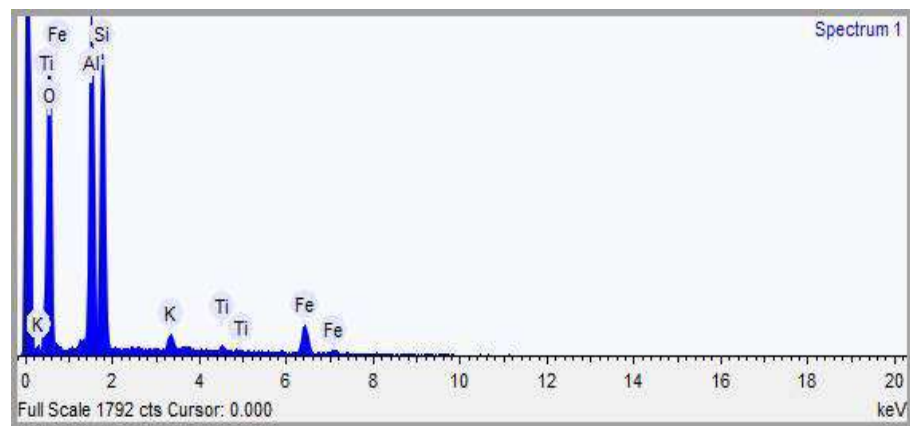
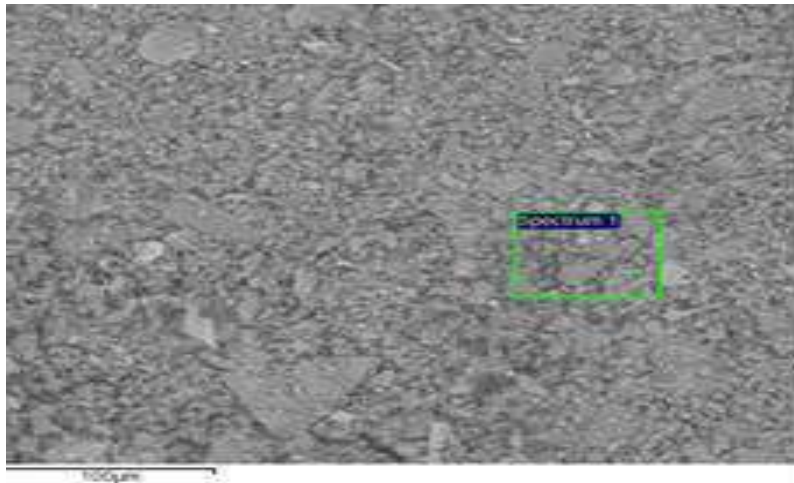


Figura III. 8 Fotomicrografia do lodo com PAC e análise por EDS.

Observa-se na fotomicrografia do lodo um aspecto heterogêneo e pouco poroso. A análise por EDS mostra a presença de sílica, alumínio, ferro e potássio e, titânio, como identificado por FRX.

A Figura III. 9 ilustra a análise micro estrutural do lodo após a calcinação a 700 °C

