



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru



INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO “ SERRAGEM CROMADA ”
EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

EMILIO SHIZUO FUJIKAWA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru , para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

BAURU – SP
Novembro-2002



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru**



**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO “ SERRAGEM CROMADA ”
EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

EMILIO SHIZUO FUJIKAWA

Orientador : Prof. Dr. Jorge Akutsu

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia da UNESP – Campus de Bauru ,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Industrial.**

**BAURU – SP
Novembro-2002**

Fujikawa, Emilio Shizuo

Incorporação do resíduo “serragem cromada” em materiais de construção civil / Emilio Shizuo Fujikawa
Bauru : [s.n.], 2002.

80 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Akutsu.

1. Serragem cromada. 2. Encapsulamento. 3. Lixiviação. I – Título. II – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru.

EMILIO SHIZUO FUJIKAWA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO “ SERRAGEM CROMADA ” EM MATERIAIS
DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

COMISSÃO JULGADORA

TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Presidente Orientador

2º Examinador

3º Examinador

4º Examinador

5º Examinador

Bauru, _____ de dezembro de 2002.

Este trabalho é dedicado a todos os diretores, coordenadores e professores das instituições onde leciono, pelo incentivo, paciência e principalmente na confiança de que venceríamos mais esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jorge Akutsu pela brilhante orientação neste trabalho ;

A Fundação Paulista de Tecnologia de Educação de Lins que possibilitou a realização de todos os ensaios físicos e químicos em seus laboratórios do CETEC – Centro Tecnológico e também a Unilins que financiou a apresentação oral e a inclusão deste no X Silubesa – Simpósio Luso – Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado em setembro deste ano na cidade de Braga – Portugal.

À minha esposa Solange e meus filhos Adriana, Luciana e Fausto, pela paciência e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho fosse possível.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 3 |
| 3. REVISÃO DA LITERATURA..... | 4 |
| 3.1 O Cromo e a Saúde..... | 4 |
| 3.2 Classificação dos Resíduos Sólidos..... | 6 |
| 3.3 Resíduos sólidos gerados em curtumes ou indústrias de processamento de couro..... | 7 |
| 3.4 Artefatos da Construção Civil..... | 18 |
| 4. METODOLOGIA..... | 36 |
| 4.1 Métodos..... | 36 |
| 4.2 Materiais..... | 40 |
| 4.3 Artefatos fabricados..... | 44 |
| 4.4 Requisitos Normatizados..... | 52 |
| 5. RESULTADOS E DISCUÇÕES..... | 54 |
| 5.1 Tijolos de argila queimados ao forno..... | 54 |
| 5.2 Corpos de prova de concreto..... | 59 |
| 5.3 Tijolos de solo – cimento..... | 62 |
| 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES..... | 74 |
| 6.1 Conclusões..... | 74 |
| 6.2 Sugestões..... | 75 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 77 |

LISTA DAS FIGURAS

| | | | |
|--------|------|---|----|
| Figura | 3.1 | Vista geral da serragem cromada em tiras..... | 13 |
| Figura | 3.2 | Pó de lixadeira – serragem moída – tiras..... | 14 |
| Figura | 4.1 | Curva granulométrica de agregados miúdos..... | 42 |
| Figura | 4.2 | Curva granulométrica de agregados graúdos..... | 43 |
| Figura | 4.3 | Tijolos de argila queimados ao forno..... | 46 |
| Figura | 4.4 | Forno da olaria onde foram queimados os tijolos..... | 47 |
| Figura | 4.5 | Tijolos de solo-cimento –1ºtraço..... | 49 |
| Figura | 4.6 | Vista da prensa manual sendo preenchida..... | 50 |
| Figura | 4.7 | Operação de prensagem manual..... | 50 |
| Figura | 4.8 | Tijolos de argila ao forno preparados para o ensaio..... | 51 |
| Figura | 4.9 | Ensaio de compressão – Tijolo solo-cimento..... | 51 |
| Figura | 4.10 | Ensaio de compressão – CP de concreto..... | 52 |
| Figura | 5.1 | Ensaio de resistência à compressão – Tijolo ao forno..... | 57 |
| Figura | 5.2 | Ensaio de absorção d`água..... | 57 |
| Figura | 5.3 | Ensaio de Solubilização e Lixiviação do cromo..... | 58 |
| Figura | 5.4 | Ensaio de Resistência à Compressão – CP concreto..... | 60 |
| Figura | 5.5 | Ensaio de Solubilização e Lixiviação do cromo..... | 61 |
| Figura | 5.6 | Ensaio de Resistência à Compressão – 1 traço..... | 64 |
| Figura | 5.7 | Ensaio de absorção d`água..... | 64 |
| Figura | 5.8 | Ensaio de Solubilização e Lixiviação do cromo..... | 65 |
| Figura | 5.9 | Ensaio de Resistência à Compressão 7 dias – 2º traço..... | 68 |
| Figura | 5.10 | Ensaio de Resistência à Compressão 28 dias – 2ºtraço..... | 69 |
| Figura | 5.11 | Ensaio de Resistência à Compressão 7 dias..... | 69 |
| Figura | 5.12 | Ensaio de Resistência à Compressão 14 dias..... | 70 |
| Figura | 5.13 | Ensaio de Resistência à Compressão 28 dias..... | 70 |
| Figura | 5.14 | Ensaio de Absorção d`água..... | 71 |
| Figura | 5.15 | Ensaio de Solubilização e Lixiviação do cromo..... | 71 |

LISTA DAS TABELAS

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Tabela | 3.1 | Teores dos componentes dos principais cimentos portland brasileiros | 26 |
| Tabeja | 3.2 | Tabela de características do solo para tijolos de solo-cimento..... | 35 |
| Tabela | 4.1 | Tabela de calibração da prensa hidráulica universal..... | 39 |
| Tabela | 4.2 | Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos... | 42 |
| Tabela | 4.3 | Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos.. | 43 |
| Tabela | 4.4 | Tabela de composição do solo utilizado..... | 44 |
| Tabela | 4.5 | Tabela de consistência do solo utilizado..... | 44 |
| Tabela | 4.6 | Tabela de granulometria do solo utilizado..... | 44 |
| Tabela | 4.7 | Quantidade de materiais para a confecção de tijolos de argila queimados ao forno..... | 45 |
| Tabela | 4.8 | Quantidade de materiais para a moldagem de corpos de prova de concreto..... | 46 |
| Tabela | 4.9 | Quantidade de materiais para a prensagem de 06 tijolos por traço..... | 48 |
| Tabela | 4.10 | Quantidade de materiais para a prensagem de 06 tijolos por traço..... | 49 |
| Tabela | 4.11 | Tabela dimensional de tijolos de solo-cimento..... | 52 |
| Tabela | 4.12 | Tabela dimensional de tijolos maciços..... | 53 |
| Tabela | 4.13 | Tabela de resistência à compressão..... | 53 |
| Tabela | 5.1 | Ensaio de resistência à compressão - tijolos ao forno..... | 54 |
| Tabela | 5.2 | Ensaio de absorção d`água..... | 56 |
| Tabela | 5.3 | Ensaio de solubilização e lixiviação do cromo..... | 56 |
| Tabela | 5.4 | Ensaio de resistência à compressão – CP de concreto..... | 59 |
| Tabela | 5.5 | Ensaio de solubilização e lixiviação do cromo..... | 60 |
| Tabela | 5.6 | Ensaio de resistência à compressão – tijolos 28 dias..... | 62 |
| Tabela | 5.7 | Ensaio de solubilização e lixiviação do cromo..... | 63 |
| Tabela | 5.8 | Ensaio de absorção d`água..... | 63 |
| Tabela | 5.9 | Ensaio de resistência à compressão 7 dias – 2º traço..... | 66 |
| Tabela | 5.10 | Ensaio de resistência à compressão 14 dias – 2º traço..... | 66 |

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Tabela | 5.11 | Ensaio de resistência à compressão 28 dias – 2º traço..... | 67 |
| Tabela | 5.12 | Ensaio de solubilização e lixiviação do cromo..... | 67 |
| Tabela | 5.13 | Ensaio de absorção d`água..... | 67 |
| Tabela | 5.14 | Tabela resumo dos resultados..... | 73 |

FUJIKAWA, E. S. *Incorporação do resíduo “serragem cromada” em materiais de construção civil*. Bauru, 2002. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)- Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “ Julio de Mesquita Filho “

RESUMO

A “serragem cromada” é um tipo de resíduo sólido gerado em grandes quantidades nas indústrias de processamento de couro e nos curtumes do Brasil. Do ponto de vista ambiental é um resíduo considerado muito problemático, pois o mesmo se enquadra segundo a legislação brasileira na classe dos resíduos perigosos, devido à presença de concentrações lixiviáveis relativamente altas do elemento cromo trivalente utilizado no processo de curtimento. O destino da “serragem cromada” vinha tendo de maneira quase que generalizada seu simples lançamento em “lixões” sem nenhum tipo de controle. Mais recentemente, em função de pressões por parte dos órgãos de controle ambiental às indústrias de processamento de couro e curtumes, a “serragem cromada”, vem sendo estocada nas mesmas, constituindo enormes pilhas de armazenamento nos pátios dessas indústrias. Mediante o exposto, a presente pesquisa propõe uma forma adequada de destinação à “serragem cromada”. Assim, além de se procurar uma solução para atender o aspecto sanitário, objetivou-se também uma solução direcionada ao seu reaproveitamento. A forma de reaproveitamento proposta de “serragem cromada” foi através de sua incorporação em artefatos de construção civil, por tratar-se de setor que pode absorver grandes quantidades de materiais. Foram confeccionados diferentes tipos de artefatos, através da confecção de corpos de prova de concreto, tijolos de argila ao forno, tijolos de solo-cimento prensados manualmente com adição de pó, moído e serragem. Tais artefatos foram submetidos aos ensaios de resistência, visando testá-los como material de construção além de serem submetidos a ensaios de solubilização e lixiviação para averiguar a eficiência dos aglomerantes utilizados no encapsulamento dos elementos lixiviáveis presentes na “serragem cromada”. Os resultados obtidos foram considerados bons tanto nos ensaios físicos de resistência à compressão e absorção d’água, quanto nos ensaios químicos de solubilização e lixiviação que os comparam com a classificação dos resíduos sólidos.

Palavras-chave : Serragem cromada, resíduos sólidos, encapsulamento, lixiviação.

FUJIKAWA, E. S. *Incorporação do resíduo “serragem cromada” em materiais de construção civil*. Bauru, 2002. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)- Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “ Julio de Mesquita Filho “

ABSTRACT

The “tanned leather waste” is a type of solid waste generated in great amounts in tanneries and industries of leather processing in Brazil. From the environmental point of view it is considered to be a very problematic waste, since its classification is “hazardous waste”, according to the Brazilian rules, due to the presence of relatively high lixiviable concentrations of the element trivalent chromium used in the tanning process. “The tanned leather waste” destination tended to be the simple dropping on rubbish landfills without any type of control . More recently, due to pressures of the environmental control organs on the industries of leather processing and tanneries, “the tanned leather waste” has been stored inside the manufacturing facilities, becoming enormous storage piles in those industries courtyards. By the exposed, this research proposes an appropriate way to the destination for “tanned leather waste”. Thus, besides searching for a solution to assist the sanitary aspect, it was also aimed at a solution addressed to its reclaiming.. The way for reclaiming “tanned leather waste” proposed is its incorporation into materials for civil buildings, as a sector that can absorb great amounts of materials. Many different types of products were made by making proof bodies of concrete, clay bricks to the oven, soil-cement bricks pressed manually with addition of ground leather powder and leather waste. Such products were submitted to the resistance experiments, seeking to test them as a construction material besides they be submitted to dissolvability experiments and lixiviation to discover the efficiency of the gathering materials used in the encasement of chemically dissolvent elements present in the “tanned leather waste”. The results obtained were considered good so many compression resistance experiments and water absorption, as much chemicals experiments of dissolvability and lixiviation wich compare with solid waste classification.

Key-words: tanned leather waste, solid wastes, encasement, lixiviation

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de processamento de couros são comumente conhecidas no Brasil como curtumes, ou indústrias de acabamento do couro, dependendo do tipo ou fase de processamento que cada uma delas efetua com o couro.

