



**UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE *Eucalyptus* PARA A
PRODUÇÃO DE TIJOLO MACIÇO CERÂMICO**

MURILO MORGANDI COVEZZI

2003



—

20

100
100
100

54943

MFN 046954

MURILO MORGANDI COVEZZI

**UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE *Eucalyptus* PARA A
PRODUÇÃO DE TIJOLO MACIÇO CERÂMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal De Lavras, como parte das exigências do Curso De Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Fábio Akira Mori

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Covezzi, Murilo Morgandi

Utilização da serragem de *Eucalyptus* para a produção de tijolo maciço
cerâmico / Murilo Morgandi Covezzi. -- Lavras : UFLA, 2003.

71 p. : il.

Orientador: Fabio Akira Móri.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Madeira. 3. Tijolo. 4. Serragem de madeira. 5.
Aproveitamento de resíduo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342
-634.98

MURILO MORGANDI COVEZZI

**UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE *Eucalyptus* PARA A
PRODUÇÃO DE TIJOLO MACIÇO CERÂMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal De Lavras, como parte das exigências do Curso De Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 20 de Fevereiro de 2003

Prof. José Tarcísio de Lima

DCF / UFLA

Prof. Lourival Marin Mendes

DCF / UFLA


Prof. Fábio Akira Mori
DCF / UFLA
(orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, essa força maior que existe, por tudo que me concedeu nesta vida;

A minha mãe Maria Eva, que é a mais verdadeira fonte de humildade, paciência e perseverança;

Aos meus irmãos Mário Sérgio, Moacir, Maria Elena, Margarete, Marta e Marinete e sobrinhos;

A Vanessa Carla Rodrigues pelo apoio, compreensão, amor e carinho dedicados a mim nestes últimos seis anos. Essa vitória é dedicada a você;

Ao Prof. Fernando Tadeu de Miranda Borges pela amizade e apoio nas horas mais difíceis da minha vida acadêmica;

E a todas as pessoas que jamais deixaram de me incentivar, por menor que fosse a contribuição, e que sempre souberam que a única forma de conhecer é descobrir e que descobrir é a melhor forma de ensinar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifestamos a nossa gratidão a todas e, de forma especial e particular:

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF) pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos;

Ao Professor Fábio Akira Mori pela orientação e liberdade na condução do meu experimento;

Aos Professores José Tarcísio Lima, Paulo Fernando Trugilho, e Lourival Marin Mendes pela oportunidade, orientação, apoio e amizade;

A todos os professores do DCF em especial ao Prof José Luis Pereira de Resende;

À Coordenadora do Programa de Pós-graduação da Engenharia Florestal, Soraya Alvarenga, pelo apoio no decorrer do curso;

A todos os funcionários do DCF, em especial a Lillian com seu jeitinho especial de resolver problemas, Gláucia, Chica, Terezinha, Hernani, Gilson, Zé Fazenda, Sr. Vico e Clair Rogério;

Aos amigos Sérgio, Celso, Cláudia, Juninho, Yustane, Graciane, Franciane Vanete, Warley, Paulo, Frederico Wesley, Zózimo, Vandeir, Júlio César, Beto Caldas, Renato, Rodrigo, José Lopes e Luis Firme;

A FIEMG / SENAI, na pessoa do Diretor do Centro de Formação Profissional Paulo de Tarso Nelson Boechart, e aos funcionários pela amizade, o apoio e a forma carinhosa com que me receberam na instituição, e em especial aos Técnicos do Laboratório de Cerâmica Sérgio e Luis Antônio;

Aos amigos do alojamento da UFMG, Ouro Preto (Cintium), Robson, Renato, Rodrigo, Ney, Juguimar e Wancley, pela hospedagem, paciência e amizade;

Aos Proprietários da Cerâmica Morgan, que abriram as portas da empresa para o desenvolvimento desta pesquisa, e em especial ao Vinicius.

E a todas as pessoas que de alguma contribuíram e influenciaram neste trabalho e por um lapso da memória esquecemos de citá-las.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1.1 Introdução Geral.....	1
1.2 Referencial Teórico.....	3
1.2.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>	3
1.2.2 Resíduos sólidos.....	4
1.2.3 Fatores geradores de resíduos no setor florestal.....	6
1.2.4 Materiais cerâmicos.....	8
1.2.5 Incorporação de materiais orgânicos à argila na produção de produtos cerâmicos.....	9
1.3 Referências Bibliográficas.....	11
CAPÍTULO 2 Ensaio preliminares em laboratório para a avaliação da argila e dos traços de misturas argila/serragem.....	13
Resumo.....	13
Abstract.....	14
2.1 Introdução.....	15
2.2 Referencial teórico.....	16
2.2.1 Madeira.....	16
2.2.2 Argilas.....	17
2.2.3 Caracterização mineralógica por difração de Raios-X.....	19
2.3 Materiais e métodos.....	20
2.3.1 Serragem.....	20

2.3.2 Argila.....	20
2.3.3 Preparação das diferentes concentrações de serragem/argila.....	21
2.3.3.1 Umedecimento e homogeneização das amostras.....	22
2.3.3.2 Extrusão / confecção de corpos de prova.....	22
2.3.3.3 Numeração e marcação dos corpos de prova.....	23
2.3.3.4 Secagem e queima de corpos de prova.....	24
2.3.4 Ensaios físicos e mecânicos nos corpos de prova.....	25
2.3.4.1 ensaios físicos dos corpos de prova.....	25
2.3.4.1.1 Determinação da umidade de extrusão (U)	25
2.3.4.1.2 Determinação da perda ao fogo (PF)	26
2.3.4.1.3 Determinação da Retração de secagem (RS), Retração de queima (RQ) e Retração total (RT)	26
2.3.4.1.4 Determinação da absorção d'água (Aa), Porosidade aparente (PA) e Massa específica aparente (MEA)	28
2.3.4.2 Ensaio mecânico dos corpos de prova.....	29
2.3.4.2.1 Determinação da Tensão de ruptura à flexão (TRF).....	29
2.4 Delineamento estatístico.....	31
2.5 Ensaios em laboratório de determinação dos componentes da argila e da serragem de <i>Eucalyptus</i>	31
2.5.1 Análise da argila por difração de Raios-x.....	31
2.5.2 Análise química da serragem.....	32
2.6 Resultados e discussão.....	32
2.6.1 Umidade de extrusão.....	33
2.6.2 Perda ao fogo.....	33
2.6.3 Retração de secagem.....	35
2.6.4 Retração de queima	35

2.6.5 Retração total.....	36
2.6.6 Massa específica aparente.....	36
2.6.7 Porosidade aparente.....	36
2.6.8 Absorção d'água.....	37
2.6.9 Tensão de ruptura à flexão a 100°C.....	38
2.6.10 Tensão de ruptura à flexão a 950°C.....	39
2.6.11 Análise da argila por difração de raios-X.....	39
2.6.12 Análise química da serragem.....	41
2.7 Conclusões.....	44
2.8 Referências bibliográficas.....	46
CAPÍTULO 3 Produção do tijolo maciço cerâmico com incorporação de serragem de <i>Eucalyptus</i> na indústria e avaliação em laboratório do produto acabado.....	48
Resumo.....	48
Abstract.....	49
3.1 Introdução.....	50
3.2 Referencial teórico.....	52
3.2.1 Classificação das indústrias pelo processo industrial.....	52
3.2.2 Materiais cerâmicos acabados.....	53
3.2.3 Etapas do processo de produção em escala piloto.....	54
3.2.4 Etapas do processo de produção do produto acabado.....	54
3.3 Materiais e métodos.....	59
3.3.1 Argila.....	59
3.3.2 Serragem.....	59
3.3.3 Medidas das proporções dos componentes.....	59
3.3.4 Pré-homogeneização dos componentes.....	60

3.3.5 Homogeneização e umedecimento dos componentes.....	60
3.3.6 Extrusão do tijolo maciço cerâmico.....	60
3.3.7 Corte do produto acabado.....	60
3.3.8 Amostragem e identificação dos tijolos.....	61
3.3.9 Secagem.....	61
3.3.10 Queima.....	61
3.4. Testes laboratoriais para produto acabado.....	62
3.4.1 Teste de Absorção d'água.....	62
3.4.2 Teste de Resistência à compressão.....	62
3.4 Delineamento estatístico.....	64
3.5 Resultados e discussão.....	65
3.6 Conclusões.....	67
3.7 Recomendações.....	68
3.8 Referências bibliográficas.....	69
ANEXOS.....	70

RESUMO

COVEZZI, Murilo Morgandi. *Utilização da serragem de Eucalyptus para a produção de tijolo maciço cerâmico*. 2003. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

As serrarias produzem grandes quantidades de resíduos, os quais na maioria das vezes não são aproveitados adequadamente. Estima-se que cerca de 50% do que é explorado torna-se resíduo durante o processo de industrialização. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a incorporação de serragem da madeira de *Eucalyptus* no processo de produção do tijolo maciço cerâmico. Para atingir este propósito, este trabalho foi dividido em duas fases. A primeira fase foi o ensaio preliminar da argila e dos traços de mistura argila/serragem em laboratório. Para isto, utilizaram-se 10 tratamentos, sendo avaliadas as seguintes proporções de argila/serragem: 1:0, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 e 10:1, para cada tratamento oito corpos de prova (repetições) de 11.0 x 2.9 x 1.9 cm foram confeccionados e propriedades físicas e mecânicas foram determinadas. Dois tratamentos foram utilizados na segunda fase: a testemunha (somente argila) e o tratamento 5:1 (apresentou os melhores resultados para a mistura argila/serragem utilizada na primeira fase). Nesta fase avaliaram-se as seguintes características: umidade de extrusão, perda ao fogo, absorção d'água e resistência à compressão. Os dois tratamentos obtiveram valores dentro das normas técnica para tijolo maciço cerâmico. Os resultados indicam que a mistura argila/serragem é viável tecnicamente. Deve-se salientar que a incorporação de serragem de *Eucalyptus* apresentou uma redução significativa da resistência à compressão. Outra característica a ser observada é o peso do tijolo produzido, que com a adição de serragem foi 5% menor que o tijolo produzido somente com a argila, característica desejável para materiais de construção civil.

¹ Comitê de Orientação: Fábio Akira Mori (orientador) - UFLA, José Tarcísio Lima (co-orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho (co-orientador) – UFLA.

ABSTRACT

COVEZZI, Murilo Morgandi. *Eucalyptus* sawdust utilization for production of massive ceramic brick. 2003. 71p. Dissertation (Master in Forest Engineering) - Universidade Federal de Lavras, Lavras ¹.

The sawmills produce a large quantity of solid residue which, in most of the times, do not receive an adequate utilization. It is estimated that around 50% of the logs are transformed in solid residues during the industrial process. Thus, the objective of this study was to evaluate the addition of *Eucalyptus* sawdust in the process of ceramic massive brick production. To attend this purpose, this dissertation was divided in two phases. The first phase was the preliminary clay and clay/sawdust mixture traces analysis in laboratory. For this, 10 treatments for bricks production were utilized, based on the following clay/sawdust rates: 1:0, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 and 10:1. In each treatment eight samples (repetition) of 11.0 x 2.9x1.9 cm were formed and physical and mechanical properties of the samples were determined. Two treatments were utilized in the second phase: a control (only clay) and the 5:1 treatment (the mixture considered as best in the first phase). In this phase the following characteristics were evaluated: extrusion moisture, fire loss, water absorption and compression strength. In both treatments presented values which are considered as acceptable by massive ceramic brick technical standard. According to the results the addition of sawdust is technically viable. However, it must be emphasized that the addition of *Eucalyptus* sawdust caused a meaningful reduction in compression strength. Another important finding is that the brick weight with sawdust incorporation was 5% smaller than the brick without incorporation, which is desirable for a building material.

¹ Guidance Committee: Fabio Akira Mori (adviser) –UFLA, José Tarcísio Lima – UFLA (co-adviser), Paulo Fernando trugilho (co-adviser) - UFLA .

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

A atividade industrial, em termos de potencial poluidor, é uma das fontes mais representativas na geração de impactos ambientais.

Com a disponibilidade e utilização atual de melhores tecnologias que conformam a dinâmica do desenvolvimento industrial impulsionada pela pressão de um mercado globalizado cada vez mais competitivo e exigente quanto à preservação ambiental.

Entretanto, esse cenário vem sendo modificado, principalmente em relação ao tratamento dos efluentes líquidos e ao controle das emissões gasosas. Não se pode dizer o mesmo, ainda, do gerenciamento dos resíduos sólidos, cujo tratamento continua incipiente, por falta de políticas nacionais eficientes e de investimentos públicos e privados que incentivem a adoção de práticas de controle, com base em diretrizes e procedimentos pré-estabelecidos.

Tanto em âmbito estadual quanto na esfera nacional, há limitação de informações precisas acerca do universo de indústrias geradoras de resíduos por tipologia; quanto à localização; características e quantificação desses resíduos; e identificação das áreas de risco, com passivos ambientais por disposição final inadequada.

O controle efetivo dos resíduos industriais com características de periculosidade é uma preocupação de toda a sociedade e depende da manutenção dos dados atualizados de geração e destinação final, de modo a possibilitar a avaliação da fonte poluidora e a identificação da real necessidade de cada ramo industrial otimizar o seu gerenciamento.

A legislação ambiental confere ao gerador de resíduos a responsabilidade pela sua destinação adequada, com a determinação do tratamento prévio para a

disposição final ou armazenamento temporário, de forma a não comprometer o meio ambiente.

Em decorrência da crescente conscientização e pressão de mercado, as empresas vêm buscando a certificação ambiental, adotando medidas preventivas e corretivas no controle da poluição, com base no plano de gestão ambiental de cada unidade industrial. O objetivo do plano é evitar, minimizar, reaproveitar e reciclar os resíduos e, com isso, reduzir custos com o tratamento e disposição final adequados.

A área florestal gera grandes quantidades de resíduos, e estes poderiam ser utilizados na produção de uma gama de novos produtos, dentre estes os cerâmicos. Alguns exemplos de projetos referentes a estes produtos, seriam a confecção tijolo de plástico e madeira, de cimento e madeira, de argila com borra de petróleo e de argila com a sobra do processo de produção da pasta de celulose (Covezzi, 2000).