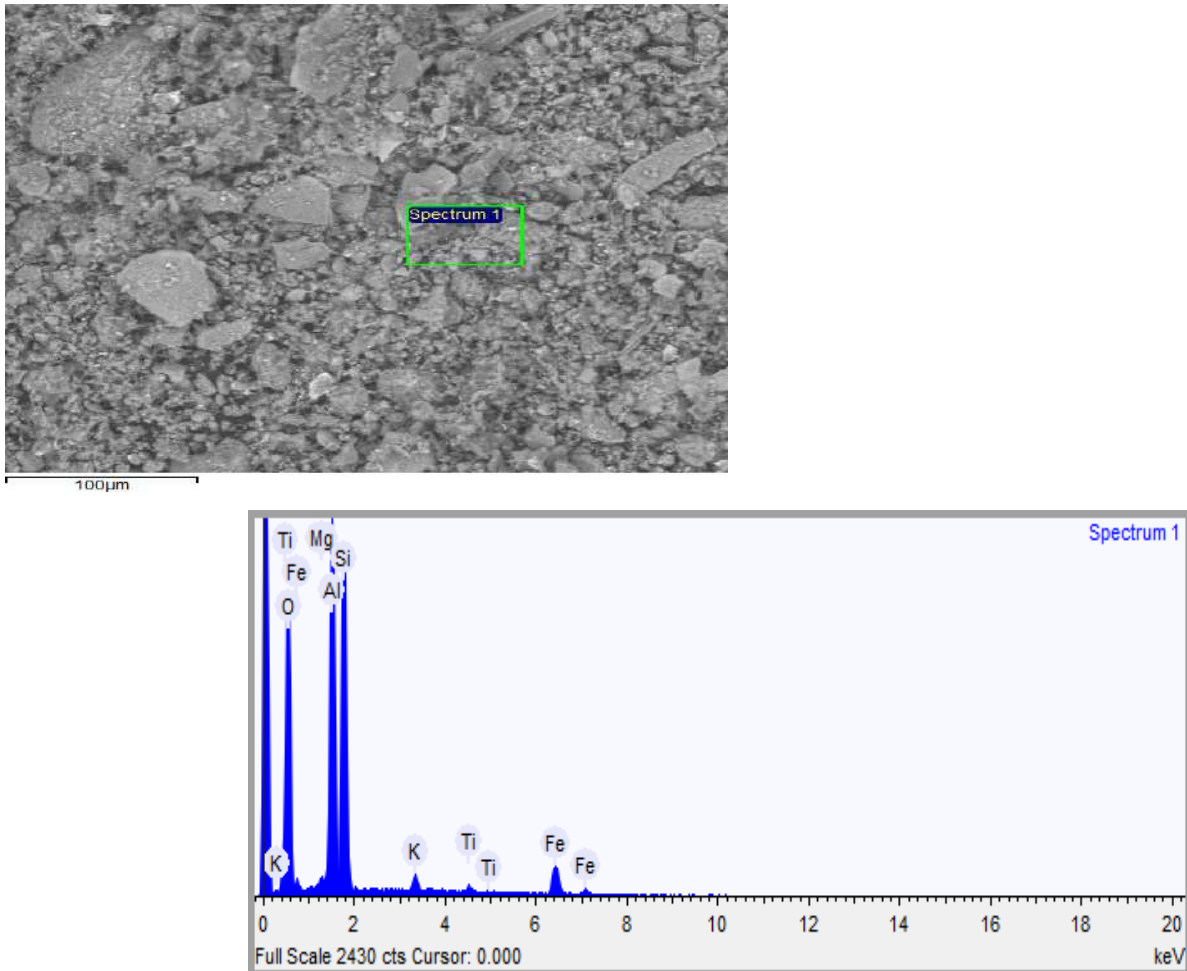


Figura III. 9 Fotomicrografia do lodo após calcinação a 700°C e análise por EDS.

Observa-se na fotomicrografia do lodo um aspecto heterogêneo. A análise por EDS mostra a presença de sílica, alumínio, ferro e potássio e, titânio, como identificado por FRX.



### III. 2 AVALIAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA APÓS A QUEIMA

Os corpos de prova foram submetidos à avaliação das propriedades físicas e mecânicas após o ensaio de queima. Esta avaliação constitui-se de ensaios de Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA), Densidade (D) e Tensão de Ruptura à Flexão (TRF).

Foram definidas cinco composições para a confecção dos corpos de prova e identificados com as letras **T 100%** (sobras de tijolo), **90%T-10%LCPAC** (90% de tijolo +10% de lodo), **80%T-20%LCPAC** (80% de tijolo +20% de lodo), **90%T-10%LC** (90% de tijolo +10% de lodo calcinado) e **80%T-20%LC** (80% de tijolo +20% de lodo calcinado)

Para cada composição do corpo de prova, foram confeccionadas cinco peças para serem queimadas em cada temperatura 900°C, 1000°C e 1100°C, totalizando 75 peças.

Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos produzidos estão representados a seguir graficamente.

#### ➤ Retração Linear

A Figura III. 10 apresenta a retração linear dos corpos de prova testados

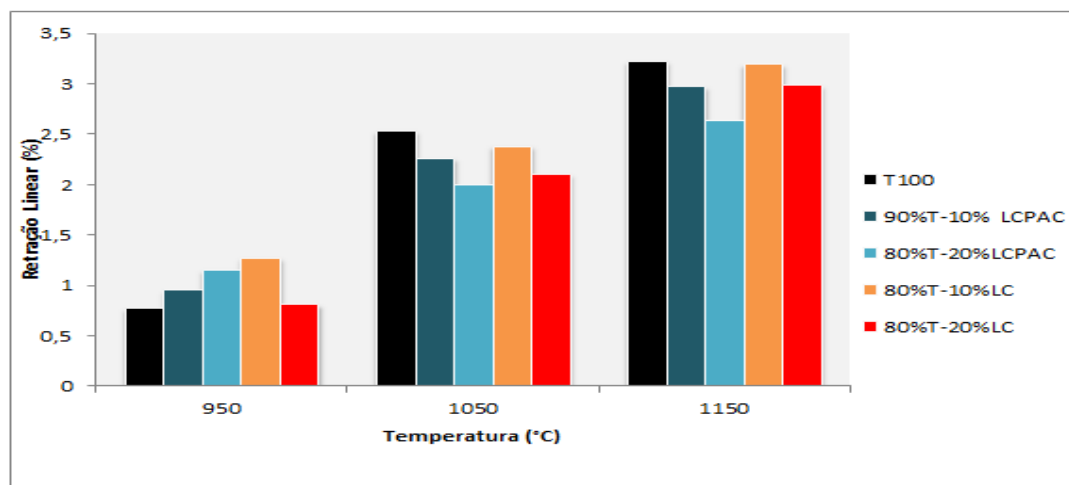


Figura III. 10 Gráfico de Retração Linear das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

Na Fig. III. 10 observa-se a variação da retração linear das peças cerâmicas em função do percentual do Lodo de ETA. Avaliando os dados do gráfico pode-se observar que a retração linear aumenta com a elevação da temperatura de queima para todas as misturas estudadas.

Verifica-se também que com o aumento da temperatura houve um acréscimo nos valores de retração linear em todas as combinações devido à sinterização das massas cerâmicas. A 1100 °C nota-se maiores valores de retração linear para todas as massas estudadas. Este comportamento está associado, principalmente, ao processo de vitrificação dos corpos cerâmicos que está em curso nesta temperatura.

Para as temperaturas de 1050 °C e 1150 °C observa-se uma diminuição da retração à medida que o teor de lodo aumenta na mistura

Para a temperatura de 950 °C a retração linear apresentada pelas misturas de tijolos com lodo demonstram comportamento inverso ao observado para as outras temperaturas. Isso pode ser explicado, pois para tal faixa de temperatura não ocorrerá alterações na composição mineralógica do tijolo, pois as transformações pertinentes já ocorreram em sua totalidade na etapa de produção dos tijolos. Assim as alterações que devem estar acontecendo são provenientes da adição do lodo ao tijolo, acarretando um aumento da retração.

Apesar do ensaio de retração linear para classificação cerâmica não ser um parâmetro normatizado pelas NBR's, é um importante parâmetro industrial. Quando a cerâmica apresenta-se porosa ela é caracterizada por baixa retração linear, na ordem de 3%, o semi-poroso é caracterizado por uma retração de 4-6% e o gresificado por uma retração linear de 8% (BORLINI, 2002).

#### ➤ Absorção de Água

No gráfico da Figura III. 11 observa-se que com o aumento da temperatura houve uma redução no percentual de absorção de água. Observa-se uma relação inversamente proporcional entre o aumento do teor de lodo e a diminuição da absorção. A composição de tijolo com 10% de lodo calcinado apresenta uma absorção de água bem semelhante ao tijolo puro em todas as temperaturas de queima estudadas.