Na realidade, existem duas fases distintas no seu processamento, a primeira que processa o couro cru até a forma curtida e a segunda que utiliza o couro já curtido como matéria prima para a fabricação dos diversos tipos de artefatos.

As duas fases podem ser efetuadas por apenas uma indústria, ou então de forma separada, sendo que as da primeira fase são os conhecidos curtumes e os da segunda fase são as indústrias de acabamento de couro, ou indústrias de artefatos de couro.

As indústrias de processamento do couro, quando comparadas com outros tipos de indústrias, são as que apresentam grandes problemas ambientais.

A preocupação com o meio ambiente por parte dos órgãos de controle ambiental fez com que muitas indústrias, mesmo em fase de operação, implantassem sistema de tratamentos e destinação final dos resíduos gerados por elas.

Um tipo de resíduo gerado pelas indústrias, em grandes quantidades é a denominada “raspa de couro” ou “serragem cromada” que é um resíduo gerado na fase de acerto e padronização da espessura do couro curtido, quando o mesmo é preparado para a fabricação de sapatos, luvas, bolsas, etc. Tal operação se dá em equipamentos denominado “máquinas rebaixadeiras”.

A “serragem cromada”, do ponto de vista de resíduos, pode ser considerada como um dos mais problemáticos, devido ao seu grande volume gerado, associado à sua classificação segundo a NBR-10.004, enquadrando-se como resíduo Classe I (Resíduo Perigoso), devido a presença do elemento Cromo trivalente (Cr^{-3}) em altas concentrações.

O município de Bocaina – SP, vem enfrentando esse grande problema, uma vez que a sua economia é basicamente constituída de mais de cem pequenas indústrias de fabricação de artefatos de couro, para uma população de aproximadamente dez mil habitantes.

A destinação atual da “serragem cromada”, é o “lixão” do município, desobedecendo totalmente as exigências do aspecto legal-ambiental. Constantemente intimadas pela CETESB a dar uma solução técnico-ambiental para o caso, uma vez que o simples fechamento das indústrias só implicaria em problemas sociais, já que elas absorvem mais de 60% da mão de obra local.

Conforme notícias mais recentes, existem alguns estudos isolados, visando o reaproveitamento desses resíduos para diferentes aplicações; por exemplo: fabricação de palmilhas, fabricação de painéis para forros e divisórias, incorporação em tijolos de barro.

Tais soluções não apresentam estudos de viabilidade técnica, nem tampouco contemplam o aspecto legal de utilização da serragem cromada, que seria o de efetuar o real encapsulamento ou fixação do elemento cromo nesses elementos ou subprodutos como forma de legalizar esses processos perante os órgãos de controle ambiental.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho, é o de propor e realizar um estudo visando dar uma destinação final ambientalmente correta para este tão problemático resíduo, incorporando-o em materiais de construção civil, buscando o seu real encapsulamento.

Objetiva também reaproveitar este resíduo, confeccionando artefatos que atendam à construção civil.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O Cromo e a Saúde

MARAGNO (1999) cita os efeitos do cromo sobre os animais, o homem e as plantas. É um elemento químico de transição do grupo VI-B da tabela periódica e em termos de quantidade é considerado o vigésimo primeiro metal mais abundante da crosta terrestre, com uma concentração média de 100 mg/kg.

E segundo MOORE & RAMAMOORTHY (1984), os primeiros uso do cromo foram na fabricação de pigmentos, por volta de 1880 na França, Alemanha e Inglaterra, os compostos de cromo foram utilizados como corantes na indústria têxtil..

A WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) em 1984 relata que muitas rochas e solos contem pequenas quantidades de Cromo e sua principal fonte é o mineral cromita, no qual o metal se encontra na forma trivalente. O Cromo hexavalente também existe naturalmente, mas com menor frequência. Em seu estado natural de ocorrência, o Cromo apresenta-se em uma forma altamente insolúvel, entretanto, fatores do tempo, oxidação e ação das bactérias podem convertê-lo em uma forma levemente solúvel. O cromo trivalente e o cromo hexavalente ocorrem

no meio biológico, mas apenas a forma trivalente é estável, enquanto que o Cromo hexavalente é rapidamente reduzido por várias espécies orgânicas.

Segundo BATTALHA & PARLATORE (1977) O Cromo ocorre como contaminante das águas sujeitas à poluição de despejos de curtumes, indústrias de cromatose de circulação de águas de refrigeração, para o controle da corrosão.

Segundo a WHO (1984), devido a baixa solubilidade do Cromo, os níveis deste mineral na água são baixos (9,7 µg /l), entretanto, há exemplos de contaminação com concentrações elevadas de Cromo em rios que recebem efluentes contendo este mineral.

De acordo com OSSANAI (1979), os compostos de Cromo, na concentração de 5 mg /l, são tóxicos para os peixes da água doce. Apesar de os peixes serem relativamente tolerantes ao Cromo, alguns invertebrados aquáticos são mais sensíveis e a toxicidade varia com as espécies, estado de oxidação e o pH do meio.

De acordo com a WHO (1984), o Cromo é absorvido pelos homens através do trato gastrointestinal e respiratório e a quantidade absorvida difere para cada sistema e depende da forma como o Cromo se encontra.

O Cromo parece ser necessário para o metabolismo da glicose e de lipídios e para a utilização de aminoácidos em muitos sistemas, além de ser necessário na prevenção de diabetes e arteriosclerose em seres humanos.

Por outro lado de acordo com KAUFMAN et al apud WHO (1984), níveis de Cromo hexavalente de 10 mg / kg de peso corporal podem provocar necroses do fígado, nefrite e morte em homens e, em doses menores, podem causar irritações na mucosa gastrointestinal.

Além destes efeitos negativos, o Cromo hexavalente em altas doses pode causar câncer no trato intestinal, dermatites e úlceras na pele e nas narinas. Há, ainda uma forte evidência de que trabalhadores expostos a altos níveis de Cromo hexavalente têm maior risco de contraírem câncer nos pulmões (WHO, 1984)

Muito embora tenha sido constatado em diversos estudos, que a aplicação de Cromo em pequenas quantidades no solo seja benéfica ao crescimento

das plantas, esse elemento não é reconhecido como essencial ao seu desenvolvimento.

De acordo com a CETESB (1980), “em face de inúmeros relatos e experimentos que evidenciaram a toxicidade do Cromo quando aplicado em solos agrícolas, particularmente se aplicado sob a forma hexavalente, o Ministério da Agricultura e Serviço de Auxílio ao Desenvolvimento da Pesca e Agricultura (ADAS) da Inglaterra estabeleceu como limite máximo tolerável a concentração de 500 mg de Cromo por kg de solo.

3.2 Classificação dos Resíduos Sólidos

Conforme especificado pela NBR -10.004 – Resíduos sólidos – classificação (1987) “resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam da atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isto, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

A NBR -10.004 – estabelece três classes de resíduos, a saber: Classe I – Perigosos; Classe II – Não inertes e Classe III – Inertes. Assim, pois, “como perigosos, são definidos todos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.”

Os resíduos que submetidos ao Teste de Lixiviação, conforme Norma Brasileira NBR -10.005 – “Lixiviação de Resíduos – Procedimento“,

apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes da Listagem 7 – Limite máximo no Extrato obtido no Teste de Lixiviação, são classificados como perigosos. Para o cromo este limite máximo é fixado em 5 mg /l.

Os resíduos Classe II – não inertes – são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos e não são considerados inertes.

Os resíduos Classe III – inertes – são aqueles que submetidos ao Teste de Solubilização conforme NBR-10.006 – “Solubilização de Resíduos – Procedimento” não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem 8 – “Padrões para o teste de solubilização, com limite máximo do cromo de 0,05 mg /l.

3.3 Resíduos sólidos gerados, em curtumes ou indústrias de processamento de couro.

São apresentados a seguir os diversos tipos de resíduos gerados em curtumes ou indústrias de processamento de couro. São tecidas considerações acerca das suas características quali-quantitativas, bem como aspectos relacionados a sua reciclagem e reaproveitamento.

3.3.1 Aparas não caleada

São aquelas aparas obtidas antes de qualquer contato com produtos químicos utilizados no processo e, portanto, são os resíduos com menor chance de contaminação química.

De acordo com CLAAS & MAIA (1994), esse material bruto tem uma composição aproximada de 62% de água; 23,5% de proteína; 13,5% de material graxo e 1% de substância mineral.

Em base seca essa composição representa 61,6% de proteínas, 36,0% de material graxo e 2,4% de substâncias minerais, tal fato faz com que esse material, assim como as aparas caleadas, sejam utilizados como matéria prima para fabricação de cola de origem animal e gelatina de uso farmacêutico ou alimentar.

Esse tipo de resíduo sólido, em termos quantitativos pode representar em termos de geração cerca de 40 Kg/ton. pele salgada e seu aproveitamento econômico, como os citados acima, já estão consagrado em nossa economia.

Novas aplicações têm sido pesquisadas, como o aproveitamento para fins médicos e cirúrgicos, que poderão ampliar a utilização econômica desse resíduo. Uma outra aplicação industrial dessa aparas, juntamente com as aparas caladas, que vem crescendo é a fabricação de alimentos para cães.

3.3.2 Aparas caleadas

As aparas caleadas são os pedaços e bordas de couros obtidos após o processo de depilação e caleiro. De todos os resíduos sólidos não curtidos, sem dúvida, é o que apresenta a mais ampla gama de reaproveitamento industrial.

Sua composição química média pode ser geralmente estimada em 75% de água, 22,5% de proteína 0,3% de material graxo e 2,2% de substância minerais.

Em base seca, essa composição equivale a 90% de proteína, 8,8% de substâncias minerais e 12% de material graxo. O alto teor de proteínas é, sem dúvida, fator fundamental no seu aproveitamento econômico posterior.

Além de aplicações já consagradas na fabricação de cola de origem animal e gelatinas, assim como as aparas não caleadas, as aparas caleadas encontram aplicação em produtos médicos e farmacêuticos, como pomadas e substâncias cicatrizantes.

Além da fabricação de gelatina também a fabricação de invólucros comestíveis para a indústria de embutido tem-se destacado. Em caráter menos nobre,

mas também importante, tem sido verificada a utilização de aparas caleadas na fabricação de produtos para a alimentação canina.

Outra aplicação importante e que pode ser de interesse direto para a própria indústria de couro é a utilização desse material na fabricação de ligantes para produtos de acabamento de couros.

As aparas caleadas podem ser geradas na proporção de 80kg/ton. de pele salgada e, geralmente são totalmente absorvidos pela indústria de gelatinas e na fabricação de colas de origem animais.

3.3.3 *Carnaça*

A carnaça é o resíduo sólido obtido da parte interna das peles, que não tem interesse para o curtimento propriamente dito. A carnaça é obtida por meio das operações de pré-descarne e descarne ou redescarne.

A carnaça obtida da operação de pré-descarne é usualmente denominada de carnaça primária e da operação de descarne ou redescarne é usualmente denominada de carnaça secundária.

A carnaça primária apresenta melhores características para utilização posterior como matéria prima de graxa industrial. Também pode ser empregada como substância de engraxe de couro, na fabricação de sabões, como a utilização do sebo de boa qualidade obtido do cozimento da carnaça e mesmo na fabricação de ração para a alimentação animal.

Já a carnaça secundária um produto de menor qualidade, se comparado a carnaça do pré-descarne, devido à prensa de sulfeto de cálcio em sua composição, além de grande percentual em fibras e sais, o que faz com que, para sua utilização posterior, seja necessária oxidação do sulfeto com peróxido de hidrogênio (fabricação de farinha e rações animais) ou a descalcinação (na utilização do sebo resultante na fabricação de sabões).

Ambas apresentam teor de umidade em torno de 80% e, em base seca, a carnaça primária apresenta 50% de proteínas, 35% de matéria graxa e 15% de

matéria mineral, em média. Já a carnaça secundária, em base seca, apresenta esses percentuais bem inferiores.

De acordo com CLAAS & MAIA (1994), as carnaças juntas são geradas na proporção média de 150 kg/ton. de couro salgado. No entanto essa qualidade de geração pode variar muito em função da qualidade do couro cru e do processo produtivo empregado.