Portanto, procurou-se desenvolver este trabalho objetivando a utilização do resíduo de madeira de *Eucalyptus*, espécie escolhida pela grande área plantada no estado de Minas Gerais, a qual pela mudança da modalidade de uso de sua madeira que antes era destinada à produção de polpa para celulose e lenha, passando hoje a ser processada como madeira serrada.

Serrados estes que estão sendo utilizados para os mais diversos fins. Esse processo gera uma quantidade significativa de resíduos das mais variadas formas, entre elas a serragem que é a modalidade de resíduo utilizada neste trabalho, cuja produção está em torno de 13%.

O intuito desta pesquisa é incorporar estes resíduos no processo de fabricação de tijolos maciços. Algumas empresas já utilizam serragem de madeira na queima do tijolo, e por meio desta modalidade de incorporação, buscar elevar estes resíduos à categoria de subproduto, diminuir os custos de produção,

procurando diminuir o impacto ambiental causado pela não utilização racional destes resíduos.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 O gênero *Eucalyptus*

No Brasil e nos países da América do Sul, as primeiras plantações de *Eucalyptus* foram estabelecidas há cerca de 100 anos atrás. Na maioria dos casos essas plantações foram estabelecidas para propósitos não industriais, como quebra-vento, lenha e outros usos locais. A utilização industrial do *Eucalyptus* em larga escala começou com a sua industrialização por volta dos anos 60 do século passado. Correntemente, o *Eucalyptus* é largamente utilizado para polpa e produção de painéis reconstituídos (Tomaselli, 2000).

As variedades de espécies introduzidas nas plantações, no recente desenvolvimento industrial, estão centradas no uso de toras jovens de *Eucalyptus* para produtos sólidos de madeira. Na América do Sul, a maioria das espécies atualmente utilizada nas plantações é de crescimento rápido, considerado com um bom potencial para serraria e laminação o *Eucalyptus grandis*. Outras espécies potenciais são *Eucalyptus globulus*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. nitens*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. viminalis* (Acosta, 1998). Nas plantações implantadas recentemente, têm-se utilizado clones de *Eucalyptus*.

Esta modificação gradativa do plantio de eucalipto para produção de madeira serrada é devido a este gênero possuir características marcantes, como de ser a espécie florestal mais plantada no mundo e apresentar condições de crescer e se desenvolver em condições climáticas limitantes.

O gênero *Eucalyptus* é conhecido por sua grande variabilidade genética. São centenas de espécies com propriedades físicas e químicas tão diversas que fazem com que os eucaliptos sejam utilizados para as mais diversas finalidades (Pereira et al., 2000).

1.2.2 Resíduos sólidos

São considerados resíduos sólidos industriais aqueles em estado sólido e semi-sólido resultantes da atividade industrial, incluindo-se também os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias e aqueles gerados em equipamentos de controle da poluição. São considerados também os resíduos líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível (Rocca, 1993).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico elaborada em 1991, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, mostra que no Brasil são produzidas 241 mil toneladas diárias de lixo, das quais 130 mil toneladas são representadas por resíduos domiciliares, enquanto o restante, 111 mil toneladas, constituem resíduos industriais. Esse mesmo estudo indica que, desse total, apenas 24% recebe tratamento adequado (Sena, 1998).

Na categoria de resíduos industriais podemos ressaltar duas modalidades: resíduos agrícolas e florestais, as quais no Brasil têm mostrado valores expressivos, o que leva a considerar seriamente a sua utilização na cadeia produtiva. Resíduos não somente representam um problema econômico por meio do desperdício de matéria-prima como também um sério problema ambiental. São gerados anualmente nada menos que 3 milhões de toneladas de casca de arroz e 22,5 milhões de toneladas de resíduos florestais (serrarias). Souza, (1997).

O setor florestal produz grande quantidade de resíduo, pois desde a extração da árvore até o seu produto final industrializado gera-se em torno de 70% de resíduos, os quais muitas vezes não são aproveitados ou simplesmente queimado isto se deve, ao fato de o Brasil possuir a maior extensão de florestas tropicais do mundo, com aproximadamente 550 milhões de hectares. Os reflorestamentos para uso industrial correspondem a aproximadamente 4,5 milhões de hectares – principalmente os com os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* – em diversas regiões do país (Grupo de Trabalho Madeira e Florestas - GTMF, 2000).

O consumo anual de madeira roliça para todos os usos no Brasil é estimado em mais de 300 milhões de m³. Desse total, 102 milhões de m³ são oriundos de plantações florestais para uso industrial e processamento mecânico (GTMF, 2000).

Quanto à produtividade, enquanto as florestas tropicais sob manejo produzem 20 a 30 m³/ha de madeira comercial em ciclos de corte de 30 anos, as plantações florestais crescem até 45 m³/ha/ano em ciclos de corte que variam entre 7,10, 15, 25 anos, dependendo da finalidade da madeira (celulose, painéis ou serrados) e do gênero (*Pinus* ou *Eucalyptus*) (GTMF, 2000).

O uso da madeira de *Eucalyptus* pela indústria moveleira, embora incipiente, é bastante promissor e vem evoluindo, tanto na região sul como na região sudeste do país, com o surgimento de alguns pólos moveleiros especializados (GTMF, 2000).

Os serrados de eucalipto já são produzidos em escala comercial, tanto para exportação como para o mercado interno de móveis e da construção civil. Estima-se que a produção dos serrados de eucalipto tenha sido da ordem de 500 mil m³ em 1999 e que, para a produção de serrados de *Eucalyptus* e de *Pinus*, há um uso crescente deste tipo de matéria-prima; os serrados de *Eucalyptus*

contribuem com 10 a 15% dos serrados oriundos de plantações. A produção sustentada das plantações existentes de *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil é da ordem de 110 milhões de m³/ano para suprir todos os segmentos industriais, para tanto, são cortados cerca de 450 mil ha/ano (GTMF, 2000).

Atualmente, o Estado de Minas Gerais possui uma área plantada de *Eucalyptus* em torno de 1.535.290 ha, com produtividade média de 30/m³/ha/ano (Garlipp, 2000).

1.2.3 Fatores geradores de resíduos no setor florestal

Algumas informações sobre a geração de resíduos do setor florestal ao longo do processo de produção da madeira serrada poderão melhorar os sistemas produtivos e maximizar o valor da matéria-prima. Resíduos do desdobro e secagem da madeira são caracterizados como a diferença entre o volume de madeiras em toras que entra na serraria e o volume de madeira serrada produzida. A maior quantidade de resíduos é gerada por ocasião do desdobro das toras (Jara, 1987).

Os motivos da geração de resíduos podem ser discriminados da seguinte maneira:

- ✓ *Mudança geométrica do produto* - Ocorre quando da transformação das toras em tábuas. Obviamente as toras mais tortuosas ou de forma irregular são potencialmente geradoras de maior quantidade de resíduos;
- ✓ *Falta de medidas de proteção das toras* - Os pátios das serrarias são lugares ideais para o início de geração de resíduos e normalmente as toras permanecem ali estacionadas por um período de tempo suficiente, por exemplo, para o surgimento de rachas nos topos ou ataques de

organismos apodrecedores. Todos estes fatores provocam a desclassificação do produto. Essas perdas podem chegar a 5%;

- ✓ *Liberção de tensões durante o desdobro* - Durante o desdobro, em muitos casos são liberadas tensões de crescimento que ainda persistem na tora. Estas se manifestam na forma de gretas, rachaduras ou torcimentos das peças serradas. Em suma, algumas espécies têm maior tendência a rachar que outras;
- ✓ *Espessura do corte das serras* - A espessura ou calibre das serras influi significativamente no volume dos resíduos. As serras circulares provocam mais perdas que as de fita. Tudo isso pode ser aumentado quando existem deficiências de manutenção tanto das serras como dos componentes das máquinas;
- ✓ *Decisões inadequadas do operador* - A escolha do operador da serra principal, da canteadeira e destopadeira é de grande importância. Esses operadores estão continuamente tomando decisões que dizem respeito a três elementos das máquinas, as quais por sua vez, afetam o desempenho das indústrias: produtividade, qualidade do produto e taxa de recuperação da matéria-prima.;
- ✓ *Secagem de forma inadequada da madeira serrada* - Tanto na secagem da madeira ao ar livre como em estufas produzem-se defeitos que estão associados às contrações, trincas ou fendas superficiais, trincas de topo, colapso, empenamentos e biodeterioração por ataque de fungos. Quando isto ocorre, as peças precisam passar por um novo processo de refilamento, destopamento ou aplainamento. Todas essas operações são geradoras de resíduos (Jara,1987).

Estudo realizado por Tomaselli (1997), determinando o índice de rendimento em porcentagem em relação ao diâmetro mínimo de toras de *Eucalyptus*, chegou aos seguintes valores médios de rendimento: costaneiras 19,2%; aparas 15,6%; serragem 13,0% e madeira serrada, 52,3%.

Uma estimativa anual futura de madeira serrada de *Eucalyptus*, procedida pelo Grupo Madeira E Florestas (2000), apresentou a previsão de que até 2004 serão processadas e comercializadas aproximadamente 6.400.000 m³ de madeira de toras de *Eucalyptus*.

Correlacionando dados da pesquisa de índices de rendimento e estimativa de produção futura de madeira de Eucalipto, estima-se que em 2004 a quantidade de resíduo na modalidade de serragem e maravalha será de aproximadamente 832.000 m³.

1.2.4 Materiais cerâmicos

Cerâmica pode ser definida num sentido mais amplo do que implica a definição de dicionário da palavra “olaria”. A palavra grega *Keramos* significa “coisa queimada”; assim, o nosso moderno termo, cerâmica, inclui cerâmica branca, esmalte, refratários, vidros, cimentos, abrasivos e materiais de construção civil (Norton, 1973).

Atualmente define-se cerâmica ou materiais cerâmicos como “todos os materiais de emprego na engenharia (materiais de construção de engenharia) ou (produtos químicos inorgânicos, excetuados os metais e suas ligas) que são obtidos geralmente pelo tratamento em temperaturas elevadas”. Os materiais cerâmicos podem ser obtidos única e exclusivamente de argilas, de mistura de matérias-primas inorgânicas naturais, de óxidos inorgânicos puros, de carbonetos, de nitretos, etc. (IPT, 1980).

Segundo Verçosa (1994), os materiais cerâmicos mais comuns são os materiais de barro comum, usados correntemente na construção civil como tijolos, telhas e tijoleiras.

1.2.5 Incorporação de materiais orgânicos à argila na produção de produtos cerâmicos

O primeiro trabalho de que se tem notícia com incorporação de um material orgânico para a produção de material cerâmico data de 1800, em que Josiah wedgwood utilizava ossos animais calcinados para a produção de um dos materiais cerâmicos mais resistentes, a porcelana. A “porcelana de ossos” continha 50% de ossos, de 25 a 30% de caulim e argila e o restante era um material denominado feldspato potássico. Atualmente a engenharia está continuamente reclamando novos materiais para suportar as mais diversas condições. Assim novos, materiais estão sendo desenvolvidos como resultado de pesquisas tecnológicas visando solucionar questões das mais diversas (Santos, 1989).

Segundo Tomaselli & Simioni (1978), a prática de incorporar serragem de madeira na produção de produtos cerâmicos é muito antiga e é adotado por alguns países. Esses autores obtiveram bons resultados incorporando resíduos de diversas espécies sem nenhum tratamento prévio, utilizando a serragem em diversas granulometrias e formas, produzidas pelo processamento destas em serra circular e serra fita. Os tijolos foram produzidos nas proporções de (argila/serragem) 1:1 e 2:1, sendo que o tijolo produzido com serragem oriunda de serra fita, por esta ter um formato alongado, prejudicou o processo de conformação e corte do produto.

Amaral & Domingues (1991), considerando a conveniência da racionalização de custos na área de tratamento de resíduos e a tendência mais

moderna de reciclar ou aproveitar resíduos ao invés de tratá-los e dispô-los no solo, estudaram esquemas alternativos de utilização destes, entre estes estudos o envio de resíduos oleosos da limpeza de tanques de armazenamento de combustíveis para indústrias cerâmicas com o intuito de incorporar 5% destes à argila na produção de tijolos e lajes cerâmicas.

Entre as possíveis soluções para atender às exigências do manejo adequado dos resíduos sólidos industriais, destaca-se a possibilidade de seu aproveitamento, valorizando-os como matéria-prima e elevando-os à categoria de subprodutos. A construção civil é um dos setores que apresenta grande potencialidade para utilização de resíduos. Uma das alternativas foi desenvolvida na cidade de Piracicaba - SP entre uma empresa produtora de pasta celulósica e uma indústria cerâmica, através da qual apresentaram-se bons resultados com a incorporação do resíduo oriundo do processo de produção da pasta na confecção de bloco cerâmico de vedação (Nolasco, 1997).

Covezzi (1999) verificou a viabilidade técnica de incorporação de serragem de *Erismia uncinatum* WARM, "Cedrinho ou Quaruba" para a produção de tijolo maciço cerâmico. Este trabalho foi apresentado um índice de incorporação de 10% (dez por cento) de serragem no peso bruto final do tijolo maciço cerâmico confeccionado por meio desta modalidade. Destacou-se que o peso do tijolo confeccionado com serragem foi 16,4% (dezesesseis virgula quatro por cento) mais leve que o manufaturado somente com argila e, ainda, que com base em normatização técnica de ensaios preliminares em laboratório para produtos cerâmicos acabados pode-se confeccionar blocos cerâmicos, vulgarmente conhecidos como tijolos de 8 furos.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, M.S. Estado de la tecnologia en usos no tradicionales de la madeira de Eucalipto en el mercosur y otros paises. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECNOLOGY, SIF/UFV, 1., Belo Horizonte, *Proceeding...* Belo Horizonte: SIF/UFV, 1998. p.82-105.

AMARAL, O.S.P. ; DOMINGUES, G.H. Aplicação de resíduos oleosos na fabricação de materiais cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO,4., Rio de Janeiro, 1991. *Anais...* Rio de Janeiro:IBP. 1991. p. 01-30.

COVEZZI, M.M. Incorporação de serragem, de *Erismia uncinatum* WARM. ("cedrinho"), oriunda da indústria madeireira, na produção de tijolo maciço cerâmico. 1999. 64p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Mato Grosso.