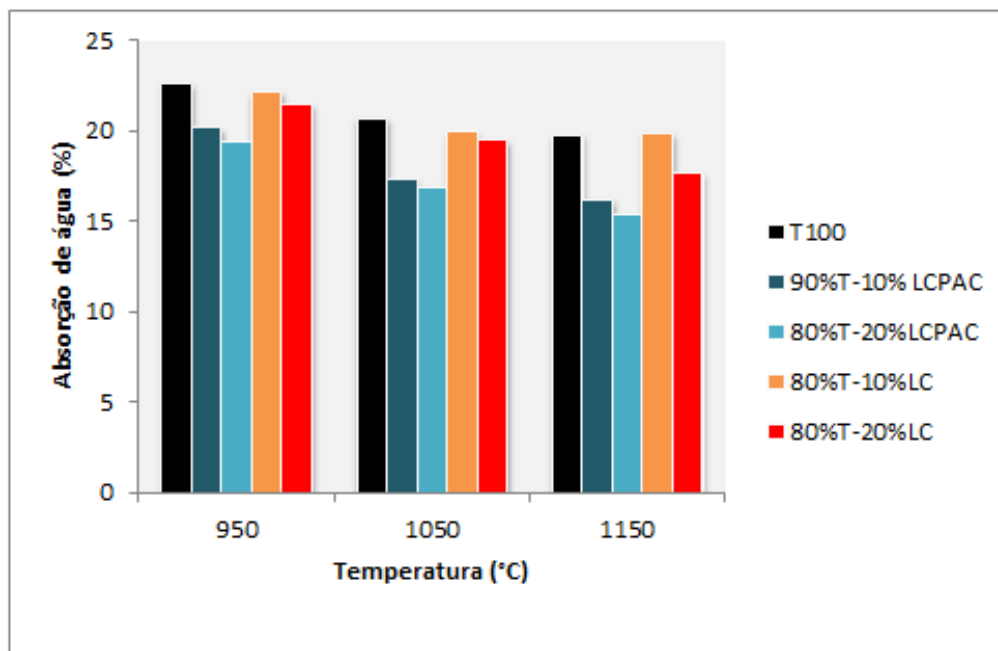


Figura III. 11 - Absorção de água das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

A partir dos parâmetros analisados verifica-se que os corpos de prova produzidos em função do teor de lodo adicionado a sobra de tijolos apresentam uma baixa retração linear, podendo ser classificados como semi poroso. O percentual de absorção de água encontrado os classifica para a aplicação na produção de cerâmica vermelha.

➤ Porosidade Aparente

A Figura III. 12 apresenta a porosidade aparente dos corpos de prova. O valor de porosidade aparente é um método de avaliação de materiais cerâmicos que sofre influência direta da temperatura de queima e pode ser confrontado diretamente com os resultados de absorção de água e densidade.