Ainda de acordo com os autores anteriormente referidos, a graxa extraída da carnaça pode apresentar uma composição aproximada contendo cerca de 40% de ácido olêico, 27% de ácido palmítico, 10% de ácido palmitolêico e 7% de ácido esteárico.

Os subprodutos de carnaça podem ser extraídos em um sistema de autoclave fechada sem agitação, utilizando-se uma serpentina de vapor com pressão de cerca de 4,5 kgf/cm² e tempo de extração de 2,5h (SPRINGER, 1985).

Quando se percebe a extração da graxa da carnaça secundária (contendo sulfeto e íons cálcio), sugere-se que esta seja realizada em tanques coberto com injeção direta de vapor, agitação intermitente e adição de ácido sulfúrico concentrado. O tempo de reação é de aproximadamente 4 h.

Para serem evitadas emissões para a atmosfera do H₂S liberado, é conveniente a instalação de um dispositivo de aspiração e lavagem de gases na unidade.

3.3.4 Aparas curtidas

As aparas curtidas são os resíduos gerados após o processo de curtimento do couro. Sua utilização econômica vai depender do emprego ou não de um processo de descurtimento. Como esse processo é oneroso, só deve ser efetuado após estudos de viabilidade econômica na utilização desse resíduo.

O produto das aparas curtidas após esse processo de descurtimento, deverá apresentar níveis de cromo compatível com os permitidos pela legislação, para ser utilizado na fabricação de gelatinas.

No entanto, na opinião do proponente desse plano e segundo sua experiência, a utilização para tal fim, deveria ser evitada.

As aparas curtidas sem o processo de descurtimento e dependendo de suas dimensões podem ser utilizadas na fabricação de artigos pequenos como luvas ou detalhes de couro para a indústria de calçados e vestuários. Submetidas a uma moagem podem ter a mesma destinação da serragem cromada a ser descrita seqüencialmente.

Sua composição pode variar de acordo com o processo de curtimento empregado e se esse curtimento é efetuado ao cromo ou através de curtimento vegetal. Conforme citado por CLAAS & MAIA (1994), as aparas curtidas ao cromo apresentam cerca de 55% de umidade e, em base seca, apresentam 5,5% de cromo trivalente.

As aparas curtidas ao tanino vegetal também são constituídas por cerca de 55% de umidade e, em base seca, apresentam aproximadamente 38% de taninos combinados.

Em média, uma tonelada de couro salgado pode gerar até 115 kg de aparas curtidas, sendo este resíduo o segundo mais produzido no processo produtivo do couro sem o mesmo potencial de aplicações econômicas posteriores abordadas anteriormente nessa seção.

3.3.5 *Serragem cromada*

A serragem cromada é um resíduo gerado na máquina de rebaixar, operação esta utilizada para uniformizar a espessura do couro curtido.

Apresenta aspecto físico similar a uma serragem e devido ao baixo peso específico, ocupa muito espaço nos curtumes. Esse tipo de resíduo ainda não tem aplicação e interesse econômico e usualmente verificam-se grandes pilhas amontoadas nos pátios dos curtumes.

No entanto, com a crescente fiscalização por parte dos órgãos de controle ambiental tem surgido a necessidade de uma destinação adequada desses

resíduos, que não podem mais ficar simplesmente estocados nos pátios a “céu aberto” dado a alta concentração de cromo que é lixiviado pela ação das águas de chuva.

Estudos recentes de aplicação do resíduo na fabricação de sola e palmilhas tem demonstrado resultados satisfatórios, quando comparados ao custo de um tratamento e destinação final, e assim algumas empresas do ramo têm investido na otimização de formulações em custo mais competitivos.

A serragem cromada também encontra aplicação na fabricação de compensados de couro, como no caso de paredes divisórias, em decorrência da propriedade de atuar como isolante térmico e acústico (TEIXEIRA, 1985).

A recuperação do cromo nesses resíduos pode resultar em um resíduo com baixos teores de cromo mediante uma reação com cal e ácido oxálico (SPRINGER, 1985) e um liquor contendo cromo, que pode ser utilizado no curtimento.

Segundo CLAAS & MAIA (1994) , a serragem cromada logo após a sua geração apresenta cerca de 40% de umidade e, em base seca, o teor de cromo pode chegar a 3,0%.

O beneficiamento de uma tonelada de couro salgado pode gerar cerca de 100kg de serragem cromada como resíduo sólido. Essa quantidade pode variar muito de indústria para indústria, além da qualidade do couro.

Reduções consideráveis na massa desse resíduo podem ser obtidas na ocasião em que os couros são classificados por espessura na operação de sua divisão transversal antes do processo de curtimento, segundo o artigo de fabricação a quem os mesmo se destinam.

Os couros mais espessos, por exemplo, devem ser destinados à fabricação de artigos como bolsas, calçados de segurança, etc. Já, os couros menos espessos devem ser destinados a artigos como napa vestuários, napa calçado, etc.

Em ambos os casos, a serragem gerada no processo de rebaixamento para uniformizar a espessura dos couros, na máquina de rebaixar, seriam substancialmente reduzido.

(Ver Figura 3.1 – Vista geral da serragem cromada em tiras)



Figura 3.1 – Vista geral da serragem cromada em tiras

3.3.6 *Pó de lixadeira*

O pó de lixadeira é o resíduo proveniente das máquinas de lixar couro, etapa realizada durante o acabamento de uma parcela do couro beneficiado. Esse resíduo pode ser incorporado à serragem cromada em suas aplicações, algumas delas referidas no item anterior.

Também pode ser utilizado como ingrediente na fabricação de papelão e carga para a indústria de cimento.

Sua composição difere em parte da composição do farelo de rebaixadeira, devido às etapas do acabamento de couro entre as operações de rebaixamento e lixamento. O teor de umidade desse resíduo, em média, chega a 16% e, em base seca, o teor de cromo pode atingir 4%. Segundo CLAAS & MAIA (1994), o beneficiamento de uma tonelada de pele salgada pode gerar 2 kg de pó de lixadeira. (Ver figura 3.2 onde o moído é o resíduo em tiras trituradas em máquinas de reciclagem de plásticos).



Figura 3.2 – Da esquerda para a direita : pó de lixadeira – serragem moída - tiras

3.3.7 Aparas de couro semi-acabado e acabado

As aparas, geradas na fase final do processamento do couro, representam um volume pequeno no processo de fabricação propriamente dito, mas constituem um volume maior na indústria que utiliza o couro como matéria prima (indústria de calçados, vestuário, etc.).

Uma aplicação simples e imediata para tais resíduos pode ser a doação desse material para trabalhos artesanais em escolas, creches e, mesmo, pequenas indústrias vinculadas ao artesanato.

O teor de umidade desse material pode chegar a 15% e o cromo, em base seca, atinge em média 3,5%. Segundo CLAAS & MAIA (1994), a quantidade que uma tonelada de couro salgado pode gerar esse tipo de resíduo pode chegar a 30 kg.

3.3.8 Outros tipos de resíduos sólidos

No dia a dia da empresa, vamos encontrar uma série de outros resíduos que, mesmo levando-se em conta sua pouca quantidade e o fato de não fazer

parte direta do processo produtivo, deverão ter igualmente um tratamento e destinação final adequados.

É o caso dos resíduos de pintura da seção de acabamento, das cinzas produtivas na(s) caldeira(s), das embalagens de insumos químicos, do lixo gerado no restaurante e na limpeza da empresa.

3.3.9 Pêlos

A recuperação do pêlo está intimamente associada à questão de demanda do mercado e respectiva vantagem econômica. Caso se objetive a recuperação do pêlo, há que se prever esta atividade na ocasião do processo de depilação/caleiro, pelo método não destrutivo dos pêlos.

Os pêlos têm sua aplicação nas indústrias de produção de tapetes, feltros, chapéus, etc. Atualmente a concorrência devida às fibras sintéticas em geral, desencoraja o seu aproveitamento.

Na Europa, é comum recuperar os pêlos para a fabricação de diversos tipos de feltros industriais, assim como de chapéus, escovas e pincéis.

Segundo CLAAS & MAIA (1994), nos EUA, após passar por uma fase de desvalorização, o preço do pêlo se recuperou, tornando novamente atrativa a sua recuperação. Em 1967, 40% dos curtumes americanos recuperavam o pêlo que era pago à razão de US\$ 0,35 por quilograma.

No Brasil, não se tem notícia de curtumes que realizem a recuperação dos pêlos, uma vez que a grande maioria ou eventualmente todos utilizam o processo destrutivo de pêlos na operação depilação/caleiro.

3.3.10 Cromo

O cromo proveniente dos banhos de curtimento, quando coletados em linha separada pode ser reaproveitado através de processos físico-químicos de tratamento.

Inicialmente o cromo é submetido a uma reação de precipitação com utilização de hidróxido de cálcio, sódio ou magnésio, formando-se o hidróxido de cromo III.

Posteriormente, o precipitado de cromo formado pode facilmente ser redissolvido com ácido sulfúrico, originando novamente o sulfato de cromo $\text{Cr}(\text{OH})_3$. O líquido de sulfato de cromo assim obtido, na prática é bem menos puro que o produto adquirido originalmente. No entanto, pode ter sua aplicação no curtimento de material menos nobre como é o caso das raspas de couro, utilizado para a fabricação de luvas de segurança.

A grande vantagem da recuperação do cromo no caso, associa-se ao ganho ambiental, uma vez que se reduz a sua concentração no efluente final da estação, aliado à menor contaminação de outro resíduo sólido que é o lodo primário das estações de tratamento de efluentes líquidos.

3.3.11 Resíduos de Pintura

Os resíduos de pintura oriundos da limpeza de máquinas como túneis de pintura, cortinas, multipontos, ou mesmo os resíduos após a pintura com auxílio de pistolas, ainda não apresentam viabilidade técnica para reutilização, devendo-se, portanto a busca de sistemas alternativos de tratamento e destinação final.

No entanto, determinadas sobras de tintas e solventes podem ser reaproveitados em formulações de qualidade inferior, no próprio processo de acabamento.

3.3.12 Cinzas das Caldeiras

As cinzas geradas nas caldeiras, em termos quantitativos representam uma parcela pouco significativa, quando comparada ao montante geral dos resíduos gerados no curtume.

Em termos qualitativos, as características das cinzas dependem muito do tipo de combustível utilizado, por exemplo, lenha ou óleo combustível.

As cinzas em geral se apresentam na faixa alcalina e dependendo da ausência de substâncias contaminantes podem ser utilizadas como agente corretivo de pH do solo. No entanto, considera-se desprezível sua aplicação econômica face à sua pequena quantidade.

3.3.13 Lodo das Estações de Tratamento de Efluentes Líquidos

Basicamente, as estações de tratamento de despejos líquidos geram dois tipos de lodo, segundo o fluxograma convencional geralmente de aplicação quase que generalizada, ou seja; o lodo primário e o lodo secundário.

Dos dois tipos de lodo, o que apresenta maior preocupação é o lodo primário, que dependendo do tipo de fluxograma adotado na estação de tratamento (separação ou não da linha de cromo), pode originar um lodo classe I ou classe II. Cabe salientar que as restrições e custos envolvidos com o tratamento e destinação final dos resíduos classe I, são bem superiores que os de classe II.

Com relação ao lodo secundário, em virtude do mesmo ser proveniente de processo biológico, em geral se enquadra na classificação da NBR 10.004 como classe II.

Os dois tipos de lodo, caso sejam classificados como classe II, eventualmente sofrerão menores restrições no tocante ao seu tratamento e destinação final.

Em termos de reciclagem e reaproveitamento desses tipos de resíduos as experiências brasileiras podem ser consideradas bastante incipientes.

No entanto, conforme já citado no item que trata dos tipos de resíduos gerados no processamento do couro, (item 3.3) tem-se efetuado estudos no sentido de aproveitamento desses resíduos através de sua aplicação no solo.

3.4 *Artefatos da Construção Civil*

3.4.1 *Concreto não estrutural*

3.4.1.1 *Agregados*

Segundo BAUER (1994), agregado é o material particulado, incoesivo de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico; filer, pedra britada, bica corrida, rachão, etc.

Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente.