COVEZZI, M.M. Estudo da viabilidade da Incorporação de serragem de *Erismia Uncinatum* WARM. "cedrinho" na produção de tijolo maciço cerâmico. In: WORKSHOP CENTRO-OESTE EM SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, Cuiabá, 2000. *Workshop...* Cuiabá: ABES, 2000. p. 35-64.

GARLIPP, R.C. Oferta e demanda de madeiras de florestas plantadas In: WORKSHOP MADEIRA E MOBILIÁRIO FEMADE, 2000, Curitiba. *Workshop...* Curitiba: SBS, 2000. p. 62-94.

GRUPO DE TRABALHO MADEIRA E FLORESTAS. Características do setor florestal brasileiro. In: ___ Fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis. São Paulo: SBS, 2000. p. 87-103.

IPT. Cerâmica vermelha e suas matérias-primas. São Paulo, 1980. 130p.

JARA, E.R.P. A geração de resíduos pelas serrarias. São Paulo: ABPM/IPT, 1987. 5 p. (Boletim ABPM, 59).

NOLASCO, A. M. Aproveitamento do resíduo da indústria de papel na produção de bloco cerâmico. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. *Workshop...* Curitiba: EMBRAPA/ SEPIA, 1997. p. 117-120.

NORTON, F. H., Introdução à tecnologia cerâmica. tradutor Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1973. 324p.

PEREIRA, J.C.D.et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas/Documentos, 38).

ROCCA, A. C. et al. Resíduos sólidos industriais. São Paulo: CETESB,1993.

SANTOS , P. S. Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras; Aplicações.2. ed. São Paulo. EDUSP, 1989. v.2. 501 p.

SENA, L.B.R. Política Nacional de Resíduos Sólidos. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/ Coordenadoria. de Planejamento do Meio Ambiente. 1998. Documentos Especiais

SOUZA, M.R. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: Experiência do laboratório de produtos florestais - IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, Curitiba, 1997. Workshop... Curitiba: EMBRAPA/SEPIA, 1997. p. 49-70.

TOMASELLI, I. Resíduos da indústria de processamento primário: uma oportunidade. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. Workshop... Curitiba: EMBRAPA/SEPIA: 1997. 10p.

TOMASELLI, I. Processing young Eucalyptus. In: *The future of eucalypts for wood products.* Lancelton: Tasmania, Australia: IUFRO. 2000 p.167-174.

TOMASELLI, I. ; SIMIONI, A. Utilização de resíduos - incorporação de serragem na fabricação de tijolos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., Manaus, 1978. Anais... Manaus, 1978 v. 2. p.6-7.

VERÇOSA, E.J. Argilas e materiais cerâmicos. In: BAUER, L.A.F. - *Materiais de construção.* Rio de Janeiro. LTC, 1994. v. 2, p. 527-576.

CAPÍTULO 2

RESUMO

COVEZZI, Murilo Morgandi. Ensaios preliminares para avaliação da argila e da mistura argila/serragem. In: _____. *Utilização da serragem de Eucalyptus para a produção de tijolo maciço cerâmico*. 2003. Cap. 2 p.13-47 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

Os objetivos deste trabalho foram: 1) avaliar a viabilidade do processo de incorporação de serragem de *Eucalyptus* para a confecção de produtos cerâmicos, por meio de ensaios preliminares em laboratório sobre o comportamento da argila (testemunha) e dos tratamentos constituídos com traços de mistura argila/serragem; 2) avaliar a composição química da serragem; 3) proceder a uma análise mineralógica da argila pelo teste de difração de raios-X. A argila foi coletada na Cerâmica Morgan, na região de Rio Acima no estado de Minas Gerais. A serragem de *Eucalyptus* foi proveniente do processamento mecânico em serra circular múltipla, oriunda da serraria da Companhia Mineira de Metais (VMM-AGRO). Os testes físicos foram realizados no Laboratório de Cerâmica do Centro de Formação Profissional Paulo de Tarso – SENAI, em Belo Horizonte – MG, e o mecânico no Laboratório de Tecnologia da Madeira – UFLA. Para isto, utilizaram-se 10 tratamentos com diferentes traços de mistura com argila/serragem, sendo: 1:0 (testemunha), (2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 e 10:1) Para cada tratamento oito repetições. Pesaram-se 10 kg de material para cada tratamento, nas proporções acima citadas. As amostras foram umedecidas e homogeneizadas até atingirem um estado plástico, adicionando-se a cada tratamento 2,5 litros de água. Foram confeccionados corpos de prova com as dimensões de 11.0 x 2.8 x 1.8 cm, que passaram pelos processos de secagem à temperatura de 110°C e o de queima, a 950°C. As características físicas e mecânicas das amostras foram determinadas. Na análise mineralógica por difração de Raios-x, a argila caracterizou-se como pertencente ao grupo das caulíníticas. Após análise estatística, e também com base em normatização técnica, concluiu-se que é possível a utilização da serragem de *Eucalyptus* no processo de fabricação de produtos cerâmicos, sendo o tratamento com 5 partes de argila e 1 parte de serragem o que apresentou as melhores características físicas e mecânicas para os materiais utilizados. Nos testes realizados, observou-se que o peso dos corpos de prova com incorporação foi, em média, 12,7% menor do que o dos constituídos somente de argila.

¹Comitê de Orientação: Fábio Akira Mori (orientador) - UFLA, José Tarcísio Lima (co-orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho (co-orientador) – UFLA.

ABSTRACT

COVEZZI, Murilo Morgandi. Preliminary analysis for clay and sawdust/clay mixture evaluation. In: _____. *Eucalyptus* sawdust utilization to massive ceramic brick production. 2003. Chap. 2, p. 13-47. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

The purposes of this study were: 1) to evaluate the feasibility of *Eucalyptus* sawdust incorporation for ceramics production, analyzing in laboratory the behavior of clay/sawdust mixture in comparison with a control treatment; 2) to evaluate the chemical composition of the sawdust; 3) to carry on a mineralogical analysis of the clay, by X-Ray diffraction test. The clay was collected in Cerâmica Morgan in the region of Rio Acima-M.G. State. The *Eucalyptus* sawdust was obtained in the Companhia Mineira de Metais (VMM-AGRO) sawmilling, located at the Fazenda Riacho, Paracatu – M.G. State. The tests were executed in Ceramic Laboratory in the Professional Formation Center Paulo de Tarso – SENAI, located in Belo Horizonte city– M.G. State. For this, 10 treatments for bricks production were utilized, based on the following clay/sawdust rates: 1:0, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1 and 10:1. In each treatment eight samples (repetition). About 10 kg of the mixture were prepared for each treatment, in accordance with each rate of clay:sawdust. The samples were moistened with 2.5 litre of water, and homogenized until a desirable plastic state. After that, samples of 11,0 x 2,8 x 1,8 cm of size were produced and dried in a temperature of 110 °C. Following, the dried samples were burned at 950 °C. The physical and mechanical properties of the samples were subsequently determined. In the mineralogical clay analysis by X-Ray diffraction it was characterized as caulinitic. After the statistics analysis and based on technical standard it was concluded that is possible the clay utilization and the sawdust incorporation process to produce ceramic and it was identified the proportion of 5 parts of clay:1 part of sawdust as the best treatment for ceramic production. In addition it was observed that the samples weights with sawdust incorporation were 12.7% smaller than the control treatment.

¹ Guidance Committee: Fabio Akira Mori (adviser) –UFLA, José Tarcísio Lima – UFLA (co-adviser), Paulo Fernando Trugilho (co-adviser) - UFLA .

2.1 INTRODUÇÃO

Ao se avaliar um novo composto para a produção de materiais cerâmicos, utiliza-se a prerrogativa de se ensaiar esse composto em laboratório, uma vez que testes industriais são bastante onerosos.

Esses ensaios são denominados ensaios preliminares de argilas desconhecidas ou ensaios de caracterização de argilas, visando prever usos industriais e, em especial, usos cerâmicos. Os ensaios têm por objetivos prever, adaptar ou sugerir novos usos para argilas que serão utilizadas apenas para uma finalidade industrial; correlacionar as propriedades cerâmicas, composição mineralógica e propriedades intrínsecas aos usos industriais específicos, e também originar estudos científicos fundamentais em argilas brasileiras.

Assim, caracterizar uma argila, especialmente vislumbrando o seu uso tecnológico, é conhecer a variabilidade de suas propriedades, o que não é um problema simples e necessita não somente do emprego de técnicas comuns (como a de mensurar suas propriedades físicos-mecânicas), mas também de técnicas sofisticadas (as de análise de características mineralógicas).

Principalmente para a indústria de cerâmica vermelha, estes ensaios possuem a finalidade de determinar experimentalmente as características, composição e propriedades tecnológicas do futuro produto que se deseja produzir.

Alguns materiais (resíduos) estão sendo incorporados à argila experimentalmente na produção de produtos cerâmicos, entre eles o pó de ardósia e a serragem de madeira. Esse processo, além de evitar o desperdício, proporciona uma utilização mais nobre e diminui o impacto ambiental causado pela destinação final inadequada destes materiais.

Este capítulo tem a finalidade de estudar a viabilidade técnica da incorporação de serragem de *Eucalyptus* na produção de produtos cerâmicos, avaliar em laboratório os diferentes traços de mistura (argila, argila/serragem) e analisar as características dos componentes empregados nos testes (argila e serragem).

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.2.1 Madeira

A madeira é composta, basicamente, por celulose, hemiceluloses, lignina e constituintes menores (Abreu, 1995). Apresenta um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células, com propriedades específicas para desempenharem funções vitais para o vegetal como: condução de líquidos, transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal (Burger & Richter, 1991). É um material orgânico, de origem vegetal, encontrado tanto em florestas naturais quanto em florestas plantadas, resultantes de reflorestamentos industrializados. Sua fonte é abundante e renovável (Calil Júnior & Baraldi, 1997).

Segundo Lepage (1986), dos diversos materiais destinados à construção civil, desde o ferro ao concreto armado, do plástico ao fibro-cimento e à madeira, esta última reúne a qualidade de exceção que a elege, sob muitos aspectos, protótipo dos que melhor integram o homem e o meio ambiente, e a de que sem dúvida é um material excepcional como matéria-prima de múltiplo uso, que acompanha a civilização na sua evolução.

A madeira possui utilizações variadas em diversas áreas, tais como construção civil e naval, fabricação de papel e celulose, indústria de lâminas e

laminados, além de ser fonte de combustível na forma de carvão, lenha e briquetes. Adicionalmente, fornece substâncias para indústria química na produção de ácidos graxos, álcool, tanino, corantes, resinas, entre outros produtos, sendo algumas espécies utilizadas para fins medicinais (D'almeida, 1988).

Através do tempo, a madeira vem ocupando um lugar muito importante nas necessidades do homem, que lhe atribuiu uma ampla variedade de usos. A utilização de modo empírico, de um grande volume de madeira e uma grande variedade de espécies, vem propiciando um emprego inadequado e, conseqüentemente, um desperdício de madeira em todo o mundo (Drescher & Santos, 1995).

2.2.2 Argilas

Conforme Verçosa (1994), argilas são materiais minerais naturais que, quando misturados com água, adquirem a propriedade de apresentar alta plasticidade. Durante muito tempo conceituou-se que argilas eram substâncias originárias da caulinita ($Al_2O_3SiO_2 \cdot 2H_2O$) e o resto era impureza amorfa. Hoje sabe-se que as argilas são constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas, formadas por um número restrito de substâncias chamadas de argilo-minerais (quartzo, mica, piritita, calcita, dolomita, etc.) e matéria orgânica; possuem elevado teor de partículas de granulometria abaixo de 2 micrômetros; são plásticas quando pulverizadas e duras após secagem e queima. Devido aos argilo-minerais, as argilas apresentam uma série de propriedades, como plasticidade, viscosidade, resistência mecânica, entre outras, das quais derivam os grandes campos de aplicações tecnológicas (IPT, 1980).

Elas ocorrem em depósitos de natureza extremamente variada. Não existem duas jazidas de argila rigorosamente iguais. Encontram-se diferenças acentuadas até numa mesma jazida. As argilas podem ocorrer na superfície das rochas, como resultado da decomposição superficial das mesmas, nos veios e trincas das rochas e nas camadas sedimentares, onde foram depositadas por ventos ou chuvas (Verçosa, 1994).

Segundo Santos, (1989a), argilas plásticas para cerâmica vermelha ou estrutural são as argilas utilizadas na fabricação de materiais de construção de engenharia civil, tais como tijolos de alvenaria e furados, telhas, ladrilhos de piso; objetos de adorno (elementos vazados e outros); lajes cerâmicas e outros. A indústria oleira no Brasil utiliza processos de moldagem manuais por extrusão e por prensagem. As temperaturas de queima oscilam entre 950 °C e 1250 °C, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico, do forno utilizado e das condições econômicas locais. As argilas, para terem emprego na fabricação de tijolos, devem ser moldadas facilmente, ter valor médio ou elevado para a tensão ou módulo de ruptura à flexão antes e após queimar; costuma apresentar cor vermelha após a queima em baixa temperatura (geralmente 950°C, que é a temperatura usual de queima para esse tipo de produto), com um mínimo de trincas e empenamentos e elevado teor de ferro divalente. Os elementos alcalinos e alcalino-terrosos são prejudiciais pelo fato de causarem uma excessiva retração, reduzirem a faixa de vitrificação e causarem colorações indesejáveis. Argilas sedimentares recentes são geralmente usadas na fabricação de tijolos.

2.2.3 Caracterização mineralógica da argila por difração de raios- X

Os métodos de difração são os mais amplamente utilizados na identificação de argilominerais, em especialmente no caso do grupo caulinita. Desta forma, o problema de identificação torna-se simples quando as argilas são puras, o que raramente acontece. Procura-se obter um diagrama de raios-X entre ângulos de 2θ de 2° a 60° de uma amostra e a sua identificação pode ser facilmente procedida pelo emprego de tabelas e esquemas (Santos, 1989b).