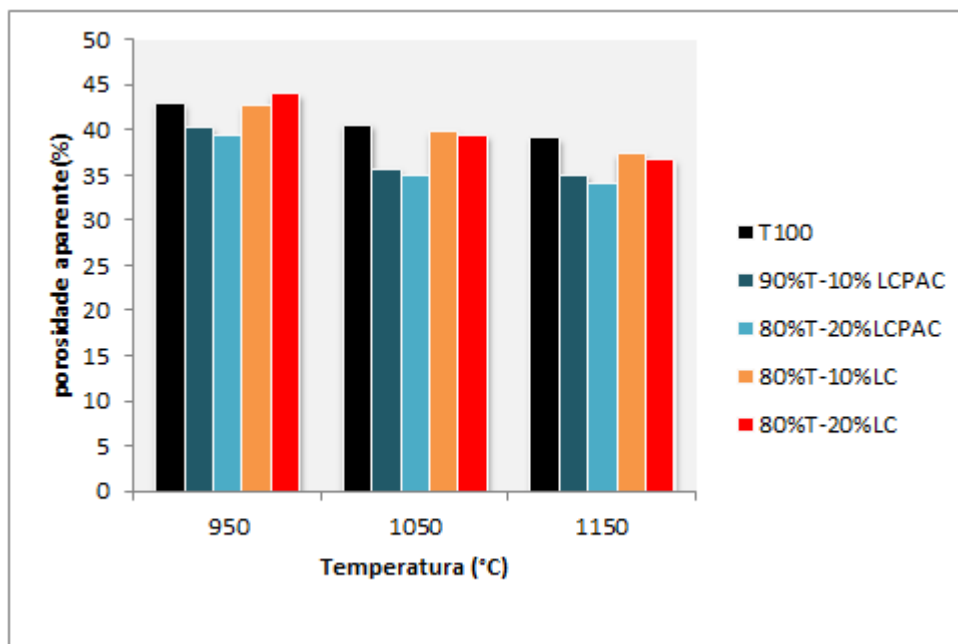


Figura III. 12 - Porosidade aparente das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

Na Figura III. 12 observa-se que houve uma variação muito pequena na porosidade à medida que a temperatura de queima foi aumentando e que a adição de maiores teores de lodo à massa cerâmica não acarretou um aumento na porosidade em todas as temperaturas estudadas. Pode-se observar ainda que a adição do lodo após a calcinação, confere uma porosidade aparente menor do que os corpos de prova constituídos somente de resíduos de tijolos.

#### ➤ Densidade

Já o gráfico da densidade Figura III. 13 apresenta variações de densidade dos corpos de prova à medida que o teor de lodo aumenta em todas as faixas de temperaturas pesquisadas. Os corpos de prova preparados com lodo calcinado mostraram valores de densidade inferior aos similares preparados com lodo (PAC).

Portanto, constatou-se através dos resultados obtidos que quanto maior a temperatura de queima, menor é a porosidade, menor a absorção de água e maior é a densificação do material.

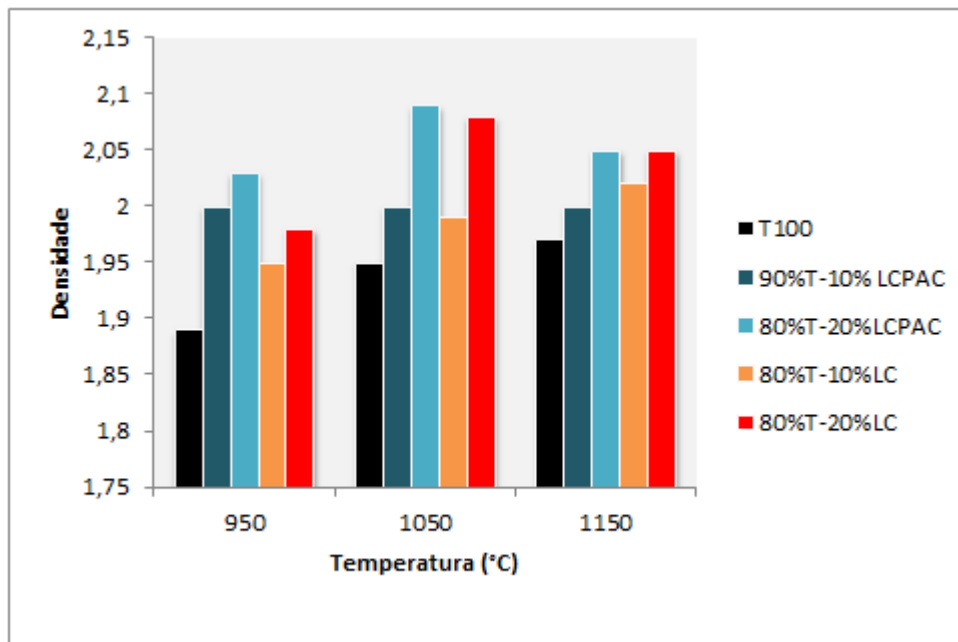


Figura III. 13 – Densidade das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