Segundo a origem :

Naturais ; os que já se encontram na forma particulada na natureza : areia e cascalho

Industrializados : Os que têm a sua composição particulada obtida pós-processos industriais. Nestes casos, a matéria-prima pode ser: rocha, escória de alto-forno e argila.

Segundo as dimensões das partículas:

Miúdo : areias

Graúdo : cascalhos e britas

Segundo o peso específico aparente:

Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios e pesados.

Leves : vermiculita, argila expandida, escória granulada

Médios : calcário, arenito, cascalho, granito, areia, basalto, escória.

Pesados : barita, hematita, magnetita

Areia, geologicamente, é um sedimento clássico consolidado, de grãos em geral quartzosos de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm.

Considerado como material de construção, areia é o agregado miúdo. Os diâmetros limites adotados para classificar um agregado como areia variam conforme o ponto de vista em que se encara a questão.

A areia, como material de construção, precisa ter grãos formados de material consistente, não necessariamente quartzosos.

Um granulado de grãos friáveis, mesmo que satisfaça a graduação 0,15/4,8, não pode normalmente substituir a areia; ele será apenas um material enquadrado na fração areia.

Um ensaio de esmagamento situa o material em função da friabilidade do material dos grãos.

As areias como material de construção provém: de rio, de cava, de britagem, de escória, de praia e dunas.

Para caracterizar um agregado é necessário conhecer quais são as parcelas constituídas de grãos de cada diâmetro, expressas em função da massa total do agregado.

Para conseguir isto, divide-se, por peneiramento, a massa total em faixas de tamanhos de grãos e exprimi-se a massa de cada faixa em porcentagem total.

As areias apresentam as características curvas granulométricas em S. Podem ser classificadas em faixas granulométricas, como as seguintes:

- fina – 0,15/0,6 mm;
- média – 0,6/2,4 mm;
- grossa – 2,4/4,8 mm.

Na instalação de classificação de usina de agregados existentes em obras de grande consumo de concreto, a areia é separada nas três categorias citadas acima por meio de peneiras vibratórias e remisturada nas proporções do ponto “P” em “alimentadores dosadores”.

As propriedades mecânicas das areias, segundo BAUER (1994), são descritas a seguir:

Inchamento - A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam a ser tão delgados

quanto à espessura da película de água, esta afasta os grãos uns dos outros, produzindo inchamento.

Higroscopia - A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três: sólidos, água e ar; a areia saturada apenas de novo duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaço entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscópica ou ascensão capilar, isto é: quando a areia entra em contato com a água na base, a água no interior da massa alcança, devido à capilaridade, nível acima do da água no exterior. Quanto mais fina é a areia, mais alta é a ascensão capilar. Isto deve ser levado em conta em algumas aplicações como, pisos e filtro, Por exemplo. Por estas razões, a areia tem sempre um certo teor de umidade, caso não seja aquecida artificialmente. É chamada areia seca ao ar.

Coesão aparente - É uma tensão capilar da água que cria uma resistência ao cisalhamento, como se tratasse de coesão, mas é fenômeno diverso do que ocorre nos solos coesivos.

Friabilidade - A areia perde a qualidade se contiver grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade pode ser feito um ensaio de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce força crescente necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinam-se os nódulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

Impurezas - As impurezas das areias podem ser classificadas em coloidais e não coloidais. As não coloidais têm grãos de dimensões da ordem do micrômetro (milésimo de milímetros) e podem ser retiradas por lavagem; as coloidais não são elimináveis.

As propriedades físicas das areias, segundo BAUER (1994), são descritas a seguir:

Massa específica - Também chamada de massa específica absoluta. É a massa da unidade de volume do material de que se constituem os grãos do

agregado. A determinação para os agregados miúdos é feita com auxílio do frasco especial, denominado frasco de Chapman. A massa é previamente medida em estado seco.

Massa específica aparente - É também chamada de massa unitária ou massa barimétrica. É a massa da unidade de volume do agregado. Este valor depende do grau de adensamento e, conseqüentemente, da compactidade do agregado.

Porosidade - Relação entre volume dos vazios existentes e o volume dos agregados.

Compactidade - Relação entre o volume ocupado pelos grãos e o volume do agregado.

Índice de vazios - Volume total de vazios e o volume total de grãos.

Granulometria.

Finura - Referente aos tamanhos dos grãos, estes definidos pelas aberturas das peneiras e designados diâmetros.

Superfície específica - Soma das áreas das superfícies de todos os grãos contidos na massa unitária.

Teor de umidade - Relação entre a massa de água absorvida pelo agregado e preenchendo total ou parcialmente os vazios, e a massa desse mesmo agregado quando seco.

Umidade Superficial - Água absorvida pelos grãos dos agregados miúdos.

Absorção de água - Devido aos poros existentes no material dos grãos. Trata-se de medir a quantidade de água absorvida que, conforme as normas NBR 9937 e 9777, exprime-se pelo teor de água absorvida no estado saturado em porcentagem do peso da amostra seca.

3.4.1.2.Cimento

Segundo METHA & MONTEIRO (1994) – Os cimentos hidráulicos são definidos como os aglomerantes que não só endurecem através de

reações com a água, como também formam um produto resistente à água. Os aglomerantes derivados da calcinação da gipsita, ou de carbonatos como a rocha calcária, são não-hidráulicos porque seus produtos de hidratação não resistem à água. As argamassas de cal usadas em estruturas antigas construídas pelos gregos e romanos foram tornadas hidráulicas por adição de materiais pozolânicos os quais reagiram com a cal para produzir um produto cimentante resistente à água.

Segundo BAUER (1994)- Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O clinker é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem ainda como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

A análise química dos cimentos Portland resulta na determinação das proporções dos óxidos inicialmente mencionados. As propriedades do cimento são, entretanto, relacionadas diretamente com as proporções dos silicatos e aluminatos. As proporções destes últimos podem ser determinadas a partir do resultado da análise em óxidos. Denomina-se essa operação a determinação da composição potencial do cimento.

As propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó, da mistura de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, finalmente, da mistura da pasta com agregado padronizado – as argamassas.

As propriedades físicas do cimento Portland estão relacionadas abaixo:

Densidade - A densidade absoluta do cimento Portland é usualmente considerada como 3,15, embora, na verdade, possa variar para valores ligeiramente inferiores.

A utilidade do conhecimento desse valor se encontra nos cálculos de consumo do produto nas misturas geralmente feitas com base nos volumes específicos dos constituintes.

Nas compactações usuais de armazenamento e manuseio do produto, a densidade aparente do mesmo é da ordem de 1,5.

Na pasta de cimento, a densidade é um valor variável com o tempo, aumentando à medida que progride o processo de hidratação. Tal fenômeno; de natureza extremamente complexa, é conhecido pelo nome de retração.

Finura - A finura do cimento é uma noção relacionada com o tamanho dos grãos do produto. É usualmente definida de duas maneiras distintas: pelo tamanho máximo do grão, quando as especificações estabelecem uma proporção em peso do material retido na operação de peneiramento em malha de abertura definida, e, alternativamente, pelo valor da superfície específica (soma das superfícies dos grãos contidos em um grama de cimento).

A finura, mais precisamente a superfície específica do produto, é o fator que governa a velocidade da reação de hidratação do mesmo e tem também sua influência comprovada em muitas qualidades de pasta, das argamassas e dos concretos.

O aumento da finura melhora a resistência, particularmente a resistência da primeira idade, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos e diminui a expansão em autoclave.

Tempo de pega - O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta do início do processo de endurecimento, propriedades essencialmente físicas, conseqüente, entretanto, a um processo químico de hidratação. É um fenômeno artificialmente definido como o

momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho.

Pasta de cimento - A ocorrência da pega do cimento deve ser regulada tendo-se em vista os tipos de aplicação do material, devendo-se processar ordinariamente em períodos superiores há uma hora após o início da mistura. Nesse prazo são desenvolvidas as operações de manuseio do material, mistura, transporte, lançamento e adensamento. Há casos, entretanto, em que o tempo de pega deve ser diminuído ou aumentado.

Resistência - A resistência mecânica dos cimentos é determinada pela ruptura à compressão de corpos-de-prova realizados com argamassa. A forma do corpo-de-prova, suas dimensões, o traço da argamassa, sua consistência e o tipo de areia empregado são definidos nas especificações correspondentes, e constituem características que variam de um país para outro. No Brasil, empregam-se corpos-de-prova de forma cilíndrica de 10 cm de altura por 5 cm de diâmetro. A consistência da argamassa é determinada pelo ensaio de escorregamento da argamassa normal sobre mesa cadente. Molda-se com argamassa um corpo de prova de formato tronco de cone, tendo como diâmetros das bases 125 e 80 mm e como altura 65 mm sobre uma plataforma lisa de um mecanismo capaz de promover quedas de 14 mm de altura. No ensaio são executadas trinta quedas em trinta segundos. O ensaio de compressão é descrito detalhadamente mais adiante. Abaixo, tem-se a representação da mesa cadente para ensaio de consistência.

Exsudação - A exsudação é um fenômeno de segregação que ocorre nas pastas de cimento. Os grãos de cimento sendo mais pesados que a água que os envolve, são forçados por gravidade, a uma sedimentação, quando possível. Resulta dessa tendência de movimentação dos grãos para baixo um afloramento do excesso de água, expulso das porções inferiores. Esse fenômeno ocorre, evidentemente, antes do início de pega. A água que se acumula superficialmente é chamada exsudação e é quantitativamente expressa como porcentagem do volume inicial da mesma, na mistura.

Segundo METHA & MONTEIRO (1994) – Os cimentos Portland não satisfazem a todas as necessidades da indústria de concreto; por isso têm sido

produzidos cimentos especiais para atender a certas necessidades. Comparado ao cimento Portland, seu volume é pequeno e o preço geralmente mais elevado, mas devido às suas características singulares, os cimentos especiais merecem ser mais bem conhecidos pelo engenheiro estrutural.

Com uma notável exceção, os cimentos hidráulicos especiais podem ser considerados como cimento Portland modificados no sentido de que são fabricados pela alteração da composição percentual dos compostos do clínquer do cimento Portland ou mediante a mistura de certos aditivos ao cimento Portland, ou por ambos os procedimentos acima. Uma classificação clara dos cimentos especiais é difícil; no entanto, na prática americana o uso do termo “cimento Portland compostos” é restrito às misturas dos cimentos Portland com escória de alto forno resfriadas bruscamente ou com materiais pozolânicos como a cinza volante.

Segundo METHA & MONTEIRO (1994) – A economia dos custos foi provavelmente a razão original para o desenvolvimento do cimento Portland compostos.

No entanto, o impulso ao rápido crescimento na produção de cimentos compostos em vários países de Europa e Ásia veio com, o um resultado da economia potencial de energia. Além disso, em certos aspectos, os cimentos compostos comportam-se melhor que o cimento Portland. Atualmente a produção de cimentos com escória representa aproximadamente um quarto da produção total de cimento na Alemanha, e a produção de cimentos pozolânicos representa cerca de um terço da produção total do cimento na Itália. Nos Estados Unidos, a produção de cimentos compostos é ainda incipiente; no entanto, há um interesse crescente pelo uso de materiais pozolânicos e materiais cimentantes como adições de minerais ao concreto.

Segundo a norma da ABNT EB-2138 (1991) – Cimento Portland composto é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de *clínquer Portland* ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados.

Clínquer Portland – Produto constituído em sua maior parte de silicato de cálcio com propriedades hidráulicas.

O cimento portland composto é designado pelas siglas a seguir, que correspondem às adições e as suas classes de resistência.

→ CII E Cimento Portland composto com escória;

→ CII-Z – Cimento Portland composto com pozolana;

→ CII-F – Cimento Portland composto com filer.