A classificação ou identificação dos grupos pode ser obtida pelo emprego da difração de Raios X, a partir do valor medido para a distância interplanar basal dos argilominerais. Estas classificações são feitas com base nas reflexões basais e são divididos nos seguintes grupos: a) grupo de 7Å – Caulinitas; b) grupo de $9,3\text{Å}$ – Pirofilita, Talco e Minesotaíta; c) grupo de $10 - 11\text{Å}$ – Ilita e Halosita; d) grupo de $12-15\text{Å}$ – Clorita, Vermiculita e Sepiolita; e) grupo de minerais de distâncias interplanares longas – Montmorilonitas ou Esmectitas e f) mistura de grupos. Normalmente a difração de raios X é feita entre $2\theta = 2^\circ$ e $2\theta = 15^\circ$ ou até 35° ou 65° , se há interesse em pesquisar a presença de certos minerais, como quartzo, feldspatos ou hidróxidos de alumínio e ferro (Santos, 1989b).

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Serragem

Para este estudo, utilizou-se a serragem de toras de clones de *Eucalyptus*, proveniente do processamento mecânico em serra circular múltipla, material este oriundo da serraria de propriedade da Companhia Mineira de Metais (CVV-AGRO), localizada no município de Paracatu – MG. Coletaram-se 12 (doze) sacos contendo cerca de 25 kg de serragem, com restos de casca e pedaços maiores de madeira.

O material foi transportado para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – MG, onde se procedeu ao peneiramento manual da serragem em peneira com abertura de 1 (um) mm². Após o preparo, a serragem foi transportada para o Laboratório de Cerâmica do Centro de Formação “Paulo de Tarso” SENAI, Belo Horizonte – MG.

2.3.2 Argila

A argila utilizada foi coletada na cerâmica MORGAN, no município de Rio Acima - MG. Foram Coletados 5 (cinco) sacos de 50 Kg de material em seu estado bruto (entorroadada, com raízes e úmida), que foi Transportado para o Laboratório de Cerâmica do Centro de Formação Profissional “Paulo de Tarso” SENAI, Belo Horizonte – MG e preparado da seguinte forma:

- ✓ *Espalhe para redução da umidade* – o espalhe consistiu em espalhar a argila em camadas finas sobre uma superfície plana e bem protegida da

chuva por 24 horas, para que houvesse a evaporação e conseqüente redução da umidade do material;

- ✓ *Moagem da argila* – a argila foi moída por um “moinho martelo”, para ser destorroada e diminuído o tamanho das partículas, preparando-o para a etapa seguinte: o peneiramento;
- ✓ *Peneiramento* – o peneiramento foi manual, com peneiras de abertura de 2,0 mm / 9 mesh e 0,850mm / 20 mesh, através da qual foram separadas as partículas maiores e eliminadas algumas impurezas como pedaços de raízes.

Desse material, retirou-se uma amostra para as respectivas análises por difração de Raios-X. Estas foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - MG.

2.3.3 Preparação das diferentes concentrações de serragem e argila

Com a argila e a serragem preparadas, procedeu-se à elaboração dos diferentes traços de mistura de argila e serragem. Para cada mistura (argila + serragem), pesaram-se 10 Kg de material, resguardadas as proporções em volume de cada componente. Como se apresenta na-tabela 2.1., para o preparo utilizou-se uma caixa de madeira de 10 cm³ para medir as proporções.

TABELA 2.1 Tratamentos, com os traços de mistura em partes, proporção e porcentagem de componentes.

Tratamento	P. Argila	P. Serragem	Proporção	% Argila	% Serragem
Testemunha	01	00	1 : 0	100,0	00,00
A ₂	02	01	2 : 1	66,67	33,33
A ₃	03	01	3 : 1	75,00	25,00
A ₄	04	01	4 : 1	80,00	20,00
A ₅	05	01	5 : 1	83,33	16,67
A ₆	06	01	6 : 1	85,71	14,29
A ₇	07	01	7 : 1	87,50	12,50
A ₈	08	01	8 : 1	88,89	11,11
A ₉	09	01	9 : 1	90,00	10,00
A ₁₀	10	01	10 : 1	90,91	09,09

Após a pesagem de cada componente dos tratamentos, incorporou-se um ao outro, com uma pré-homogeneização manual.

2.3.3.1 Umedecimento e homogeneização das amostras

As amostras constituídas foram homogeneizadas manualmente, adicionando-se água na proporção de 20 a 25% em relação ao peso total da amostra, perfazendo um total entre 2000 a 2500 mL para cada amostra, até estas adquirirem uma boa plasticidade. Em seguida, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e deixadas em descanso por 24 horas, objetivando a distribuição homogênea da umidade em toda a mistura-amostra.

2.3.3.2 Extrusão / Confeccção de corpos de prova

Após o período de descanso, procedeu-se à extrusão da mistura usando-se um equipamento denominado “*maromba ou extrusora*” (Figura 1), que é constituído de um misturador, uma câmara de vácuo e uma extrusora. Fez-se a

passagem do material pela maromba até que se conseguisse um estado plástico adequado. Por meio de um cortador manual, procedeu-se à confecção de corpos de prova com dimensões nominais de 11,0 cm de comprimento, 1,9 cm de espessura e 2,9 cm de largura no momento da extrusão, perfazendo um total de quarenta corpos de prova por tratamento.



FIGURA 2.1- Extrusão dos corpos de prova.

2.3.3.3 Numeração e marcação de corpos de prova

Dos 40 (quarenta) corpos de prova confeccionados, escolheram-se 24 (vinte e quatro), ao acaso, segundo NBR 7170/ 83 (ABNT, 1983), os quais foram divididos em três grupos de oito corpos de prova (CP), sendo que dois grupos de amostra receberam numeração, em uma das faces de, 1 a 8 (indicando o nº do CP e a identificação do tratamento T, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, e o número 0 (Zero), indicando que o grupo passaria pela secagem à temperatura de 110 °C (Teste de tensão de ruptura à flexão a 110°C) e o número 1, indicando a passagem pelos processos de secagem à temperatura de 110 °C e queima a temperatura de 950 °C (Testes de umidade de extrusão, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão a 950°C) . Também se procedeu à confecção de duas marcas

(utilizando-se um paquímetro digital), paralelas no meio de todos os corpos de prova, com 5,50 cm de espaçamento entre eles, pela qual se fez o teste de retração (Figura 2)).

O terceiro grupo recebeu somente a marcação do tratamento e o nº do corpo de prova. Entretanto, este grupo passou pelos processos de secagem, queima e cozimento e foi utilizado para os testes de absorção d'água, porosidade aparente e massa específica aparente.

Após esta numeração e marcação, os corpos de prova foram deixados por 72 horas em repouso para secagem ao ar livre, para haver a evaporação do excesso da umidade, procedimento que inibe o aparecimento de rachaduras e trincas no momento da secagem a 110 °C. Além disto, os corpos de prova foram individualmente apoiados sobre a espessura para evitar empenamentos.



Figura 2.2 – Marcação e numeração dos corpos de prova.

2.3.3.4 Secagem e queima de corpos de prova

Após todos estes procedimentos, todos os corpos de prova numerados com números 0 e 1 foram colocados em uma estufa e secados por 24 horas a uma

temperatura de 110°C. Após esta etapa, apenas os corpos de prova com o número 1 foram colocados em uma mufla e queimados por 24 horas à temperatura de 950°C. Depois destas etapas de secagem e queima, os corpos de prova estavam prontos para os ensaios em laboratório.

2.3.4 Ensaios físicos e mecânicos nos corpos de prova

Os ensaios físicos e mecânicos seguiram a metodologia de Cocchi (1990).

2.3.4.1 Ensaios físicos dos corpos de prova

2.3.4.1.1 Determinação da umidade de extrusão (U)

Após extrusão, pesou-se cada corpo de prova, individualmente, em balança eletrônica com precisão de 0,01g (Mu). Em seguida, estes foram submetidos à secagem por 72 horas à temperatura ambiente. Após esta etapa, procedeu-se a secagem por 24 horas à temperatura de 110 °C em estufa. Decorrido este tempo, os corpos de prova foram colocados em dessecador e pesados novamente (Ms). A umidade de extrusão foi calculada pela seguinte expressão:

$$U(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

U = Porcentagem de umidade;

Mu = Massa úmida (g); e

Ms = Massa seca (g).

2.3.4.1.2 Determinação da perda ao fogo (PF)

Secaram-se os corpos prova em estufa a 110°C por 24 horas, os quais foram deixados esfriar em dessecador. Cada corpo de prova foi pesado em balança eletrônica com precisão de 0,01g (M_s). A seguir, realizou-se a queima dos corpos de prova à temperatura de 950 °C em uma mufla, deixando-os esfriar em dessecador e novamente foram pesados os corpos de prova (M_q). A perda ao fogo foi então calculada pela seguinte expressão:

$$PF(\%) = \frac{M_s - M_q}{M_s} \times 100$$

Onde:

PF = Perda ao fogo (%);

M_s = Massa seca (g); e

M_q = Massa queimada (g).

2.3.4.1.3 Determinação da retração de secagem (RS), retração de queima (RQ) e retração total (RT).

Após a confecção dos corpos de prova, codificou-se cada um e, com o auxílio de um paquímetro, foram feitas duas marcas no meio de cada, com uma distância de 5,50 cm. A seguir, procedeu-se à secagem, por 72 horas, em temperatura ambiente, sendo que, para evitar empenos, os corpos de prova foram acomodados no sentido da espessura. A seguir, secaram-se 24 horas, em estufa a temperatura de 110°C. O material foi deixado esfriar em dessecador e mediu-se a retração das marcas com paquímetro (R_s). Calcularam-se as retrações por meio das seguintes expressões:

$$R_s(\%) = \frac{C_i - C_s}{C_i} \times 100$$

Onde:

R_s = Retração após secagem (%);

C_i = Comprimento inicial (cm); e

C_f = Comprimento após secagem (cm).

Em seguida, procedeu-se a queima por 24 horas, em mufla a temperatura de 950°C, e a seguir o material foi deixado esfriar em dessecador. Procedeu-se novamente a medição das marcas, obtendo (R_q) pela seguinte expressão:

$$R_q(\%) = \frac{C_s - C_q}{C_s} \times 100$$

Onde:

R_q = Retração após queima (%);

C_s = Comprimento após secagem (cm); e

C_q = Comprimento após queima (cm).

A retração total foi calculada pela seguinte expressão:

$$R_t(\%) = \frac{C_i - C_q}{C_i} \times 100$$

Onde:

R_t = Retração total (%);

C_s = Comprimento inicial (cm); e

C_q = Comprimento após queima (cm).

2.3.4.1.4 Determinação da absorção d'água (Aa), porosidade aparente (Pa) e massa específica aparente (Mea).

Os corpos de prova do 3º grupo, após passarem pelo processo de secagem e queima, foram pesados individualmente em balança eletrônica com precisão de 0,01g (Ms). Imergiram-se os corpos de prova em água, num recipiente de alumínio. Os quais foram aquecidos em fogão a gás industrial e deixados ferver por duas horas contadas após o início da fervura. Deixou-se o material esfriar até temperatura ambiente. Estes corpos de prova foram mantidos sempre imersos em água e foram pesados imersos em água, pelo método da balança hidrostática, através do qual obteve-se o peso imerso (Mi). Com um pano úmido, retirou-se a excesso de água da superfície de cada corpo de prova e então se procedeu à pesagem, obtendo-se a massa do corpo de prova saturada de água (Mu).

Calculou-se por meio das expressões:

$$\%Aa = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100$$

Onde:

%Aa = Porcentagem de Absorção de água;

Mu = Massa Úmida (g); e

Ms = Massa Seca (g).

$$Pa = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100(\%)$$

Onde:

Pa = Porosidade aparente (%);

Mu = Massa Úmida (g);

Ms = Massa Seca (g); e

Mi = Massa Imersa (g).

$$MEA = \frac{Ms}{Ms - Mi}$$

Onde:

MEA = Massa Específica Aparente (g/cm^3);

Ms = Massa Seca (g); e

Mi = Massa Imersa (g).

2.3.4.2 Ensaio mecânico dos corpos de prova

2.3.4.2.1 Determinação da tensão de ruptura à flexão (TRF)

O ensaio de tensão de ruptura à flexão foi realizado com os dois grupos de corpos de prova, o que passou pelo processo de secagem a 110°C e o que passou pela de queima à 950°C . Observou-se o rompimento respectivo de cada um e anotou-se a carga máxima de ruptura.

O equipamento utilizado para a execução do ensaio foi uma máquina universal de ensaio EMIC DL 30000, provida de um dispositivo que assegura a distribuição uniforme da carga sobre o corpo de prova. O corpo de prova fica apoiado sobre os cutelos, permitindo que a carga seja aplicada progressivamente até o rompimento (Figura 3).

Utilizou-se a metodologia discriminada a seguir: mediu-se a largura (b) e a espessura (a), nos corpos de prova após secagem a 110°C e queima a 950°C , depois anotou-se o valor da distância entre cutelos de apoio (L) ($L = 7,5\text{ cm}$). Os corpos de prova foram apoiados um a um, sobre os dois cutelos, na máquina de ensaio universal, e em seguida acertou-se a escala de leitura e a velocidade de aplicação da carga (10N/s) (para corpo de prova seco/queimado), e então se deu o procedimento de ensaio até que o corpo de prova rompesse. Após o

rompimento, fez-se a leitura da carga de ruptura (kgf) e calculou a TRF em kgf/cm^2 , pela seguinte expressão a seguir, para corpos de prova de seção quadrada ou retangular.

Ao final, apresentaram-se os valores médios.

$$TRF = \frac{3 \times P \times L}{2 \times a^2 \times b}$$

Onde:

TRF = Tensão de ruptura à flexão (Kgf/cm^2) ou MPa;

P = Carga de ruptura (Kgf);

L = Distância dos cutelos (vão livre) (Cm);

a = Espessura (cm); e

b = Largura (cm)

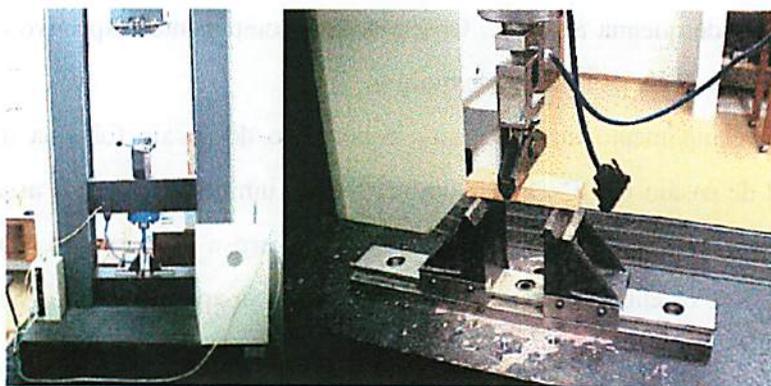


FIGURA 2.3 – Máquina universal de ensaio – EMIC DL30000

2.4 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Para a análise estatística, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com 8 repetições, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + t_i + e_i$$

Em que:

Y_i : é o efeito do i -ésimo valor observado do tratamento i ;

μ : constante inerente a todas as observações (média geral);

t_i : efeito do i -ésimo tratamento, efeito fixo;

e_i : erro experimental associado à observação Y_i .