➤ Tensão de Ruptura à Flexão

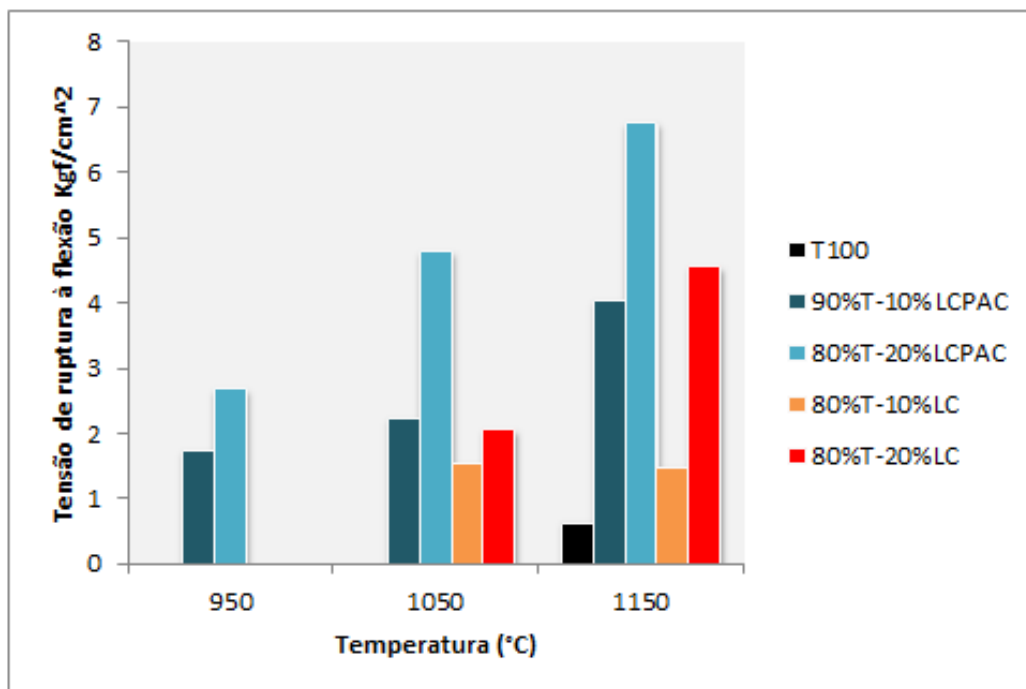


Figura III. 14 Tensão de Ruptura à Flexão das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

Para as massas cerâmicas letras **T 100%**, **90%T-10%LC** e **80%T-20%LC** (não foi possível realizar as determinações de TRF, pois estes não apresentaram a mínima resistência para este ensaio).

Os dados obtidos no gráfico da Figura III. 14 mostram um aumento na TRF para todas as composições à medida que o teor de lodo e a temperatura aumentam. Isso é explicado pelo processo de transformação que ocorre nas fases presentes da argila em função da elevação de temperatura, diminuindo a porosidade das peças conferindo maior resistência. Quando materiais à base de argilas são levados a temperaturas maiores que 950°C é possível ocorrer algumas reações complexas e intrincadas. Uma dessas reações é a vitrificação que consiste na formação gradual de um vidro líquido que flui para o interior e preenche parte do volume dos poros. O grau de vitrificação depende da temperatura e do tempo de queima, assim como da composição da massa cerâmica. Essa fase tende a escoar ao redor das partículas que permanecem sem fundir e preenchem os poros como resultado de forças de tensão superficial (ou por ação capilar). Uma contração também acompanha esse processo (CALLISTER, 2007).

Segundo Souza Santos (1975) a retração de queima da caulinita atinge o valor máximo a 950°C, a vitrificação se inicia entre 950°C e 1225°C devido a liberação de cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ) que irá reagir com os óxidos metálicos livres, formando vidro.

Entretanto observa-se uma diminuição da TRF para os corpos cerâmicos preparados com lodo calcinado, pois as mudanças de fase observadas nesta temperatura ocorreram sem contato com as partículas de tijolo.