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas – ABNT, através do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados – CB 18, especifica através de textos normativos citados na tabela abaixo, os teores dos componentes dos principais tipos de cimento Portland:

Tabela 3.1 - Teores dos componentes dos principais cimentos Portland Brasileiros.

| Tipo (CP...) | Norma | Designação | Clínquer + sulfato de cálcio | Escória de Auto-forno | Material Pozolânico | Material Carbonático |
|-------------------|------------|------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| Comum | EB-1/91 | CP-I | 100 | - | - | 1-5 |
| Comp.c/ escória | EB-2138/91 | CP II-E | 94-56 | 6-34 | - | 0-10 |
| Comp. c/ Filer | EB-2138/91 | CP II-F | 94-90 | - | - | 6-10 |
| Comp. c/ pozolana | EB-2138/91 | CP II-Z | 94-76 | - | 6-14 | 0-10 |
| AF | EB-208/91 | CP III | 60-25 | 35-70 | - | 0-5 |
| POZ | EB-758/91 | CP IV | 85-45 | - | 15-50 | 0-5 |
| ARI | EB-1/91 | CP V | 100-95 | - | - | 0-5 |

Examinando os valores apresentados na tabela, pode-se afirmar que:

Cimento Portland comum é composto de clínquer Portland e pequenos teores de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio diferenciando-se dos

demais tipos citados, por não permitir adição de outros materiais durante a moagem, além dessas, que é utilizada como regulador de pega.

Este é, sem qualquer dúvida, o cimento mais comumente usado: cerca de 70% de todo o cimento utilizado no Brasil, com uma produção total de 19 milhões de toneladas em 1986.

O cimento com adição é constituído de clínquer Portland, compostos sulfáticos e adição. A adição – escória granulada de alto-forno, material pozolânico ou carbonático - admitida é de 1 a 5% em massa.

O cimento Portland com escória é composto de clínquer Portland, adições sulfáticas e escória granulada de alto-forno. A escória granulada de alto-forno é um subproduto da indústria siderúrgica que, ao sair do alto-forno, sofre um resfriamento brusco, solidificando-se na forma granulada. A sua capacidade de reagir com a água (hidraulicidade) depende da eficiência do processo de resfriamento, da composição química e da finura. Na moagem conjunta com outros componentes deste tipo de cimento, a escória, que é mais difícil de moer do que o clínquer ocupará as frações mais grossas do cimento. Isto implicará numa reação mais lenta, que provocará um desenvolvimento menor da resistência.

As escórias com alto grau de vitrificação se estiverem finamente moídas, diminuem as dimensões dos poros da pasta de cimento e reduzem a quantidade de calor de hidratação, aumentando a durabilidade dos concretos. Podem melhorar a trabalhabilidade.

As impurezas da escória – óxido de magnésio cristalizado, óxido de cálcio livre e óxido ferroso – podem contribuir para o surgimento de reações expansivas no concreto, provocando fissuras, o que acarretará numa diminuição da durabilidade.

O enxofre na forma de sulfato reativo pode provocar a fragilização do aço, sendo desaconselhável seu uso em concretos protendidos.

A presença da escória pode acarretar um aumento da retração por secagem dos concretos, exigindo, por isso, uma cura mais prolongada.

O cimento Portland pozolânico é o cimento obtido pela moagem conjunta ou pela mistura de cimento Portland comum a pozolana. As pozolanas

naturais ou artificiais são materiais silicosos ou silico-aluminosos que por si só possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias.

Podem ser enquadrados como materiais pozolânicos: óxidos de origem vulcânica ou outros subprodutos industriais, os decorrentes de calcinação de certas argilas entre 500 e 900° C, os resíduos de carvão pulverizado ou granulado, escórias siderúrgicas ácidas, microssílica, rejeitos silico-aluminosos do craqueamento do petróleo, cinzas de resíduos vegetais ou de carvão mineral. A capacidade dos materiais pozolânicos de reagirem quimicamente, quando adicionadas ao cimento, depende da pozolanicidade, da pureza e da finura.

Enfim, o uso de uma boa pozolana, em quantidade adequada e com condições ideais de cura, melhora a maioria das propriedades importantes de um concreto.

O cimento Portland composto com Filler apresenta além do clínquer e das adições sulfáticas em teores de 90 a 94%, material carbonático na proporção de 1 a 5% em massa.

Denomina-se Filler, a fração do material que apresenta dimensão nominal máxima inferior a 0,075mm.

O material carbonático se apresenta finamente dividido (Filler) e é constituído em sua maior parte de carbonato de cálcio, cuja pureza segundo a EB-1/78 deve ser no mínimo de 85%.

O cimento de alta resistência inicial apresenta um aumento mais rápido de resistência às primeiras idades.

O aumento rápido da resistência significa uma velocidade alta de desprendimento de calor e hidratação, sendo esse tipo de cimento não recomendado para obras de concreto massa ou peças estruturais de grandes seções transversais.

3.4.1.3.Solos

Classificação do Solo

O princípio de classificação de solos é muito antigo. A mais antiga referência na literatura, com relação a um sistema de classificação, data de cerca de 4000 anos atrás quando um engenheiro chinês chamado Yu desenvolveu uma classificação baseada na cor na textura. As classificações para os solos são empíricas por natureza e classificações propostas foram baseadas na granulometria do solo e, como tal, bastante limitada para uso na engenharia civil.

As classificações são baseadas na distribuição granulométrica e, devido a isto, refletem muito bem a condição da textura dos solos. Por outro lado, não considera a plasticidade que é vital para o desenvolvimento dos solos quando usados nas obras de engenharia civil. As classificações apresentadas, são baseadas somente na granulometria dos solos, foram desenvolvidas respectivamente por:

USDA = United State Department of Agriculture, Bureau of soils;

ASTM = American Society for Testing Materials;

MIT = Massachusetts Institute of Technology.

A classificação segundo a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), esta classificação, limitada à aplicação em sub-bases de estradas e aterros, considerada a granulometria e a plasticidade do solo. Por esta razão, é mais completa do que as classificações USDA, ASTM e MIT.

A classificação Unificada dos Solos ou The Unified Soil Classification System (USCS), foi desenvolvida por Arthur Casagrande e adotada em 1942, pelo Corps of Engineers dos Estados Unidos para aplicação em aeroportos.

Uma classificação do solo, para fins de Engenharia Civil, para ser bem sucedida, deve ser feita tanto pela granulometria como pela plasticidade. As duas classificações mais utilizadas na Engenharia Civil são as do Bureau of Public Roads, americano e a classificação de Casagrande que, atualmente evoluiu para a Classificação Unificada do Bureau of Reclamation americano.

A classificação de Casagrande tem a vantagem de ser sistemática, isto é, classifica o solo a partir de propriedades mais gerais e vai incluindo-o em grupos e subgrupos sucessivamente ao serem examinados aspectos mais particulares.

A classificação do B.P.R. não é tão sistemática ; classifica os solos em oito grupos, pelo seu comportamento em estradas de rodagem. O 1º grupo é o dos solos de melhores performances nesse gênero de construção civil e, o último, o dos piores. A classificação de Casagrande é, portanto mais sistemática e mais geral e a do B.P.R., é mais particular e menos sistemática.

Granulometria

A primeira propriedade que deve ser determinada em um solo é a sua granulometria. De acordo com a norma ABNT NBR 7181, uma mostra de solo é submetida ao processo de peneiramento em uma série de peneiras e.g., abertura de malha 4,8mm, 2mm, 60mm, 420µm, 250µm e 75µm. A massa retida em cada peneira é determinada, e os resultados obtidos colocados em gráfico semilogarítmico. Neste gráfico a quantidade que passa em cada peneira, expressa em porcentagem é colocada em ordenadas e, em abscissas, os logaritmos dos diâmetros das partículas (abertura da malha da peneira). A fração do solo que passa na peneira n. 200 (abertura da malha de 0,075mm), é submetida a um ensaio de sedimentação, completando a curva da granulometria do solo.

No ensaio granulométrico, o tamanho das partículas é determinado com base na lei que o físico inglês G. G. Stokes apresentou em 1850. O ensaio é conduzido da seguinte maneira: a uma amostra de solo (50g) que passou na peneira 200 adiciona-se 125ml de hexametáfosfato de sódio ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$) 4%, completa-se para 1000ml com água destilada, fazendo-se a dispersão em seguida. Após a dispersão a solução é colocada em uma proveta, onde a sedimentação começará a ocorrer. Coloca-se um hidrômetro e mede-se densidade em função de vários tempos pré-determinados, controlando-se também a temperatura. O ensaio pode ser realizado de outra forma, por exemplo, quando se usa outro “agente defloculante” que não seja o hexa-metáfosfota.

O tamanho das partículas é determinado, considerando-se que as partículas do solo tenham a forma esférica. Baseado nisto, a velocidade de queda em uma distância vertical é calculada com base na lei de Stokes.

A divisão granulométrica, de acordo com a escala internacional recomendada pela International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, é a seguinte:

Umidade

A umidade final que deve ter a mistura é função do solo que se utiliza. Cada solo possui uma umidade própria de compactação (maior compactidade, ou seja, maior peso específico seco). Essa umidade é determinada em laboratório, executando-se a compactação de um volume de solo em várias umidades, em um cilindro, com um soquete padronizado e por procedimentos em cada compactação são plotados em função da umidade; o máximo peso específico obtido na curva construída define a umidade ótima. No entanto, a determinação dessa umidade pode ser feita no campo, com razoável precisão, por um processo expedito. Consiste em tomar um punhado de mistura e comprimi-la com a mão. Ao abrir a mão, o bolo formado deve guardar o sinal dos dedos e quando deixado cair da altura de 1,0 m deve espatifar-se. Caso não se consiga formar o bolo na mão, a umidade é insuficiente; caso o bolo ao cair mantenha-se coeso, a umidade é excessiva. Em regiões de clima seco e muita insolação, deve-se fazer, permanentemente, uma verificação da umidade da mistura da masseira, a fim de proceder às correções, quando necessário.

O controle da umidade, segundo este procedimento empírico, apresenta uma precisão surpreendente. Foram feitos ensaios por vários operadores em obras diferentes, aferidos por determinação da umidade em estufa. Os dados são apresentados sob a forma de desvio da umidade (diferença entre a umidade de campo e a umidade ótima). Os resultados obtidos confirmam um desvio máximo de $\pm 2\%$ para um nível de confiança de 95%.

Consistência das Argilas : Limites de Atteberg

As areias são caracterizadas em função do parâmetro densidade relativa a qual reflete o grau de compactação resistente. Todavia, este parâmetro não é adequado para caracterizar as argilas (solos argilosos). Para esses solos, utiliza-se consistência como uma forma de definir os estados possíveis em que uma argila/solo argiloso pode encontrar-se. Os limites entre cada estado, definidos em função do teor de umidade, foram empiricamente estabelecidos por Albert Mauritz Atteberg, na Suécia em 1911, daí serem chamados de limites de Atteberg. Estes limites são: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e limite de contração (LC).

Os limites de Atteberg apresentam transição entre os estados líquidos – plástico semi sólido – sólido. A transição entre cada estado pode ser caracterizada da seguinte maneira: considere uma argila com elevado teor de umidade tal que possa fluir(estado líquido). Ao perder umidade a argila começa a ter consistência(endurecer); existe um valor do teor de umidade específico (LL%) que marca a mudança de estado líquido para o estado plástico. Continuando a perda de umidade, chega-se até o ponto onde começa ocorrer o endurecimento e, neste ponto, o teor de umidade (LP%) marca a passagem do estado plástico para o estado semi-sólido. Com a continuação dessa perda de umidade atinge-se o endurecimento do solo onde o teor de umidade corresponde é o limite de contração (LC%).

Existe ainda o índice de plasticidade (IP), definido como sendo a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade i.e., $IP = LL - LP$.

Limite de Liquidez (LL%)

Como citados antes, os limites de Atteberg foram teores de umidade arbitrariamente estabelecidos por Atteberg para definir a trabalhabilidade

dos materiais cerâmicos. Para o uso na Mecânica dos Solos era preciso haver uma normalização, assim, o Professor Arthur Casagrande (1932), seguindo estudos de Terzaghi, normalizou o procedimento para a determinação do limite de liquidez visando a sua utilização na classificação dos solos. Desenvolveu então um equipamento, hoje conhecido como Aparelho de Casagrande. Casagrande definiu o limite de liquidez (LL%), como sendo o teor de umidade para o qual um sulco/ranhura longitudinal feito por um cinzel padrão será fechado em um comprimento de 13 mm quando o recipiente (concha) onde está a amostra de solo é forçado a cair 25 vezes de uma altura padrão de 10 mm. O procedimento é repetido algumas vezes (normalmente cinco) adicionando-se cada vez mais água à amostra do solo. Retira-se amostra do solo da parte do sulco em contato, determina-se o teor de umidade e o correspondente número de golpes que fez fechar o sulco. No Brasil a determinação do limite de liquidez é feita pela ABNT NBR- 6459.