Foi ainda realizado um teste de comparação de médias, utilizando o teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade, (Banzatto & Kronka, 1985).

2.5 ENSAIOS EM LABORATÓRIO DE DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DA ARGILA E DA SERRAGEM DE *Eucalyptus*.

2.5.1 Análise da argila por difração de Raios-X

As análises com a argila foram efetuadas no Laboratório de Análise de solo do Departamento de Ciências do Solo - UFLA, em um aparelho de Raios-X PHILLIPS PW 1830, através do qual foi efetuada a caracterização mineralógica do material por difratometria de Raios-X, na amostra desferrificada e ao natural, empregando tubo de cobalto no intervalo de irradiação de 5 a $50^\circ 2\theta$.

2.5.2 Análise química da serragem

Procedeu-se à análise química para determinar os componentes secundários, minerais, polissacarídeos e lignina da serragem de *Eucalyptus*, utilizando as normas da ABCP (M4/68, M3/1969, M2/1971, M10/1971 E M11/1971). Essas análises foram executadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais – UFLA.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2.2 mostra os valores de referência para as características físicas e mecânicas avaliadas nos testes preliminares de argilas em laboratório com o intuito de prever a sua utilização na produção de materiais cerâmicos.

TABELA 2.2 Valores de referência padrão das características físicas e mecânicas e temperatura na qual o corpo de prova é submetido ao teste.

ENSAIO	Temp. (°C)	V.padrão
Umidade de extrusão (%) (U)	110	18 a 35
Perda ao fogo (%) (PF)	950	< 10
Retração de secagem (%) (RS)	110	< 6
Retração de queima (%) (RQ)	950	< 6
Retração total (%) (RT)	950	< 12
Porosidade aparente (%) (Pa)	950	17 a 35
Massa específica aparente (g/cm ³) (MEA)	950	> 1,7
Absorção d'água (%) (Aa)	950	8 a 25
Tensão de ruptura à flexão (kgf/cm ²) (TRF110)	110	15
Tensão de ruptura à flexão (kgf/cm ²) (TRF950)	950	20

Fonte: SENAI (1999).

Os resultados médios para as características dos corpos de prova analisadas, bem como o teste de comparação múltipla, são apresentados na Tabela 2.3.

2.6.1 Umidade de extrusão

Na Tabela 2.3 pode-se observar que os valores da umidade de extrusão foram superiores ao recomendado pelo SENAI (1999), que recomenda que este valor deve estar entre 18 a 35%. O valor médio apresentado para esta característica foi de 36,55%, variando de 35,0% a 38,7%. Essa característica depende do tamanho e do tipo de partícula mineral, ou seja, da composição química, morfologia e estrutura da partícula. O conhecimento da umidade de extrusão (U) é importante para que se tenha uma indicação da quantidade de água a ser incorporada no processo de fabricação do tijolo, prever que tipo de processo de secagem deve ser utilizado para retirar esta umidade, bem como evitar trincas e lascamentos das peças cerâmicas cruas. A argila deve ser moldada com uma quantidade de água que permita a sua conformação e não afete a sua plasticidade.

2.6.2 Perda ao fogo

A perda ao fogo (PF) é a característica que a argila possui de diminuir de volume pela perda da umidade de constituição, de matéria orgânica e de outros elementos constantes em sua constituição mineral, os quais se volatilizam com o aumento da temperatura de queima. Seu valor padrão é de no máximo 10% (SENAI, 1999). Esta característica apresentou valor médio de 10,19%, variando,

TABELA 2.3 Valores médios para as características físicas e mecânicas dos corpos de prova analisados em laboratório para diversos tratamentos (U: Umidade de Extrusão (%); PF: Perda ao Fogo (%); RS: Retração de Secagem (%); RQ: Retração de Queima (%); RT: Retração Total (%); MEA: Massa Específica Aparente (g/cm^3); Pa: Porosidade Aparente (%); Aa: Absorção D'água (%); TRF110: Tensão de Ruptura à Flexão 110°C (Kgf/cm^2) e TRF950: Tensão de Ruptura à Flexão 950°C (Kgf/cm^2)).

Tratamentos	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS									
	U (%)	PF (%)	RS (%)	RQ (%)	RT (%)	MEA (g/cm^3)	Pa (%)	Aa (%)	TRF110 (Kgf/cm^2)	TRF950 (Kgf/cm^2)
T	36,5 a	6,8 a	4,4 a	2,2 a	6,5 a	1,6 a	40,2 a	25,5 a	12,0 a	69,5 a
10:01	35,0 b	8,4 b	2,8 b	1,5 a	4,2 b	1,6 a	39,6 a	25,6 a	11,3 a	61,0 a
09:01	35,0 b	9,0 b	2,4 b	3,1 a	5,4 a	1,5 b	41,3 a	27,0 a	10,3 b	87,5 a
08:01	35,3 b	9,0 b	2,6 b	1,7 a	4,3 b	1,5 a	40,4 a	26,3 a	11,5 a	66,0 a
07:01	37,4 b	9,4 b	3,1 b	2,9 a	5,9 a	1,5 b	42,5 b	28,7 b	10,9 b	77,2 a
06:01	36,5 a	9,9 b	2,2 b	0,6 b	2,8 b	1,5 a	40,5 a	26,4 a	11,3 a	54,8 a
05:01	37,5 b	10,3 b	2,5 b	0,9 b	3,4 b	1,6 a	39,7 a	25,3 a	10,8 b	58,8 a
04:01	37,3 b	11,5 b	2,3 b	2,1 a	4,4 b	1,5 b	41,7 a	27,5 a	11,3 a	70,8 a
03:01	36,2 b	12,6 b	2,0 b	2,2 a	4,2 b	1,5 b	43,1 b	28,8 b	11,6 a	63,7 a
02:01	38,7 b	15,0 b	2,6 b	4,0 b	6,5 a	1,4 b	49,1 b	36,0 b	11,5 a	62,5 a
Média	36,55	10,19	2,68	2,12	4,75	1,52	41,81	27,70	11,24	67,17
C.V. (%)	0,44	0,79	16,16	44,30	18,69	2,95	3,46	5,72	6,55	28,06

Médias com letras idênticas nas colunas indicam a não existência de diferença significativa entre o tratamento testemunha e os demais, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

nos tratamentos, de 6,8% a 15,0%. Pela Tabela 2.2, pode-se perceber que à medida que decrescia a porcentagem de serragem incorporada à argila diminuía a perda ao fogo. Pelo teste de Dunnett, verifica-se que todos os tratamentos diferiram da testemunha. Este fato é normal devido à incorporação de material orgânico à argila. Entretanto, a partir do tratamento 5:1, os tratamentos com incorporação apresentaram valores dentro do padrão.

2.6.3 Retração de secagem

Para a retração de secagem (RS), todos os tratamentos apresentaram valor médio de 2,68%, variando de 2,0% a 4,4%; portanto, valores dentro do padrão de 6% (SENAI, 1999). Porém, os tratamentos com incorporação de serragem obtiveram valores melhores que a testemunha. Como a retração de secagem varia em função da plasticidade e da perda de umidade, não deve apresentar valor muito elevado para não dificultar o processo de conformação do produto cerâmico. No caso específico da argila em estudo, ficou constatado no processo de extrusão dos corpos de prova, que a plasticidade da mesma era mediana.

2.6.4 Retração de Queima

Na retração de queima (RQ), o valor médio apresentado foi de 2,12%, variando de 0,6% a 4,0%, valores abaixo do limite de 6% (SENAI, 1999). Apesar de os valores dos tratamentos estarem dentro do padrão, o seu comportamento foi diferente devido ao fato de a retração de queima estar diretamente relacionada à perda de matéria orgânica e outros componentes da argila.

2.6.5 Retração total

A Retração total (RT), que é a soma das duas retrações descritas anteriormente, apresentou valor médio de 4,75% e variou de 2,8% a 6,5%, valores estes inferiores em relação ao limite de 12% (SENAI, 1999).

Este comportamento das retrações, apresentando valores abaixo do padrão, pode ser explicado pela presença de quartzo na constituição da argila. O quartzo (sílica livre) causa redução da plasticidade e também leva a uma baixa retração linear. Além disso, sabendo-se o valor da retração, pode-se calcular o tamanho que a peça deve ser moldada e cortada para que o produto atinja o tamanho adequado de comercialização após passar pelo processo de queima, e estar em conformidade com as normas técnica da ABNT para produtos cerâmicos acabados.

2.6.6 Massa específica aparente

Na característica massa específica aparente (MEA) da parte sólida, todos os tratamentos apresentaram valores variando entre 1,4 g/cm³ e 1,6 g/cm³ e valor médio de 1,52 g/cm³, valores inferiores ao valor padrão, que é de no mínimo 1,7 g/cm³ (SENAI,1999), sendo que a massa específica aparente é definida como a relação entre a massa do corpo de prova e o seu volume.

2.6.7 Porosidade aparente

A argila em estudo apresentou valores entre 49,1% e 39,6% e um valor médio de 41,81%. Todos os tratamentos apresentaram valores de porosidade aparente (PA) acima da padronização, que é entre 17 e 35% (SENAI,1999). Esta

característica é a relação entre o volume de poros e o volume total. As argilas que possuem em sua composição minerais de granulometria grossa possuem menos poros e estes são maiores nas argilas de estruturas mais finas. O comportamento observado nos tratamentos foi o esperado, já que em percentuais elevados de incorporação de serragem, os tratamentos apresentaram valores maiores que a testemunha. Entretanto, alguns tratamentos apresentaram valores menores do que a testemunha. Este fato foi também observado em experimento similar ao presente estudo, para a espécie *Erisma uncinatum* (cedrinho ou quarubarana) (Covezzi, 1999).

2.6.8. Absorção d'água

A absorção d'água apresentou valores variando entre 36,0% e 25,3% e um valor médio de 27,7%, sendo que o valor padrão para absorção d'água (Aa) em produtos cerâmicos é de 8 a 25% (SENAI, 1999). Observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores acima da padronização técnica, sendo que os tratamentos 2:1, 3:1 e 7:1 diferiram estatisticamente do tratamento testemunha, sendo considerados impróprios para a produção de produtos cerâmicos. Os demais tratamentos apresentaram valores maiores que o de referência, porém não diferiram estatisticamente da testemunha pelo teste de Dunnett, sendo que o tratamento 5:1 apresentou o melhor índice de absorção d'água, inclusive obtendo valor menor que o do tratamento testemunha.

Os três últimos ensaios descritos podem ser correlacionados, pois a porosidade aparente está intimamente relacionada com a massa específica aparente e absorção d'água, devido à estreita relação entre elas. Assim, quanto maior a porosidade, menor a massa específica aparente e maior a absorção d'água. Outras características também são influenciadas negativamente pela

porosidade aparente, tais como a resistência mecânica e a condutibilidade térmica.

Estes ensaios são bons indicadores da qualidade final do produto cerâmico acabado, pois medem o grau de vitrificação obtido na temperatura em que o produto foi queimado visto que, para mesma massa, à medida que aumenta a temperatura de queima, diminui significativamente a porosidade. Quanto maior a vitrificação da peça, menor a porosidade e, conseqüentemente, a absorção d'água.

2.6.9 Tensão de ruptura à flexão a 110°C

O Valor mínimo de tensão de ruptura à flexão para tijolo maciço é de 15 Kgf/cm² para corpos de prova secos a 110°C (SENAI, 1999). Pode-se observar, na Tabela 2.3, que todos os tratamentos que passaram pelo processo de secagem a 110° e os seus corpos de prova foram submetidos ao teste de tensão de ruptura à flexão de secagem, apresentaram resultados variando de 12,0 kgf/cm² a 10,3 kgf/cm², com um valor médio de 11,2 kgf/cm², portanto menores que o valor mínimo padrão, inclusive para o tratamento confeccionado somente com argila.

Esta resistência à flexão da argila no estado seco está ligada à composição granulométrica do material mineral, sendo de importância secundária a sua análise, pois atua somente no processo de produção em que se procede ao manuseio do material cerâmico antes da queima. Tomando como base o tratamento testemunha para a comparação de médias, os tratamentos 5:1, 7:1 e 9:1 diferiram em relação a ele, obtendo valores menores do que tratamento testemunha. No entanto, considerando que na prática o tijolo só pode ser utilizado após a queima à temperatura de 950°C, todos os tratamentos foram aprovados.

2.6.10 Tensão de ruptura à flexão a 950°C

A tensão de ruptura à flexão a 950°C (TRF950) é relacionada à resistência provocada pela fusão dos componentes da argila quando submetida a altas temperaturas. O valor padrão para esta característica para a produção de tijolo maciço cerâmico é de 20 kgf/cm² (SENAI, 1999). Observa-se, na Tabela 2.3, que os tratamentos apresentaram um valor médio de 67,2 kgf/cm² e uma variação de 54,8 kgf/cm² a 87,5 kgf/cm².

Todos os tratamentos apresentaram valores maiores que o valor de referência mínimo exigido. Verificou-se que a incorporação não afetou a resistência à flexão dos corpos de prova, pois todos os tratamentos não diferiram estatisticamente em relação à testemunha. Portanto, com a avaliação dos resultados, o processo de incorporação de serragem de *Eucalyptus* pode ser considerado viável tecnicamente.