Os valores de TRF encontrados para as massas cerâmicas produzidas não alcançaram o valor mínimo de 15 kgf/cm<sup>2</sup> estabelecido pela NBR 7170/1983. Provavelmente tal fato pode ser atribuído a granulometria de tijolo utilizada (115mesh) que não contribui para uma maior interação entre os grãos.

Embora os valores de resistência mecânica sejam fundamentais em elementos construtivos é fundamental que o resíduo a ser utilizado seja caracterizado química e fisicamente para que se possam desenvolver materiais alternativos construtivos de qualidade.

## IV - CONCLUSÃO

As observações feitas ao longo do trabalho evidenciam que:

1. O lodo utilizado apresentou maiores teores de sílica e alumina, devido ao material sedimentado proveniente nas águas. Sua fotomicrografia mostra um aspecto denso, heterogêneo e pouco poroso.

2- A temperatura de calcinação do lodo antes de sua incorporação às sobras de tijolos provocou a alteração das fases cristalinas que foram observadas no lodo *in natura*, acarretando na não contribuição do aumento das propriedades físicas esperadas.

3. Pelos resultados da Difração de Raios X as sobras de tijolos apresentaram majoritariamente as fases cristalinas do quartzo e caulinita. Segundo a análise de microscopia eletrônica, observa-se um aspecto homogêneo pouco poroso de natureza densa e formato irregular.

4. A incorporação dos lodos em matrizes cerâmicas, em geral, alteram as propriedades físicas do material levando a um aumento na qualidade das peças obtidas, quando comparado com as sobras de tijolos puras.

5. As análises dos ensaios físico-mecânicos (retração linear, absorção de água, porosidade aparente, densidade e tensão de ruptura à flexão) para os corpos de prova queimados, evidenciam que o aumento da adição em peso de lodo afetam as propriedades dos corpos cerâmicos, levando a efeitos significativos sobre a microestrutura dos corpos de prova.

6. A temperatura de queima estudada foi de 950°C, 1050°C e 1150°C. O aumento da temperatura de queima gerou uma diminuição no percentual de absorção de água, sobretudo na faixa de 1150°C influenciando na melhora dos resultados físico-mecânicos das massas cerâmicas.

A partir das observações apresentadas, conclui-se que o lodo de ETA (PAC), quando adicionado a sobras de tijolos, provoca um aumento nas propriedades mecânicas dos corpos de prova.

Apesar deste aumento na resistência do material provocado pelo lodo, ainda assim o valor de TRF se encontra abaixo do limite mínimo estabelecido pela NBR 7170/1983. Esse comportamento pode ser atribuído ao tamanho das partículas do resíduo de tijolo, que por ser relativamente grande não proporciona uma alta superfície de contato, prejudicando a interação entre os componentes lodo e tijolo na etapa de queima.

As transformações de fase, que ocorrem durante a etapa de queima, poderiam conferir uma melhora nas características finais do produto. Porém, estas transformações já ocorrem na operação de calcinação do lodo, não contribuindo efetivamente na queima do lodo junto ao resíduo de tijolo.

Desta forma, a introdução da etapa de calcinação do lodo não contribuiu da maneira esperada para a melhoria das propriedades finais do produto.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar a influência da granulometria dos resíduos de sobras de tijolos;
- Avaliar a adição do lodo em outros tipos de resíduos em substituição a argila;
- Avaliar a temperatura de pré-tratamento do lodo;
- Verificar a qualidade do lodo com diferentes coagulantes utilizados;



## V - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C; ZORDAN, S E & JOHN, V M.: *Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil*. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C; *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, 2005.

ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. *Dados do setor*. Disponível em: <[www.anicer.com.br/dados.htm](http://www.anicer.com.br/dados.htm)>. Acesso em: 20 ago.2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170: Tijolos maciços de barro cozido para alvenaria - Ensaio de desempenho - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

2000. BRASIL: Resolução 307 do Conselho do Meio Ambiente (CONAMA), 2002.

BRITO, J.A.: *Cidade versus entulho*. In: II SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), p.56-67.1999.