O limite de liquidez é uma característica de um solo argiloso (uma areia não apresenta plasticidade) e depende do tipo e predominância do argilomineral presente no solo e.g., montmorilorita LL = 700%. caulinita LL = 50% e ilita LL = 120%

Limite de Plasticidade (LP%)

O limite de plasticidade é definido pela determinação de teor de umidade que marca o ponto onde o solo começa a fraturar-se quando se tenta moldar, rolando-se sobre uma placa de vidro fosco com a mão, um cilindro de diâmetro igual a 3 mm e o comprimento de aproximadamente 10 cm.

Limite de Contração (LC%)

Para a determinação do limite de contração, molda-se em cápsula apropriada uma amostra com alto teor de umidade e após a secagem em estufa, determina-se o teor de umidade (w%) e a correspondente variação de volume/peso

para cápsula/amostra. Colocando-se em um gráfico volume versus massa, observa-se que ocorreu uma diminuição de volume. Todavia, esta diminuição de volume ocorreu até um determinado valor o qual corresponde a condição é limite de contração.

3.4.2 - Tijolo maciço de solo-cimento

De acordo com o Boletim Técnico 693.21/ 1988 da Associação Brasileira de Cimento Portland- ABCP , “Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais”, o tijolo de solo-cimento é uma das alternativas para a construção de alvenaria. Após pequeno período de cura, garante resistência à compressão simples similar à dos tijolos cerâmicos, sendo tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregada; esta , no entanto, deve ser limitada a um teor ótimo, que confira ao tijolo curado a necessária qualidade, sem aumento do custo de fabricação.

3.4.2.1. Vantagens do tijolo de solo-cimento

Pode, em geral, ser produzido com o solo do local da aplicação (ou região) e no próprio canteiro da obra, reduzindo-se ou eliminando-se o custo de transporte; utiliza equipamento simples, de baixo custo;

Não consome combustível na fabricação, por dispensar a queima;

A regularidade de suas formas, a planeza e a lisura de suas faces requerem argamassas de assentamento e de revestimento de espessura mínima e uniforme;

Pode dispensar o uso de revestimento, desde que protegido da ação direta da água, sendo, portanto, recomendável para paredes com tijolos à vista;

Não necessita de mão-de obra especializada;

A sua resistência à compressão simples é similar à do tijolo cerâmico.

3.4.2.2 Materiais componentes do solo-cimento

O solo é o componente de maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo a que se possibilite o uso da menor quantidade possível de cimento. De maneira geral, os solos mais adequados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem as seguintes características :

Tabela 3.2 – Tabela de características do solo para tijolos de solo-cimento

| | |
|---|----------|
| – passando na Peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)..... | 100% |
| – passando na Peneira ABNT 0,075 mm (nº 200)..... | 10 a 50% |
| – limite de liquidez..... | ≤ 45% |
| – índice de plasticidade..... | ≤ 18% |

Os solos arenosos requerem, quase sempre, menores quantidades de cimento que os argilosos e siltosos; ressalta-se , entretanto, que a presença de argila na composição do solo é necessária para dar à mistura de solo e cimento, quando umidecida e compactada, coesão suficiente que permita a desmoldagem e o manuseio dos tijolos logo após a prensagem.

4. METODOLOGIA

4.1 Métodos

Foram confeccionados tijolos de argila queimados ao forno, tijolos de solo-cimento prensados manualmente e também foram moldados corpos de prova cilíndricos de concreto todos sem a incorporação do resíduo “serragem cromada” para servir como prova em branco e também com a incorporação de quantidades diferentes de serragem e tiras, em pó ou moídos.

Todos os artefatos foram submetidos aos ensaios químicos de solubilização e lixiviação o que nos permite fazermos um comparativo com a classe dos resíduos (Classe I, Classe II ou Classe III)

O ensaio de lixiviação consiste em submeter o corpo de prova, imerso em água destilada, à agitação realizada em “jar test“, por 24 horas. Deve-se manter, durante esse período, o pH do líquido extrator em $5,0 \pm 0,2$. A manutenção do pH nessa faixa é feita pela adição de ácido acético. Decorrido o período de agitação, o líquido é filtrado em membrana de $0,45 \mu\text{m}$. Após a filtração, a amostra é

preservada pela acidificação com ácido nítrico concentrado. A determinação das concentrações dos metais presentes no extrato é feita através do espectrofotômetro de absorção atômica.

O ensaio de solubilização é realizado, imergindo o corpo de prova em um volume conhecido de água destilada, volume esse proporcional à massa do corpo de prova, por período de uma semana, na proporção de 1 : 4 (relação corpo de prova / água destilada). Decorrido esse período o líquido é filtrado em membrana de 0,45 µm. Após a filtração, a amostra deve ser preservada em acidificação com ácido nítrico concentrado. A determinação das concentrações dos metais presentes no extrato é feita através do espectrofotômetro de absorção atômica.

Para os ensaios de solubilização e lixiviação os corpos de prova devem ser moldados de forma cilíndrica de diâmetro 3,3 cm e altura de 7,1 cm de acordo com a NBR - 10.005 – Lixiviação de Resíduos .

Mas, com o objetivo de retratar com mais realidade os artefatos da construção civil, durante ou após a sua utilização, levaram-se para o Laboratório de Análises Químicas, amostras do próprio artefato após a sua ruptura no ensaio de resistência à compressão, com dimensões e volumes próximos dos previstos pela norma.

Ensaio de resistência à compressão

Os artefatos foram também submetidos aos ensaios físicos de resistência à compressão e absorção d'água no caso dos tijolos moldados de acordo com as prescrições da NBR-7170/83 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.

Os tijolos para serem rompidos à compressão, devem ser preparados segundo as prescrições da NBR-8492/84.

Cada amostra deve ser preparado da seguinte maneira :

- cortar o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão;
- superpor, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento

Portland, pré- contraída, de 2 a 3 mm de espessura e aguardar o endurecimento da pasta;

- quando o tijolo possuir rebaixos, superpor as suas duas metades de modo que as reentrâncias fiquem localizadas na face de trabalho do corpo de prova e encher as reentrâncias com pasta de cimento Portland;
- colocar o corpo de prova em um sistema de guias, de modo que a superfície de trabalho fique abaixo (2 a 3 mm) abaixo dos bordos das guias. Colocar pasta de cimento pré-contraída nestas superfícies, razando-as com uma régua metálica. Logo que a pasta começar a endurecer, retirar o corpo de prova do sistema de guias e com o auxílio de uma placa de vidro fazer movimentos circulares com a finalidade de dar um acabamento final à superfície e retirar o excesso de água. Em seguida, com uma espátula retirar as rebarbas existentes;
- aguardar 24 horas, para regularizar a superfície oposta;
- para obtenção do paralelismo e regularização das faces de trabalho dos corpos de prova, quaisquer outros métodos e materiais poderão ser usados, desde que para fins de ensaio, surtam efeitos semelhantes aos da pasta;
- após o endurecimento do material utilizado os corpos de prova são identificados e imersos em água durante 24 h ;
- os corpos de prova devem ser retirados da água logo antes do ensaio e enxugados superficialmente;
- as dimensões das faces de trabalho devem ser determinadas com uma precisão de 1 mm ;
- o corpo de prova deve ser colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficar centrado em relação a ele;
- a aplicação da carga deve ser uniforme e à razão de 500 N/s (50 Kgf/s);
- a carga deve ser levada até ocorrer a ruptura do corpo de prova.

Ensaio de absorção d'água.

- secar os corpos de prova em estufa entre 105 e 110 8C , até a constância de massa (as pesagens devem ser feitas depois dos tijolos atingirem a temperatura ambiente) , obtendo-se assim a massa M1 do tijolo seco, em g;
- Imergir o corpo de prova em um tanque por 24 h. Após retirar da água, enxugar superficialmente com um pano úmido e pesar (antes de decorridos 3 minutos), obtendo-se assim a massa do tijolo saturado M2 , em g;
- a absorção expressa em porcentagem será :

$$A = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

Equipamento utilizado nos ensaios de Resistência à Compressão

- Prensa Universal Hidráulica
 Marca : MFL Systeme
 Modelo : UPD 12
 Velocidade de carregamento : 0,3 a 0,8 MPa/s

Tabela 4.1 - Tabela de calibração da Prensa Universal Hidráulica

| Artefato | Escala | Erro de Exatidão | Erro de Repetitividade | Incerteza Expandida de medição |
|-------------|--------|------------------|------------------------|--------------------------------|
| CP Concreto | G | 0,63 % | 0,10 % | 59 kgf |
| Tijolos | E | -0,14 % | 0,40 % | 15 kgf |

Determinação da umidade ótima para compactação do solo-cimento

Foram determinados através dos ensaios de compactação (Proctor) segundo a NBR-7182/80

Para os moídos não foi possível a determinação através dos ensaios. Estes valores , foram comparados com a maneira prática prescrita no

Boletim Técnico da ABCP “Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais “

1 – toma-se um punhado da mistura e aperta-se energicamente entre os dedos e a palma da mão; ao se abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos.

2 – deixando-se o bolo cair de uma altura aproximada de um metro, sobre uma superfície dura; ele deverá esfarelar-se ao chocar-se com a superfície; se isto não ocorrer, a mistura estará muito úmida.

4.2 Materiais

Utilizou-se no trabalho a serragem cromada coletado de algumas indústrias na cidade de Bocaina – SP, Cimento Portland comum, areia comum, brita nº 1, solo tipo A 2-4 segundo classificação do B.P.R.

4.2.1 Serragem cromada

A caracterização visual da serragem cromada, foi efetuada através de visitas “in loco”, nos diversos estabelecimentos industriais existentes no município de Bocaina – SP .

Segundo dados levantados pela municipalidade local, existem cerca de 80 a 100 estabelecimentos, muitas delas não constantes nos cadastros, que processam a raspa de couro curtido ao cromo, quase todas elas destinadas à fabricação de luvas.

Apesar do grande número de indústrias de processamento de couro, pode-se considerar que a serragem cromada gerada é bastante homogênea pelo fato de a maior parte da raspa de couro ser proveniente do sul de Minas e em menor quantidade do Rio Grande do Sul

Foram coletados em sacos plásticos resistentes , transportados para o Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro Tecnológico - CETEC da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação de Lins.

Para a caracterização da serragem cromada, foram retiradas 3 amostras (Raspa nº 1, nº 2 e nº 3) e submetidas ao ensaio de determinação do cromo total .

Foram coletados também, apesar de serem produzidos em proporções bem menores, o pó de couro que é o resíduo gerado pelas lixadeiras.