2.6.11 Análise da argila por difração de Raios-x

A Figura 1 mostra os resultados da difração por raios-X, a qual ilustra os picos difratométricos dos minerais que compõem a argila em estudo, bem como sua modificação estrutural quando esta é submetida ao processo de queima a 950°C.

Observa-se na Figura 1, o resultado da análise mineralógica da argila por difração de raios-X em 3 três amostras: argila pura (em estado natural), argila pura + processo de queima a 950°C e argila + serragem de *eucalyptus* na proporção 5:1 + processo de queima a 950°C. Na amostra ao natural, pode-se visualizar intactas as estruturas do mineral onde o pico de difração 7,26Å é

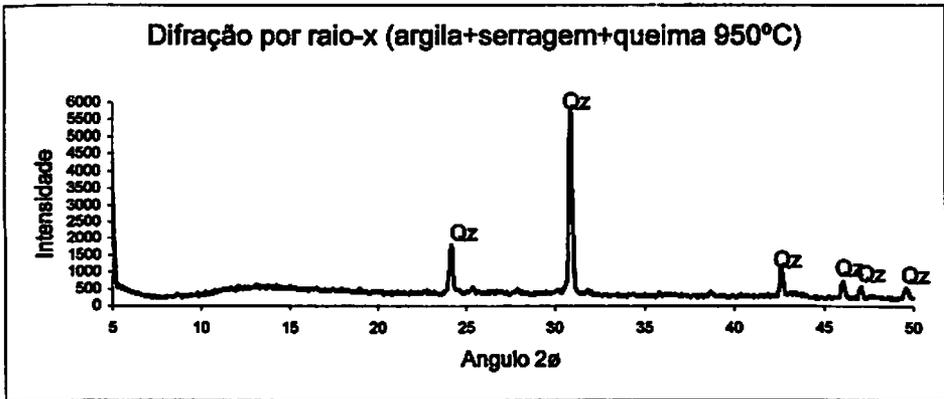
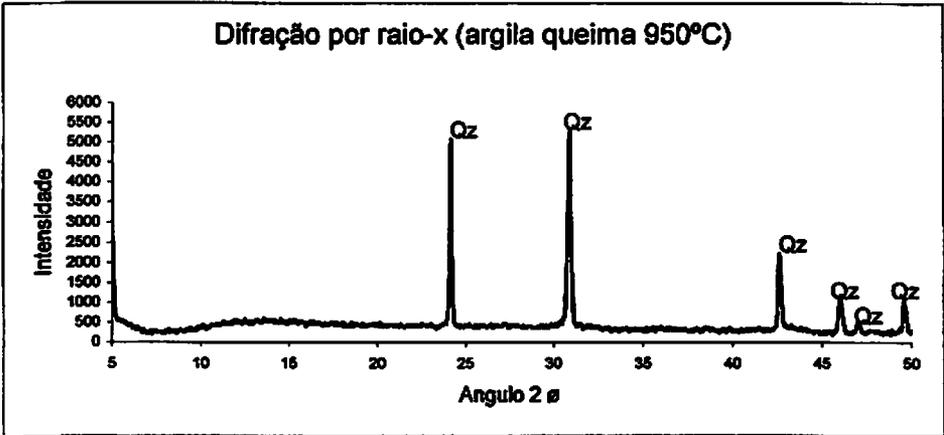
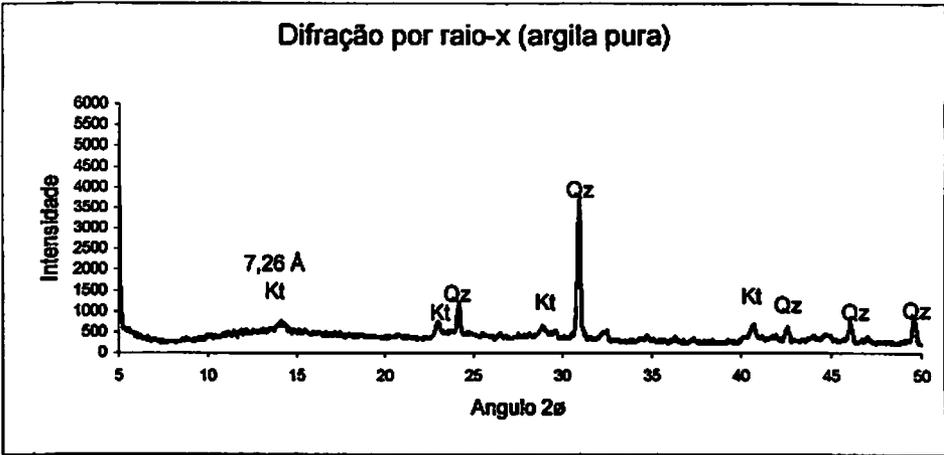


FIGURA 2.4 – Teste de difração por raios-X, em três amostras de argila e seus picos difratométricos da Caulinita (Kt) e do Quartzzo (Qz).

característico do material caulinita (KT), sendo do grupo 7 Å (caulinitas) e com presença de quartzo (Qz) (também chamado de sílica livre) na sua constituição. Este mineral (Qz) aparece principalmente em argilas residuais. Na sua forma macroscópica, a presença do quartzo causa redução da plasticidade e leva a argila a apresentar uma baixa retração linear quando submetida a altas temperaturas.

Nas outras duas amostras em que se procedeu à queima do material a 950°C, pode-se observar o desaparecimento das estruturas da caulinita (Kt), já que a esta temperatura todas as reações físicas e químicas decorrente da fusão de elementos constituintes da argila já se processaram, restando somente o quartzo (Qz). Este fato acontece devido a este mineral possuir uma temperatura de fusão acima de 1.000°C, a qual não foi atingida no processo de queima da argila em estudo.

Observou-se também que nenhuma modificação significativa foi detectada no teste de difração na argila com incorporação de serragem na composição mineralógica após o processo de queima. Este resultado é interessante, pois esta característica é desejável para a utilização deste processo na confecção de produtos cerâmicos.

2.6.12 Análise química da serragem

Foi procedida uma análise química da serragem de *Eucalyptus* em estudo para fins de caracterização do material, que obteve os seguintes valores médios: extrativos totais (15,36%); lignina (30,75%); holocelulose (69,25%) e cinzas (0,84%). Os valores para extrativos totais, lignina, holocelulose e cinzas quantificados estão em conformidade com a literatura usual para madeira de *Eucalyptus*.

A característica química que apresentou valor médio superior ao normalmente relatado na literatura foi o teor de extrativos totais. Segundo Trugilho (2001), a madeira de *Eucalyptus* possui entre 5-7%, podendo variar com a espécie. Este fato aconteceu devido ao resíduo de madeira conter partículas de casca na sua constituição.

A serragem incorporada no processo de produção do tijolo maciço cerâmico, por se tratar de um material mais leve que a argila e ter toda sua estrutura quebrada quando submetido a altas temperaturas, deixando como resíduo aproximadamente 0,84% do seu peso na forma de cinzas, confere ao novo produto confeccionado uma diminuição do seu peso em relação aos tijolos convencionais.

Na Tabela 2.4 verifica-se a diferença média de peso dos corpos de prova de 110 x 28 x 18 mm entre os tratamentos com incorporação de serragem de *Eucalyptus* e o tratamento testemunha confeccionado somente com argila.

TABELA 2.4 Diferença média de peso entre o tratamento testemunha confeccionado com argila e os tratamentos originários da mistura de diferentes traços de argila e serragem de madeira.

Tratamentos	P. médio (g)	Difer. de peso (g)	Difer. de peso (%)
T	55,24	-	-
2:1	43,38	11,86	21,5
3:1	44,51	10,73	19,4
4:1	47,19	8,05	14,6
5:1	48,22	7,02	12,7
6:1	49,05	6,19	11,2

Conforme Pereira et al.(1997), a densidade média do resíduo da madeira de *Eucalyptus* varia uma faixa de 0,4 a 0,7 g/cm³.

No presente estudo, observa-se que a densidade básica da argila estudada foi de $1,6 \text{ g/cm}^3$. Deste modo, a adição gradativa de um material de menor densidade que a argila na confecção de tijolo maciço cerâmico irá favorecer a diminuição do peso final do mesmo.

Essa é uma das características desejáveis para muitas empresas do ramo da construção civil, pois um produto cerâmico com peso inferior aos tradicionalmente utilizados irá favorecer a diminuição das dimensões das estruturas de sustentação de seus empreendimentos, o que acarretará em uma diminuição dos custos.

Para a escolha da mistura argila/serragem que iria compor a produção do tijolo maciço cerâmico na indústria, levou-se em consideração o maior percentual de incorporação de serragem possível, sendo que este não podia interferir na qualidade final do produto cerâmico acabado.

2.7 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que:

- Pelos resultados apresentados pela argila e os traços mistura argila/serragem na avaliação preliminar em laboratório de suas características físicas e químicas, pode-se afirmar que o processo de incorporação da serragem de *Eucalyptus* para a produção de produtos cerâmicos é tecnicamente viável;
- O tratamento mistura com 5 partes de argila e 1 parte de serragem, apresentou os melhores resultados para as características físicas e mecânicas dos materiais estudados no processo de incorporação, sendo possível incorporar serragem de *Eucalyptus* na granulometria de até 1mm²;
- Os corpos de prova do tratamento com mistura de 5 partes de argila e 1 parte de serragem apresentaram, em média, uma redução de 12,7% do peso em relação ao tratamento testemunha;
- Na caracterização mineralógica por difração de raios-X, a argila em estudo se enquadrou no grupo das cauliniticas, e não foi detectada qualquer variação na sua constituição no tratamento com incorporação de serragem;
- Nos testes preliminares em laboratório, observou-se que a incorporação de serragem não produziu efeitos negativos na resistência dos corpos de provas.

- A análise química da serragem de *Eucalyptus* apresentou resultados em conformidade com os descritos na literatura, exceto a característica extrativos totais que apresentou um valor superior.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L.C. Composição química da madeira. In: JORNADA CIENTÍFICA EM TECNOLOGIA DA MADEIRA, 1., 1995, Cuiabá, MT. *Anais...* Cuiabá: FENF/UFMT, 1995. p.17-30.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Prep. de madeira livre de extrativos*, ABCP M3/69. São Paulo, 1969. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Determinação de cinza na madeira*, ABCP M11 / 71. São Paulo, 1971a. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Lignina na madeira*, ABCP M10 / 71. São Paulo, 1971b. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Solubilidade da madeira em água*, ABCP M4 / 68. São Paulo, 1968. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Umidade de madeira reduzida à serragem por secagem em estufa*, ABCP M2/71. São Paulo, 1971. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*, NBR 7170. Rio de Janeiro, 1983. 6 p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N, *Experimentação agrícola*. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1985. 247p.

BURGER, L.M. ; RICHTER, H.G. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel,1991. 154 p.

CALIL JUNIOR, C. ; BARALDI, L.T. *Estrutura de madeiras*. São Carlos: EESC/USP: Departamento de Estruturas, 1997. 88 p.

COCCHI, M.C. *Ensaio cerâmicos: normas de laboratório*. São Paulo: CENATEC/SENAI,1990. 24 p.

COVEZZI, M.M. Incorporação de serragem, de *Erismia uncinatum* WARM. ("cedrinho"), oriunda da indústria madeireira, na produção de tijolo maciço cerâmico. 1999. 64p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Mato Grosso.

D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel, tecnologia da fabricação do papel. 2ªed. São Paulo: IPT, 1988. Cap. 4, 107 p.

DRESCHER, R. ; SANTOS, Z.M. Ensaio de anatomia da madeira. In: JORNADA CIENTÍFICA EM TECNOLOGIA DA MADEIRA, 1., 1995, Cuiabá, MT. Anais... Cuiabá: FENF/UFMT, 1995. p. 45-46.

IPT. Cerâmica vermelha e suas matérias-primas. São Paulo, 1980. 130p.

LEPAGE, E. S. Agentes destruidores da madeira. In: _____. Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT, 1986. v.1, p. 217-278.

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E.G.; HIGA, A.R. Caracterização dos resíduos da madeira de *Eucalyptus* como fonte de energia. São Paulo:EMBRAPA, 1997. 3p. (Boletim Técnico, 36)

SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras: fundamentos. 2. ed. São Paulo. EDUSP, 1989a. v.1, 305 p.

SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras: aplicações. 2. ed. São Paulo. EDUSP, 1989b. v.2, 501 p.

SENAI. Relatório de ensaios de caracterização de argilas. Cuiabá,MT: SENAI, Laboratório de Cerâmica. 1999, 18 p.

TRUGILHO, P.F. Química da madeira. Lavras: UFLA, 2001. 285p. Notas de aula da pós-graduação).

VERÇOSA, E.J. Argilas e materiais cerâmicos. In: BAUER, L.A.F. Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC Editora< 1994. v. 2. p. 527-576.

CAPÍTULO 3

RESUMO

COVEZZI, Murilo Morgandi. Avaliação do tijolo maciço cerâmico manufaturado com incorporação de serragem de *Eucalyptus*. In: _____. *Utilização da serragem de Eucalyptus para a produção de tijolo maciço cerâmico*. 2003. Cap. 3 p.48-69 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a viabilidade técnica da produção do tijolo maciço cerâmico em escala piloto industrial com incorporação de serragem de *Eucalyptus* e proceder à avaliação do produto acabado em laboratório. A confecção do tijolo foi na Cerâmica Morgan, localizada no município de Rio Acima – MG, sendo utilizada a argila da própria empresa. A serragem usada foi proveniente de toras de clones de *Eucalyptus* da serraria de propriedade da Companhia Mineira de Metais (VMM-AGRO), localizada no município de Paracatu – MG. Utilizaram-se, no estudo, dois tratamentos, com a confecção de 100 tijolos por tratamento. Nos testes de Umidade de Extrusão e Perda ao fogo (5 repetições), os tijolos foram pesados no processo de produção após a extrusão, secagem e queima. Para os testes do produto acabado em laboratório, foram amostrados, ao acaso, 20 tijolos. Testes estes realizados no Centro de Formação profissional Paulo de tarso – SENAI, em Belo Horizonte – MG. Os tijolos amostrados para o teste de Absorção d'água (10 repetições) foram secos em estufa por 24 horas à temperatura de 110 °C; em seguida pesou-se cada tijolo, obtendo o seu peso seco, estes, após, foram imersos em um tanque com água por 24 horas. Após este tempo, os tijolos foram retirados e pesados novamente, obtendo o peso úmido. O teste de Resistência à Compressão foi realizado nos corpos de prova conforme a NBR 6460/83 (8 repetições). Com base nas normas técnicas, verificou-se que o tijolo maciço cerâmico atendeu a todos os parâmetros das normas, e também que o peso do tijolo com incorporação foi 5% menor que o constituído somente de argila. Portanto, pode-se concluir que é viável tecnicamente a produção de tijolo maciço cerâmico com incorporação de serragem de *Eucalyptus*.