BRUNDTLAND, G.H. *et al.* (1988) *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas. Relatório. de 1987 da Comissão Mundial Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU.

CALLISTER Jr, W. D.; *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução*, 7ª.ed., Rio de Janeiro, LTC, 2007.

CALMON, J. *et al.*: *Aproveitamento do resíduo de corte de granito para produção de tijolos de solo-cimento*. In: ENTAC-98 – Qualidade no processo construtivo, 1998, Florianópolis. Anais. Belo Horizonte, 2000.

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. *Commercial application and marketing of water plant residuals*. Denver: AWWA, 2000.

COSIN, S.; Kozievitch, V.F.J.; Santos, P.S.; Diaz, F.R.V -. Anais 48º Congresso brasileiro de Cerâmica, 2004, Curitiba, Paraná

COSTA, A.J.C. *Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP*. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

CYBIS, L. F. & DOS SANTOS, C. V. J.: *Aplicação das técnicas de produção mais limpas na indústria da construção civil - estudo de caso*, XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. 1ª Edição. São Paulo: Lbide Ltda, 2011.

DIJKEMA, G. P. J.; REUTR, M. A.; VERHOEF, E. V.: *A new paradigm for waste management*, Waste Management, 20 (8): 633 – 368, 2000.

DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. A. *Obtenção e análise de cerâmicas porosa com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico*. Cerâmica, São Paulo. V.48 ,nº 308,p.223-230,2002

FERRANTI, E. M.; *Desidratação de lodos de estação de tratamento de águas*. 2005. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FERRANTI, E. M.; GEHLING, G. R.; *Alternativa para desidratação de lodos de estação de tratamento de água (etas) em leitos de secagem – condicionamento químico com resíduo de cal*. In.: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

GANDOLFO, M. A.; SAUER, A. V.; JESUS, F. T.; *Demanda de água atual e futura nas aplicações de agroquímicos*, 2007.

HIRSCHFELD, Henrique. *A Construção Civil e a Qualidade: informações e recomendações para Engenheiros, Arquitetos, Gerenciadores, Empresários e Colaboradores que atuam na Construção Civil*. São Paulo, Atlas, 1996.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

KAWAMURA, S. *Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment*. JAWWA, 79, 6, 88-91, Japão, 1991.

LE MOS, B. B. *Generalidades da análise térmica*. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens, v15, n.3, 2003.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. *Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha*. Cerâmica. São Paulo, v. 50, n. 316, p. 324-330, 2004.

PINTO, T.P.: *Resultados da gestão diferenciada*. Técnica, n.31, P 31-34, nov/dez, 1997.

REALI, M.A.P.: *Espessamento de lodos de ETAs*. In: *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de água*, Marco Antônio Penalva Reali (coord.), Rio de Janeiro, ABES, 1999.

SANTOS, P. S. *Ciência e Tecnologia de argilas*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher LTDA, 1989.

TAVARES, R. S.; ARAÚJO, A. P. M.; PRAGANA, R. B.; SOUZA, S. M. Q.; ARRUDA, V. C. M. *Características físico-químicas dos resíduos das estações de tratamento de água do litoral sul do estado de Pernambuco e da região metropolitana do Recife*. In.: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

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

TRÍPOLI, R. Projeto de lei nº 465. Assembléia Legislativa de São Paulo. 2006.NBR 10004.

TSUTUYA, M. T.; HIRATA, A. Y. *Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. Anais.João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

WATANABE, M.: *O desafio de privatizar a moradia popular. Qualidade na construção, Habitação*, N 22, P.12-20, São Paulo, 2000.

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO- UPF. Capturado em 17 mar, 2007. Online. Disponível na Internet <http://www.upf.br/agua/simposio.html>

YAMAMURA, V. D. *Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC*. Anais do Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá/PR: 2009. p. 15-17.