4.2.2 Cimento Portland

Em todos os artefatos, foram utilizados o Cimento Portland CP II – F – 32 da marca CAUÊ, de um mesmo lote . Com todas as características de acordo com as especificações de valores limites fixados pela norma brasileira NBR -11.578 – Cimento Portland Composto

4.2.3 Areia e brita utilizadas.

Foram utilizadas areia comum conforme composição granulométrica apresentada na Tabela 4.2 e Brita nº 1 conforme composição granulométrica apresentada na Tabela 4.3. na confecção dos corpos de prova de concreto

Tabela 4.2 – Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos (NBR- 7217/87)

| Abertura Peneira (mm) | Massa da Amostra (g) | % Retida | | % que passa |
|----------------------------|-------------------------|------------|-----------|-------------|
| | | Individual | Acumulada | Acumulada |
| 9,5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 6,3 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 4,8 | 0,44 | 0,04 | 0,04 | 99,96 |
| 2,4 | 11,0 | 1,11 | 1,15 | 98,85 |
| 1,2 | 42,3 | 4,27 | 5,42 | 94,58 |
| 0,6 | 212,9 | 21,46 | 26,88 | 73,12 |
| 0,3 | 422,7 | 42,61 | 69,49 | 30,51 |
| 0,15 | 289,2 | 29,15 | 98,64 | 1,36 |
| Fundo | 13,5 | 1,36 | 100 | 0 |
| Totais | 992,04 | | | |

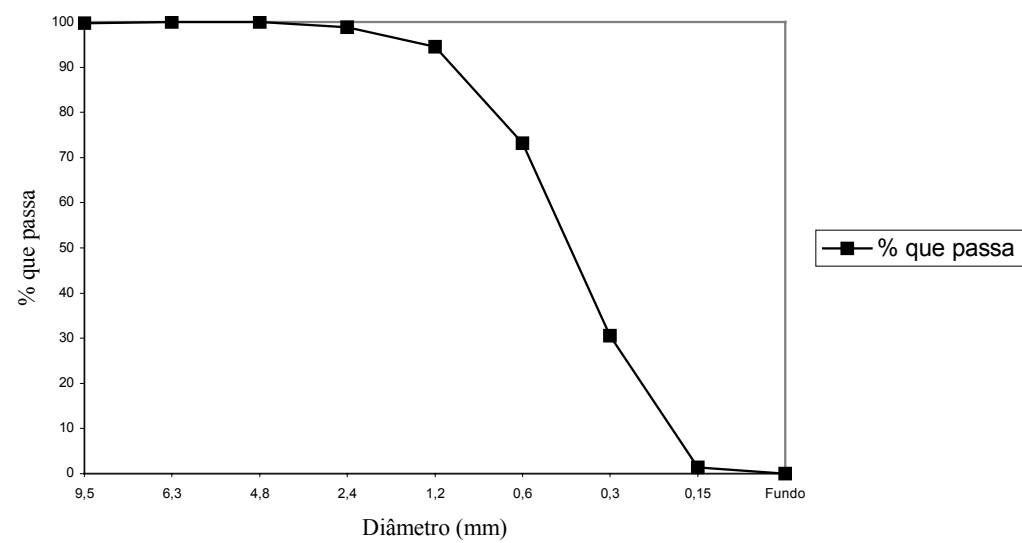


Figura 4.1 - Curva granulométrica dos agregados miúdos (areia)

Tabela 4.3. – Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos (NBR- 7217/87)

| Abertura Peneira (mm) | Massa da Amostra (g) | % Retida | | % que passa |
|----------------------------|-------------------------|------------|-----------|-------------|
| | | Individual | Acumulada | Acumulada |
| 12,5 | 515 | 51,5 | 51,5 | 48,5 |
| 9,5 | 143 | 14,3 | 65,8 | 34,2 |
| 6,3 | 262 | 26,2 | 92,0 | 8,0 |
| 4,8 | 52 | 5,2 | 97,2 | 2,8 |
| 2,5 | 28 | 2,8 | 100 | 0 |
| 1,2 | - | - | | |
| Fundo | | | | |
| Totais | 1000 | | | |

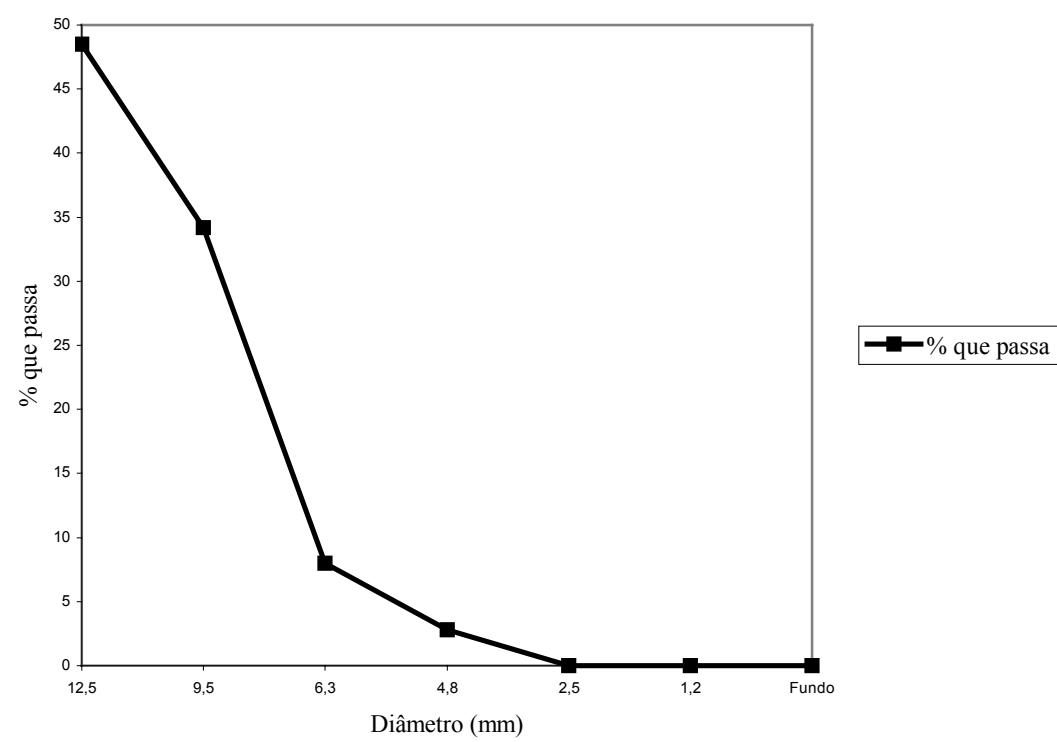


Figura 4.2 - Curva granulométrica dos agregados graúdos (brita)

4.2.4 – Solo Tipo A 2-4

Para a confecção de tijolos de solo-cimento prensados manualmente, coletou-se na região do Aeroporto de Lins um solo classificado como Tipo A 2-4 conforme classificação da B.P.R. (Bureau of Public Roads) da Highway Research Board, Proceedings, 1945, p. 376 – 384 , em sacos plásticos e transportados ao Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro Tecnológico - CETEC da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação de Lins – SP .

Submetidos a análise granulométrica e ensaios de consistência , chegaram-se aos seguintes valores :

Tabela 4.4 – Tabela de composição do solo utilizado

| Argila | Silte | Areia Fina | Areia Média |
|--------|-------|------------|-------------|
| 20 % | 6% | 73% | 1% |

Tabela 4.5 – Tabela de consistências do solo utilizado

| Limite de Liquidez | Limite de Plasticidade | Índice de Plasticidade |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| 20,7% | 19,8% | 0,87% |

Tabela 4.6 – Tabela de granulometria do solo utilizado

| Peneira nº | 30 | 40 | 60 | 100 | 200 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % passa | 99,98 | 99,91 | 98,91 | 80,58 | 43,91 |

4.3. - Artefatos Fabricados

4.3.1- Tijolos de argila queimados ao forno

Apesar de existir uma proibição a nível regional da queima dos resíduos de couro, sabendo-se que as tais “tiras de couro “já vinha sendo utilizado há

muito tempo para a fabricação de tijolos, os quais melhoram a resistência à tração e trazem grande economia na quantidade de argila, uma vez que a serragem cromada era adquirida sem custos, somente o transporte e com a finalidade de pesquisar e complementar este trabalho, foram confeccionados na Olaria Tres Irmãos em Penápolis, com a argila extraída de uma lagoa nas imediações, e levados ao forno por aproximadamente 2 dias a uma temperatura em torno de 850 °C, um total 30 tijolos nos seguintes traços e quantidades para 6 tijolos de cada traço.

Tabela 4.7 – Quantidades de materiais para confecção dos tijolos de argila queimados ao forno.

| Traço | Argila (g) | Resíduo (g) | Água (ml) |
|------------|------------|-------------|-----------|
| 2,5 % Pó | 15155 | 380 | 1400 |
| 5,0 % Pó | 15390 | 770 | 1000 |
| 2,5 % Tira | 14990 | 375 | 1400 |
| 5,0 % Tira | 15120 | 755 | 1575 |

Obs.: O tijolos com argila pura, foram retirados aleatoriamente da linha de produção.

A figura 4.3 mostra os tijolos de argila queimados ao forno, na seqüência da esquerda para a direita, podendo-se observar que a textura e a coloração são visualmente idênticas, e na figura 4.4, o forno onde são queimados os tijolos.

4.3.2 *Corpos de prova em concreto*

Com a finalidade de se verificar a utilização da serragem cromada na massa do concreto, utilizando-se um traço padrão para concreto estrutural (1:3:4), foram adicionados respectivamente 5% de Pó; 10% de Pó; 10% de Tiras e 20% de

Tiras, conforme os quantitativos da Tabela 4.8 para a moldagem de 4 corpos de prova de cada traço.

Tabela 4.8 – Quantidades de materiais para a moldagem dos corpos de prova de concreto.

| Traço | Cimento(kg) | Areia (kg) | Pedra (kg) | Resíduo (kg) | Água (l) |
|-----------|-------------|------------|------------|--------------|----------|
| 1:3:4 | 4,0 | 12,0 | 16,0 | - | 2,8 |
| 5% Pó | 4,0 | 12,0 | 16,0 | 0,200 | 4,7 |
| 10% Pó | 4,0 | 12,0 | 16,0 | 0,400 | 6,6 |
| 10% Tiras | 4,0 | 12,0 | 16,0 | 0,400 | 3,8 |
| 20% Tiras | 4,0 | 12,0 | 16,0 | 0,800 | 4,8 |

Obs: A quantidade de água aumenta a medida que se aumenta a quantidade de serragem, devido ao seu baixo específico, dificultando a homogeneização da argamassa



Figura 4.3 – Tijolos de argila queimados ao forno

(5% Tira 2,5% Tira 5% Pó 2,5% Pó Argila)



Figura 4.4 – Forno da olaria onde foram queimados os tijolos

4.3.3– Tijolos de solo-cimento

O presente trabalho, basicamente se desenvolveu na confecção de tijolos de solo-cimento com adição de serragem cromada e prensados manualmente. Para tanto, utilizou-se de 2 (dois) traços , com diferentes critérios de percentuais e 3 (tres) tipos de resíduos a saber; pó, tiras e moído (que é a serragem , ou tiras trituradas em máquinas industriais trituradeiras utilizadas na reciclagem de plásticos).

No 1º traço, adicionou-se 5% e 10% de pó de couro, percentagens em relação a massa total do tijolo . Na adição de 5% e 10% de serragem (tiras), não foi possível a compactação devido ao grande volume de tiras de couro. Para tanto , substituiu-se por serragem moída nas proporções de 5% e 10%. Somente neste 1º traço é que se utilizou do pó e do moído de couro.

No 2º traço, tomou-se como base os resultados obtido no caso anterior, principalmente quanto a umidade da mistura e o grau de compactação. Com percentuais de 10% e 20% de serragem cromada em relação a massa total do tijolo.

4.3.3.1–Tijolos de solo-cimento - 1º traço

Tabela 4.9 – Quantidades de materiais para a prensagem de 06 tijolos por traço.

| Traço | Cimento (kg) | Solo (kg) | Resíduo (kg) |
|----------------|--------------|-----------|--------------|
| 1:10 | 1,8 | 18,2 | - |
| 1:10:5% Pó | 1,8 | 17,2 | 1,0 |
| 1:10:10% Pó | 1,8 | 16,2 | 2,0 |
| 1:10:5% Moído | 1,8 | 17,2 | 1,0 |
| 1:10:10% Moído | 1,8 | 16,2 | 2,0 |

A figura 4.5 mostra os tijolos prensados manualmente, na seqüência da esquerda para direita, podendo-se observar a planeza e lisura das suas faces.

Observação : Foi determinado através dos Ensaio de Compactação (Proctor) segundo a NBR – 7182/80, os seguintes valores para umidade ótima :

solo-cimento = umidade ótima = 10,6

5% pó = umidade ótima = 13,6

10% pó = umidade ótima = 19,5

Foram também moldados 9 corpos de prova obtidos no ensaio de compactação , sendo :

3 corpos de prova em solo – cimento;

3 corpos de prova com adição de 5% de Pó

3 corpos de prova com adição de 10% de Pó.

Todos os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.



Figura 4.5 – Tijolo Solo-Cimento (1º Traço)

(10% Moido 5% Moido 10% Pó 5% Pó Puro)

4.3.3.2–Tijolos de solo-cimento - 2º traço

Tabela 4.10 – Quantidades de materiais para a prensagem de 06 tijolos por traço.

| Traço | Cimento (kg) | Solo (kg) | Resíduo (kg) |
|----------------|--------------|-----------|--------------|
| 1:9:10% Tiras | 1,44 | 12,96 | 0,144 |
| 1:9:20% Tiras | 1,56 | 14,04 | 0,312 |
| 1:10:10% Tiras | 1,44 | 14,40 | 0,144 |
| 1:10:20% Tiras | 1,44 | 14,40 | 0,288 |

Observa-se nas figuras 4.6 e 4.7 a colocação do solo-cimento na prensa manual e a prensagem feita por único operador.