¹ Comitê de Orientação: Fábio Akira Mori (orientador) - UFLA, José Tarcísio Lima (co-orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho (co-orientador) – UFLA.

ABSTRACT

COVEZZI, Murilo Morgandi. Evaluation of industrial massive ceramic brick manufactured with incorporation of *Eucalyptus* sawdust. In: __. *Eucalyptus* wood sawdust utilization to massive ceramic brick production, 2003. Chap.3, p.48-69, Dissertation (Master in Forest Engineering) - Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

The purpose of this chapter was to evaluate the industrial feasibility of the massive ceramic brick manufactured with incorporation of *Eucalyptus* sawdust and, also, to proceed in laboratory the evaluation of the finished product. For this, the brick was made in the Cerâmica Morgan, located at Rio Acima, Minas Gerais State, using its own clay. The *Eucalyptus* clones sawdust was collected in the sawmill of the Companhia Mineira de Metais (VMM-AGRO), located at Fazenda Riacho, Paracatu, Minas Gerais State. In this work, was utilized two treatments with a production of 100 bricks each. For the tests extrusion moist, loss in fire (5 repetition) the bricks were weighted in the production process after the extrusion, dryness and burning. Twenty bricks were sampled by chance for the test of finished product. The finished product test was realized in Ceramic laboratory in Professional Formation Center Paulo de Tarso – SENAI in Belo Horizonte – M.G. Brazil. The sampled bricks used in Water Absorption test were dried in stove for 24 hours in a temperature of 110°C, after that, each brick was weighted again to obtain the moist weight and this sample was immersed in a cistern for 24 hours, after the sample was measure, then the analysis started. The Compression Resistance test was made the samples preparation according to NBR 6460/83 (8 repetition). Basing in the technical norms was concluded that the massive ceramic brick attended all the norms standards and the brick with sawdust incorporation was 5% less weight than the brick that was composed only by clay. It is technically practicable the ceramic massive brick production with the *Eucalyptus* sawdust incorporation.

¹ Guidance Committee: Fabio Akira Mori (adviser) –UFLA, José Tarcísio Lima – UFLA (co-adviser), Paulo Fernando Trugilho (co-adviser) - UFLA .

3.1 INTRODUÇÃO

Ao se estudar ou planejar uma indústria cerâmica, é fundamental levar em consideração o custo do produto. É também preciso conhecer as propriedades da matéria-prima (argila), equipamentos, processos, custos em geral e dispor de mão de obra especializada, o que na realidade nem sempre está disponível no local de implantação da indústria e sempre necessita de treinamento prévio.

Sabe-se que toda argila possui propriedades físicas e mecânicas variadas que necessitam de abordagens diferentes no planejamento industrial. Entretanto, tal planejamento raramente é considerado quando essas empresas são de pequeno porte e de baixo nível tecnológico. Tudo isso ocasiona falhas no processo produtivo, conferindo ao produto final baixa qualidade. Avaliações sobre a qualidade da matéria-prima partem do pressuposto de que as propriedades da argila variam entre jazidas e até mesmo dentro de uma mesma jazida.

As argilas, consideradas atualmente o elemento essencial da indústria da cerâmica branca e vermelha, precisam ser submetidas a ensaios para definir a sua modalidade de utilização. Essa definição é feita em função de suas propriedades, que conferem à argila certas características que permitem sua utilização, pura ou em mistura com outros materiais, para a produção de produtos cerâmicos simples como tijolos ou mais sofisticados como porcelanas.

O processo que finaliza o estudo da argila é o teste piloto em escala industrial. Este consiste em confeccionar os produtos que se deseja comercializar em escala industrial e separar amostras deste produto acabado para ensaios laboratoriais.

Neste contexto, esta parte do trabalho é destinada: i) avaliar a produção em escala piloto do tijolo maciço cerâmico com incorporação de 5 (cinco) partes de argila e 1(uma) parte de serragem de *Eucalyptus*; e ii) avaliar o

comportamento dos tijolos produzidos em escala industrial nos testes laboratoriais para produto acabado.

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

3.2.1 Classificação das indústrias pelo processo industrial

As indústrias são classificadas em alguns grupos: a) extrativa mineral; b) de transformação; c) de construção civil; e d) de serviços de utilidade pública (Santos, 1989a). As indústrias de transformação são subdivididas em indústrias de processos (define-se como processo “a série de operações sucessivas de engenharia realizadas na indústria, interligadas por meio de relações de causa-efeito, destinadas a converter matérias-primas em produtos acabados, de maior valor econômico e destinados ao consumo humano ou industrial”) e indústria de montagem, (Santos, 1989a).

De um modo geral, produtos acabados da indústria de processos são matérias-primas da indústria de montagem. Exemplificando: a indústria de fabricação de velas de ignição para motores a combustão é uma indústria de montagem que utiliza, como matérias-primas, peças cerâmicas e metálicas que são produtos acabados de indústrias de processos químicos (cerâmica) e mecânicos. As indústrias de processos são divididas em indústrias químicas e indústrias mecânicas. As argilas entram como matéria-prima nas indústrias - (a extrativas, onde são extraídas como minério comum pelas técnicas usuais de mineração e preparadas de modo adequado a produzir um tipo de produto acabado (argila beneficiada, lavada ou tratada), que servirá como matéria-prima às indústrias químicas de processo; e b) indústrias de processamento químico, que utilizam as argilas como matéria-prima e as convertem em um produto acabado de propriedades especificadas, isto é, normalizadas segundo critérios estabelecidos por normas técnicas oficiais ou privadas. As indústrias de construção civil utilizam materiais de construção que são produtos acabados, por

exemplo, da indústria cerâmica (que é uma indústria química de processos), em que as argilas são matéria-prima específica porque são componentes essenciais dos tijolos, telhas, cimentos, azulejos e pisos cerâmicos. Os serviços de utilidade pública utilizam produtos acabados análogos por exemplo, isoladores elétricos de porcelana para linhas de transmissão (Santos, 1989a).

3.2.2 Materiais cerâmicos acabados

Materiais cerâmicos acabados são materiais cerâmicos fabricados a partir de matérias-primas que incluem matérias-primas naturais, beneficiadas e, em alguns casos, sintéticas de características controladas. Por meio de processamento adequado, as propriedades dessas matérias-primas são alteradas em composição química, em estrutura cristalina e no arranjo das diversas fases componentes de sua textura ou microestrutura e na forma externa. Geralmente, pelo menos em uma das etapas do processamento, os materiais são submetidos a temperaturas elevadas para que propriedades úteis desejadas sejam desenvolvidas. Os materiais cerâmicos processados ou produtos cerâmicos acabados são constituídos quer por uma fase vítrea, quer por uma fase cristalina, que se apresenta como cristais únicos ou como aglomerados de cristais de diversas formas e dimensões, quer por um sistema composto constituído por vidros e cristais, podendo também conter metais ou altos polímeros (abrasivos) substituindo total ou parcialmente a fase vítrea; excepcionalmente podendo conter uma fase amorfa ou não-cristalina, diferente da fase vítrea. Assim, a interpretação das propriedades químicas e físicas dos materiais cerâmicos deve ser feita conforme a complexidade das matérias-primas e dos materiais cerâmicos processados (Santos, 1989b). Os produtos acabados mais utilizados pela indústria cerâmica são os diversos tipos de tijolos e blocos, que para serem

produzidos, necessitam de pouca tecnologia em relação a produtos cerâmicos mais sofisticados como pratos e porcelanas.

3.2.3 Etapas do processo de produção em escala piloto

O estágio de produção em escala piloto consta das seguintes operações: a) coleta de algumas toneladas de material para que seja possível a produção em escala piloto; nesta etapa pode ser iniciada a abertura de frentes para exploração de jazidas; b) estudo do processo de produção; o estudo do processo desenvolvido deve considerar os seguintes fatores: controle de qualidade, ajuste dos parâmetros conhecidos que controlam a produção, identificação das variáveis técnicas e econômicas para o projeto em escala industrial e aspectos sócio-econômicos de produção na escala industrial na região a ser servida (Santos, 1989b).

3.2.4 Etapas do processo de produção do produto acabado

Conforme IPT (1980), as etapas do processo de fabricação de materiais cerâmicos podem ser definidas da seguinte forma:

- ✓ *Extração da matéria-prima* - Uma vez definida a jazida de argila a ser explorada, nova ou não, e conhecidas às dimensões da mesma, devem ser escolhidos os métodos apropriados para efetuar a extração. Para iniciar o estudo dos serviços de extração deve-se, inicialmente, obter os seguintes dados: quantidade de solo arável a ser retirado (decapeamento); sistema de retirada deste solo arável; consistência natural deste solo arável; tonelagem diária de extração (consumo diário); tratamento prévio do material extraído; consistência natural do material extraído; disposição do material na jazida (qualidade, camadas,

inclinação das mesmas etc.) e meios mecânicos disponíveis em função do consumo diário. Uma vez definidos esses aspectos, devem ser estudados os métodos de extração, levando sempre em consideração que o método de extração a céu aberto será sempre preferível ao método de extração subterrânea;

- ✓ *Estocagem de argilas* - Desde a antiguidade, é prática comum nas indústrias cerâmicas a estocagem das argilas a céu aberto por longo período de tempo, obtendo-se, dessa forma, características adequadas ao seu processamento. O processo de intemperismo (sol, chuva etc.), dentre outras características, melhora a plasticidade das argilas, lixivia os sais solúveis e homogeneiza a distribuição de água nas argilas. Após a extração, as argilas são transportadas geralmente para o pátio das indústrias e são distribuídas em camadas, de acordo com suas características. Estes depósitos chegam a ter vários metros de altura por algumas dezenas de metros de comprimento e largura. Após um período que pode variar de alguns meses até alguns anos, o depósito começa a ser cortado perpendicularmente ao solo e o material é transportado para o início do processo produtivo;
- ✓ *Moagem da matéria-prima* - No processo produtivo, de acordo com a natureza da argila e seu estado de agregação, é de fundamental importância a desagregação inicial. Entende-se por desagregação inicial a moagem da argila que consiste no processo de redução física de certos produtos naturais ou elaborados; é uma necessidade no campo da indústria em geral. Pode-se definir moagem como um processo de cominuição em que o material é fragmentado ou reduzido de tamanho, geralmente entre duas superfícies (que não possuem entre si qualquer ligação mecânica). Esta redução física pode ser efetuada por britadores

ou moinhos. Na linha destes dois tipos de equipamentos utilizados pela indústria cerâmica podemos citar: britador de mandíbulas, destorroador, desintegrador, moinho martelo, laminador, moinho de galgas. Ressaltam-se também os equipamentos necessários para a preparação primária das argilas, que são:

- ✓ *silo* - a função deste equipamento é manter o estoque de argilas, individuais ou mistura de argilas. A permanência do material preparado no silo proporciona uma maior maturação, pois vários fenômenos ocorrem durante este período. Um dos fenômenos trata-se da difusão uniforme da água de mistura por toda a massa.
- ✓ *Alimentadores* - são equipamentos que têm por finalidade alimentar e dosar constante e uniformemente as matérias-primas no processo de fabricação.
- ✓ *Eletroimã* - Equipamento utilizado para extrair pedaços de material metálico magnético misturados às argilas. As impurezas mais danosas para todo o processo de fabricação são os materiais metálicos, que podem causar danos às máquinas e provocar grandes interrupções no fluxo normal da mistura de argilas, bem como danificar outros equipamentos do processo.
- ✓ *Esteiras transportadoras* - equipamentos indispensáveis para o transporte de argilas ou de massa;
- ✓ *Peneiramento/Homogeneização* - O peneiramento e a homogeneização processam-se por meio de misturadores-filtros, que são máquinas providas de grelhas filtrantes através das quais passa a argila. Estas grelhas retêm as raízes e outras impurezas que são encontradas no material. Misturadores são máquinas destinadas à preparação de argilas antes de serem extrudadas, umedecendo e homogeneizando o material;

- ✓ *Extrusão* - Para a extrusão de argilas é utilizada a maromba (Figura 1), que se caracteriza como uma máquina constituída de um misturador, câmara de vácuo e uma extrusora. A massa é colocada no misturador da maromba, onde um conjunto de pás e hélices a homogeneiza e a encaminha para a câmara de vácuo. Na entrada da câmara de vácuo há um dispositivo tipo pente, grelha, faca, etc., o qual faz com que a mistura entre em pequenos fragmentos de massa, permitindo que o vácuo atue mais eficientemente. A seguir, a massa é compactada na boquilha, dando formato ao produto. As boquilhas são elementos complementares que são instalados na saída das marombas e que proporcionam a geometria do produto final;
- ✓ *Corte* - O corte é procedido após a massa ser extrudada da boquilha, este seccionamento é realizado por meio de cortadores nas dimensões e formatos convenientes (Figura 1). Atualmente existe, no mercado, uma linha variada destes equipamentos, de acordo com as necessidades de cada empresa;
- ✓ *Transporte do produto formado* - O transporte do produto formado pode ser feito por meio de carrinhos manuais ou sistemas automáticos;
- ✓ *Secagem dos produtos* - O processo de secagem é uma operação importante na fabricação de produtos. Enquanto fatores econômicos requerem uma secagem rápida, esta pode provocar uma contração diferencial produzindo trincas e outros defeitos;
- ✓ *Queima* - A etapa de queima é de fundamental importância para os produtos cerâmicos, pois é nesta ocasião que os mesmos adquirem suas propriedades finais. Durante a queima ocorrem fenômenos físicos e químicos que podem alterar substancialmente as características das

matérias-primas utilizadas em relação ao produto final acabado. Esta etapa é realizada toda dentro de fornos dos mais variados tipos.



FIGURA 3.1 - Extrusão e corte do tijolo maciço cerâmico

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Argila

A argila utilizada foi coletada na cerâmica MORGAN, no município de Rio Acima - MG. Na mesma empresa também se procedeu ao processo de confecção dos tijolos maciços cerâmicos em escala piloto.

3.3.2 Serragem

Utilizou-se a serragem de clones de *Eucalyptus*, proveniente do processamento mecânico em serra circular múltipla, material oriundo da serraria da Companhia Mineira de Metais (CVV-AGRO), no município de Paracatu – MG e preparado para os ensaios no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – MG, onde se procedeu ao peneiramento manual da serragem em peneira com abertura de 01(mm) mm².

3.3.3 Medidas das proporções dos componentes

Para medir as proporções de argila/serragem na proporção de 5 (cinco) partes de argila e 1 (uma) parte de serragem, utilizou-se um carrinho de mão, perfazendo um total de 500 Kg de material.

3.3.4 Pré-homogeneização dos componentes

Foi procedida uma pré-homogeneização a seco dos componentes com auxílio de pás e enxadas antes da mistura ser colocada no misturador

3.3.5 Homogeneização e umedecimento dos componentes

A mistura pré-homogeneizada foi colocada em correias transportadoras e foi conduzida ao misturador, onde se procedeu a homogeneização e o umedecimento dos componentes até a mesma adquirir um estado plástico adequado para a próxima etapa: a extrusão.

3.3.6 Extrusão do tijolo maciço cerâmico

Depois de umedecida e homogeneizada, a mistura passou por uma grelha filtrante na saída do misturador para reter raízes e outras impurezas; então, por meio de correias transportadoras foi conduzida até a extrusora. Esta possui a função de fazer a homogeneização final e conduzir a mistura para uma câmara de vácuo onde é retirado o ar, então, por meio de pressão, a mistura é conduzida para as boquilhas que dão o formato do produto.

3.3.7 Corte do produto acabado

O corte foi procedido por cortadores automáticos; este corte transversal deu o formato final ao produto.

3.3.8 Amostragem e identificação dos tijolos

Foram confeccionados 100 (cem) tijolos maciços cerâmicos de 23,5 x 10,4 x 5,4 cm com a mistura 5:1 partes de argila/serragem e mais 100 (cem) tijolos somente com argila, caracterizando dois tratamentos. De cada tratamento foram selecionados, ao acaso, 20 (vinte) tijolos, sendo numerados de 1 a 20 e marcados com as letras (S) tratamento com adição de serragem e (A) somente com argila. Nas duas amostras foram marcados 5 (cinco) tijolos com a letra (P) para pesagem e obtenção do peso úmido. As amostras de 20 tijolos foram encaminhadas para testes do produto acabado em laboratório.

3.3.9 Secagem

Depois de confeccionados e identificados os tijolos, estes foram secos ao ar livre por sete dias para diminuição da umidade, e depois secos por setenta e duas horas em secador industrial. Após secagem, os tijolos foram encaminhados para pesagem, os lotes de 5 tijolos previamente identificados, obtendo-se o peso seco.

3.3.10 Queima

Após a secagem, os tijolos foram queimados por 24 (vinte quatro) horas em um forno Hoffman, e depois novamente pesados para obter o peso de queima. As obtenções dos pesos: úmido, seco e de queima foram necessários para o cálculo da porcentagem de umidade na extrusão e de perda ao fogo. Após a queima, os tijolos estavam prontos e foram transportados para o Laboratório de

Cerâmica do Centro de Formação Paulo de Tarso – SENAI, em Belo Horizonte – MG, para os testes do produto acabado em laboratório.

3.4 Testes laboratoriais para produto acabado

3.4.1 Teste de absorção d'água

De cada lote de 20 tijolos amostrados, retiraram-se 10 (dez) tijolos ao acaso para o teste de Absorção d'água. Os procedimentos para este teste foram: primeiramente procedeu-se uma secagem dos tijolos por 24(vinte quatro) horas em estufa, à temperatura de 110° C; retiraram-se os tijolos da estufa e cada tijolo foi pesado obtendo o (PS) peso seco; mergulharam-se os tijolos em um tanque com água por 24 (vinte quatro) horas; os quais foram retirados do tanque e pesados novamente, agora saturados de água, obtendo-se o (PU) peso úmido. Calculou-se a porcentagem de absorção d'água pela seguinte expressão:

$$\%Aa = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100$$

Onde:

---%Aa = Porcentagem de Absorção de água;

Mu = Massa Úmida (g); e

Ms = Massa Seca (g).

3.4.2 Teste de resistência à compressão

O teste de resistência à compressão foi procedido conforme NBR 6460 (ABNT,1983b). Foram separados ao acaso 8 (oito) tijolos de cada tratamento para este ensaio, conforme NBR 7170 (ABNT,1983a). Para a confecção dos

corpos de prova para o ensaio, procedeu-se da seguinte maneira: mediu-se com aproximação de 1 mm o comprimento, largura e altura dos tijolos a serem preparados. Os tijolos foram cortados ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão; as suas faces lisas maiores, das metades obtidas, foram superpostas ligando uma a outra com uma camada fina de pasta de cimento, aguardou o endurecimento da mesma; Capearam-se as duas faces de trabalho do corpo de prova, para que as mesmas ficassem devidamente regularizadas e tanto quanto possível paralelas entre si (Figura 2); após o endurecimento das camadas de pasta de cimento, os corpos de prova foram imersos em um tanque de água durante 24 (vinte quatro) horas; mediram-se as dimensões das faces de trabalho (largura e comprimento) do corpo de prova com aproximação de 1mm; procedeu-se o ensaio de compressão em máquina de ensaio apropriada para o mesmo. Calculou-se a resistência à compressão por meio da seguinte fórmula:

$$RC = \frac{P}{Aw} (\text{kgf} / \text{cm}^2)$$

$$RC = \text{kgf/cm}^2 * 0,098 = \text{MPa}$$

Onde:

RC = Resistência à compressão (Kgf/cm^2) ou MPa ;

P = Carga de ruptura (kgf);

Aw = Área de trabalho (Cm^2).

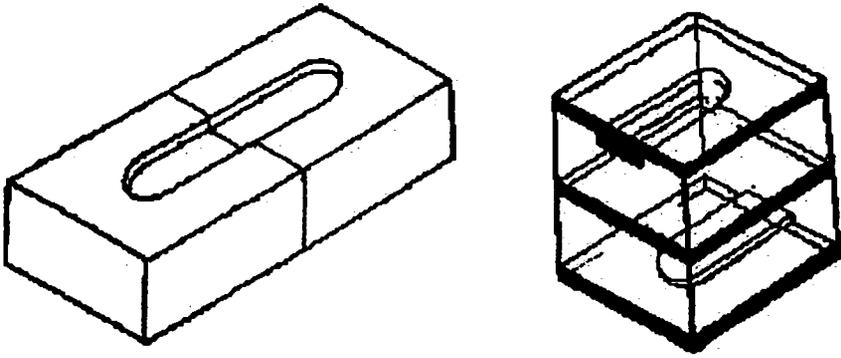


FIGURA 3.2 – Preparo do corpo de prova do teste de compressão

3.4 Delineamento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 8 repetições, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_i = \mu + t_i + e_i$$

Em que:

Y_i : é o efeito do i -ésimo valor observado do tratamento i ;

μ : constante inerente a todas as observações (média geral);

t_i : efeito do i -ésimo tratamento, efeito fixo;

e_i : erro experimental associado à observação Y_i (Banzatto & Kronka, 1985).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios para as características avaliadas no tijolo maciço cerâmico utilizado e a análise de variância encontram-se na Tabela 3.1.

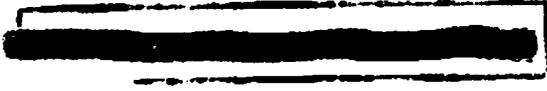
TABELA 3.1 Valores médios para as características física e mecânica dos tratamentos em forma de tijolos maciços cerâmicos analisados em laboratório: U: Umidade de Extrusão (%); PF: Perda ao Fogo (%); Aa: Absorção D'água (%) e (RC) Resistência à compressão.

Tratamento	Características analisadas			
	U (%)	PF (%)	Aa (%)	RC (MPa)
Testemunha	22,78 a	6,29 a	19,20 a	8,63 a
5:1	23,15 a	9,34 b	19,60 a	6,62 b
Média	22,96	7,78	19,40	7,62

Médias seguidas de letras idênticas nas colunas indicam a não existência de diferença significativa entre os tratamentos, pelo teste de F em nível de 5% de probabilidade.

Conforme resultados apresentados na Tabela 3.1, pode-se verificar que os valores médios da umidade de extrusão (U) se encontram dentro do valor padrão, que é entre 18 a 30% (SENAI, 1999). O teste de análise de variância mostra que os tratamentos não diferiram entre si. Este resultado indica que a incorporação de serragem de *Eucalyptus* na confecção do tijolo maciço cerâmico não influenciou significativamente no aumento da quantidade de água a ser incorporada no processo de extrusão.

Quanto à perda ao fogo (PF), que é a característica que o tijolo possui de diminuir a sua massa pela perda de umidade, matéria orgânica e outros constituintes, quando este é submetido a altas temperaturas, o valor padrão é de no máximo 10 % (SENAI, 1999). Os tratamentos analisados na Tabela 3.1 apresentaram valores conforme a padronização, sendo que, estatisticamente, o tratamento testemunha diferenciou daquele com incorporação de serragem,



resultado este devido à adição de matéria orgânica em forma de serragem, o que ocasionou uma maior perda de massa.

A característica de absorção d'água (Aa) possui valor padrão entre de 8 e 25% (SENAI, 1999). Os resultados apresentados pelos tratamentos para esta característica não diferiram estatisticamente entre si e ficaram dentro da faixa de referência. Então pode-se afirmar que a incorporação de serragem não implica em um aumento da absorção d'água no produto, sendo esta propriedade diretamente ligada à resistência do produto.

Os tratamentos também foram analisados quanto à sua resistência à compressão. Segundo NBR 7170/83 (ABNT, 1983a), o tijolo maciço cerâmico é classificado em categoria conforme o seu valor de resistência à compressão (MPa), sendo considerado de categoria A: 1,5 MPa; B: 2,5 MPa e C: 4,0 MPa.

Pelos valores apresentados na Tabela 3.1., os tratamentos analisados foram classificados dentro da classe C, ou seja, da melhor classe de comercialização. Entretanto, na análise estatística, estes diferiram entre si e a incorporação de serragem produziu uma diminuição da resistência do tijolo, sendo importante salientar a importância da necessidade de estudos para se saber a quantidade ideal de serragem a ser incorporada para cada tipo de argila que for utilizada no processo de produção do produto cerâmico. Além disso para que o produto apresente valores de suas propriedades dentro das normas vigentes, exigir-se-á um controle rígido do processo de produção.

3.6 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho foram:

- O tijolo maciço com incorporação de serragem de *Eucalyptus* na proporção de 5 (cinco) partes de argila e 1 (uma) parte de serragem atendeu, quanto às suas características de produto acabado, às exigências das normas vigentes;
- O tijolo com incorporação de serragem apresentou, em média, uma redução de 5% (cinco por cento) do peso em relação ao tratamento testemunha;
- As características analisadas: umidade de extrusão, perda ao fogo e absorção d'água, apresentaram valores dentro das normas técnicas e melhores do que os resultados dos testes preliminares em laboratório;
- No teste de resistência à compressão, o tijolo do tratamento com incorporação de serragem apresentou valor médio de 6,62 MPa, o que o classifica como de Classe C, a classe de melhor qualidade do tijolo maciço cerâmico;
- O tijolo do tratamento com incorporação de serragem apresentou uma redução significativa da resistência à compressão em relação ao tratamento testemunha;

3.7 RECOMENDAÇÕES

- **Deve-se ter um controle rígido da produção para que os índices de incorporação não extrapolem e prejudiquem as características finais do produto.**

3.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. NBR 7170. Rio de Janeiro, 1983 b. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, verificação da resistência à compressão. NBR 6460. Rio de Janeiro, 1983 a. 3 p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S,N. Experimentação agrícola. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1985. 247p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Cerâmica vermelha e suas matérias-primas. São Paulo: IPT, 1980. 130p.

SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras; fundamentos. 2. ed. São Paulo. EDUSP, 1989a. v.1. 305 p.

SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras; aplicações. 2. ed. São Paulo. EDUSP, 1989b. v.2. 501 p.

SENAI. Relatório de ensaios de caracterização de argilas. Cuiabá, MT: SENAI, Laboratório de Cerâmica, 1999. 18 p.

ANEXOS

ANEXO A

Página

TABELA 1.A Resumo das análises de variância para as características físicas e mecânicas dos tratamentos com corpos de prova de 11,0 x 2,9 x 1,9 Cm analisadas em laboratório

71

TABELA 1.A. Resumo das análises de variância para as características físicas e mecânicas dos tratamentos com corpos de prova de 11,0 x 2,9 x 1,9 Cm analisadas em laboratório: TRF110: Tensão de Ruptura à Flexão 110°C (Kgf/cm²); TRF950: Tensão de Ruptura à Flexão 950°C (Kgf/cm²); U: Umidade de Extrusão (%); PF: Perda ao Fogo (%); RS: Retração de Secagem (%); RQ: Retração de Queima (%); RT: Retração Total (%); MEA: Massa Específica Aparente (g/cm³); Pa: Porosidade Aparente (%); Aa: Absorção D'água (%).

F.V.	G.L.	CARACTERÍSTICAS ANALISADAS									
		U (%)	PF (%)	RS (%)	RQ (%)	RT (%)	MEA g/cm ³	Pa (%)	Aa (%)	TRF110 Kgf/cm ²	TRF950 Kgf/cm ²
Tratamento	9	11,8666*	43,4828*	3,5231*	8,6873*	13,1169*	0,0306*	63,5993*	80,0453*	1,8785*	735,9669*
Resíduo	70	0,0263	0,0066	0,1876	61,6763	0,7875	0,0020	2,0892	2,5079	0,5421	355,1727
Total	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)		0,44	0,79	16,16	44,30	18,69	2,95	3,46	5,72	6,55	28,06

(*) indica a existência de diferença significativa entre as médias, pelo teste de F em nível de 5% de probabilidade.