Foram também moldados 36 corpos de prova resultantes do ensaio de compactação, sendo :

12 corpos de prova no traço 1 : 9 : 10%

12 corpos de prova no traço 1 : 9 : 20%

6 corpos de prova no traço 1 : 10 : 10%

6 corpos de prova no traço 1 : 10 : 20%

Os corpos de prova foram levados para ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

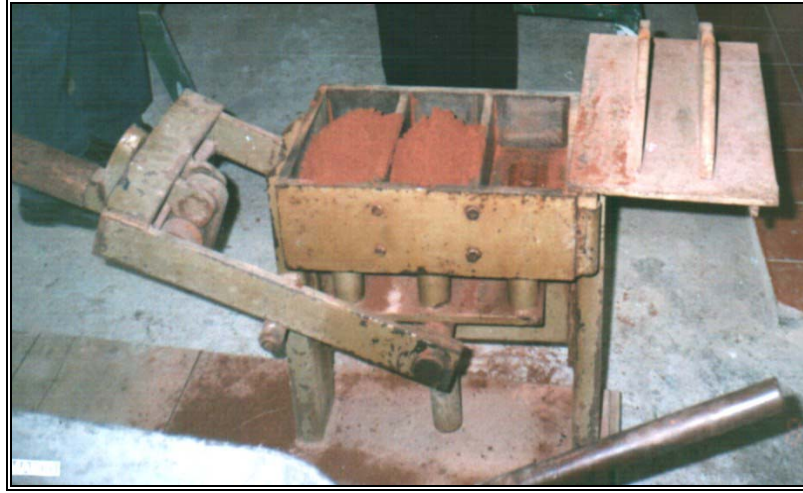


Figura 4.6– Vista da prensa manual sendo preenchida



Figura 4.7 –Operação de prensagem manual

Ver a figura 4.8 – Prontos para o ensaio de resistência à compressão.



Figura 4.8– Tijolos de argila ao forno, preparados para o ensaio



Figura 4.9 – Ensaio de compressão : Tijolo Solo-Cimento



Figura 4.10 – Ensaio de compressão: CP de concreto

4.4. Requisitos Normalizados

4.4.1 Tijolos de solo-cimento

Segundo o Boletim Técnico nº 693.21 / 1988 da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP - Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais:

- a) Os tipos e as dimensões nominais são as constantes na NBR – 8491 – Tijolos maciços de solo-cimento conforme tabela abaixo :

Tabela 4.11 - Tabela dimensional de tijolos de solo-cimento

| Designação | Comprimento (cm) | Largura (cm) | Altura (cm) |
|------------|------------------|--------------|-------------|
| Tipo I | 20,0 | 9,5 | 5,0 |
| Tipo II | 23,0 | 11,0 | 5,0 |

- b) O traço para a fabricação dos tijolos será o que lhes conferir valor médio de resistência à compressão igual a 2,0 MPa (20 kgf / cm²), de modo que nenhum dos valores individuais esteja abaixo de 1,7 MPa (17 kgf ./ cm²) na idade mínima de 7 dias. A absorção média de água não deve ser superior a 20% , nem apresentar valores individuais superiores a 22%.

4.4.2 Tijolos de argila queimados ao forno

Serão seguidos as prescrições da NBR-7170/83 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.

Tabela 4.12 – Tabela dimensional de tijolos maciços

| Comprimento | Largura | Altura |
|-------------|---------|--------|
| 190 | 90 | 57 |
| 190 | 90 | 90 |

Tabela 4.13 – Tabela de resistência à compressão (3 categorias)

| Categoria | Resistência à compressão (MPa) |
|-----------|--------------------------------|
| A | 1,5 |
| B | 2,5 |
| C | 4,0 |

4.4.3 Corpos de prova cilíndricos de concreto

A metodologia utilizada foi as prescrições das normas a saber :
 NBR-5738/94 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto
 NBR-5739/94 - Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os ensaios foram realizados nos Laboratório de Ensaio de Materiais e Laboratório de Análises Químicas e Controle Industrial da Fundação Paulista de Lins, tendo obtido os seguintes resultados:

5.1 - Tijolos De Argila Queimados Ao Forno

Tabela 5.1 - Ensaio de Resistência à Compressão

| CP | Tipo | Área (mm ²) | Carga (kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|-------------|-----------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Argila Pura | 10605 | 8450 | 7,96 | 7,88 |
| 2 | Argila Pura | 10400 | 6600 | 6,35 | |
| 3 | Argila Pura | 10403 | 9050 | 8,70 | |
| 4 | Argila Pura | 10100 | 9650 | 9,55 | |
| 5 | Argila Pura | 10100 | 5700 | 5,64 | |

| | | | | | |
|----|---------------|-------|------|------|------|
| 6 | Argila Pura | 10200 | 9300 | 9,12 | 7,88 |
| 7 | 2,5% Pó | 9894 | 4250 | 4,29 | 4,90 |
| 8 | 2,5% Pó | 9996 | 4100 | 4,10 | |
| 9 | 2,5% Pó | 9800 | 4400 | 4,49 | |
| 10 | 2,5% Pó | 10094 | 6850 | 6,78 | |
| 11 | 2,5% Pó | 9996 | 4550 | 4,55 | |
| 12 | 2,5% Pó | 9797 | 5100 | 5,20 | |
| 13 | 5% Pó | 9898 | 5150 | 5,20 | 5,80 |
| 14 | 5% Pó | 10098 | 4850 | 4,80 | |
| 15 | 5% Pó | 9894 | 6600 | 6,67 | |
| 16 | 5% Pó | 10098 | 5900 | 5,84 | |
| 17 | 5% Pó | 9800 | 5150 | 5,26 | |
| 18 | 5% Pó | 10098 | 7100 | 7,03 | |
| 19 | 2,5% Serragem | 9700 | 4150 | 4,28 | 5,40 |
| 20 | 2,5% Serragem | 9999 | 6550 | 6,55 | |
| 21 | 2,5% Serragem | 9898 | 6200 | 6,26 | |
| 22 | 2,5% Serragem | 9800 | 5350 | 5,46 | |
| 23 | 2,5% Serragem | 9898 | 5050 | 5,10 | |
| 24 | 2,5% Serragem | 10098 | 4800 | 4,75 | |
| 25 | 5% Serragem | 9800 | 2700 | 2,76 | 3,52 |
| 26 | 5% Serragem | 9797 | 3700 | 3,77 | |
| 27 | 5% Serragem | 9999 | 3550 | 3,55 | |
| 28 | 5% Serragem | 9894 | 3600 | 3,64 | |
| 29 | 5% Serragem | 9800 | 2900 | 2,96 | |
| 30 | 5% Serragem | 9797 | 4400 | 4,49 | |

Tabela 5.2 - Ensaio de Absorção d'água

| CP | Tipo | Peso Seco (g) | Peso Saturado (g) | Absorção (%) |
|----|---------------|--------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | Argila Pura | 1507 | 1744 | 15,72 |
| 2 | 2,5 % Pó | 1243 | 1478 | 18,90 |
| 3 | 5% Pó | 1233 | 1497 | 21,41 |
| 4 | 2,5% Serragem | 1268 | 1496 | 17,98 |
| 5 | 5% Serragem | 1125 | 1368 | 21,60 |

Tabela 5.3 - Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

| CP | Tipo | Solubilizado (mg / l) | Lixiviado (mg / l) |
|----|---------------|-------------------------|----------------------|
| 4 | Argila Pura | 0,181 | 0,069 |
| 9 | 2,5% Pó | 0,839 | 0,216 |
| 11 | 2,5% Pó | 0,352 | 0,211 |
| 13 | 5% Pó | 0,349 | 0,179 |
| 16 | 5% Pó | 0,278 | 0,143 |
| 22 | 2,5% Serragem | 0,196 | 0,104 |
| 23 | 2,5% Serragem | 0,326 | 0,088 |
| 27 | 5% Serragem | 0,236 | 0,068 |
| 28 | 5% Serragem | 0,211 | 0,077 |
| | | Limite 0,05 mg/l | Limite 5 mg/l |

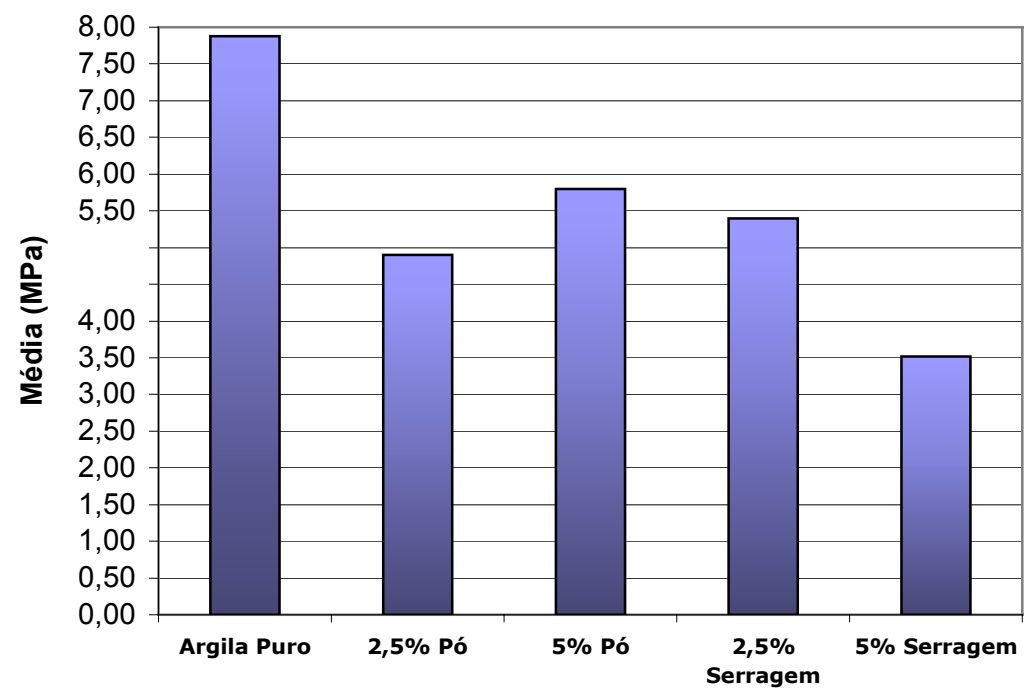


Figura 5.1 – Ensaio de Resistência à compressão

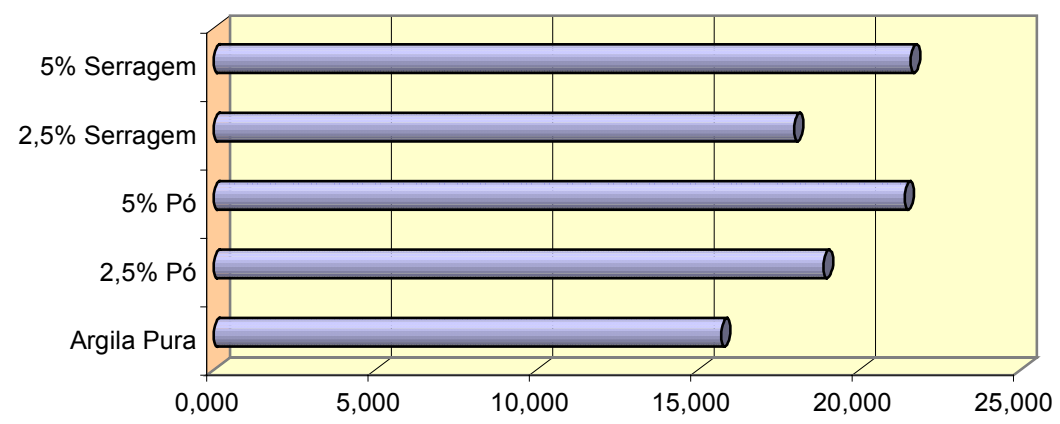


Figura 5.2 – Ensaio de Absorção D'água

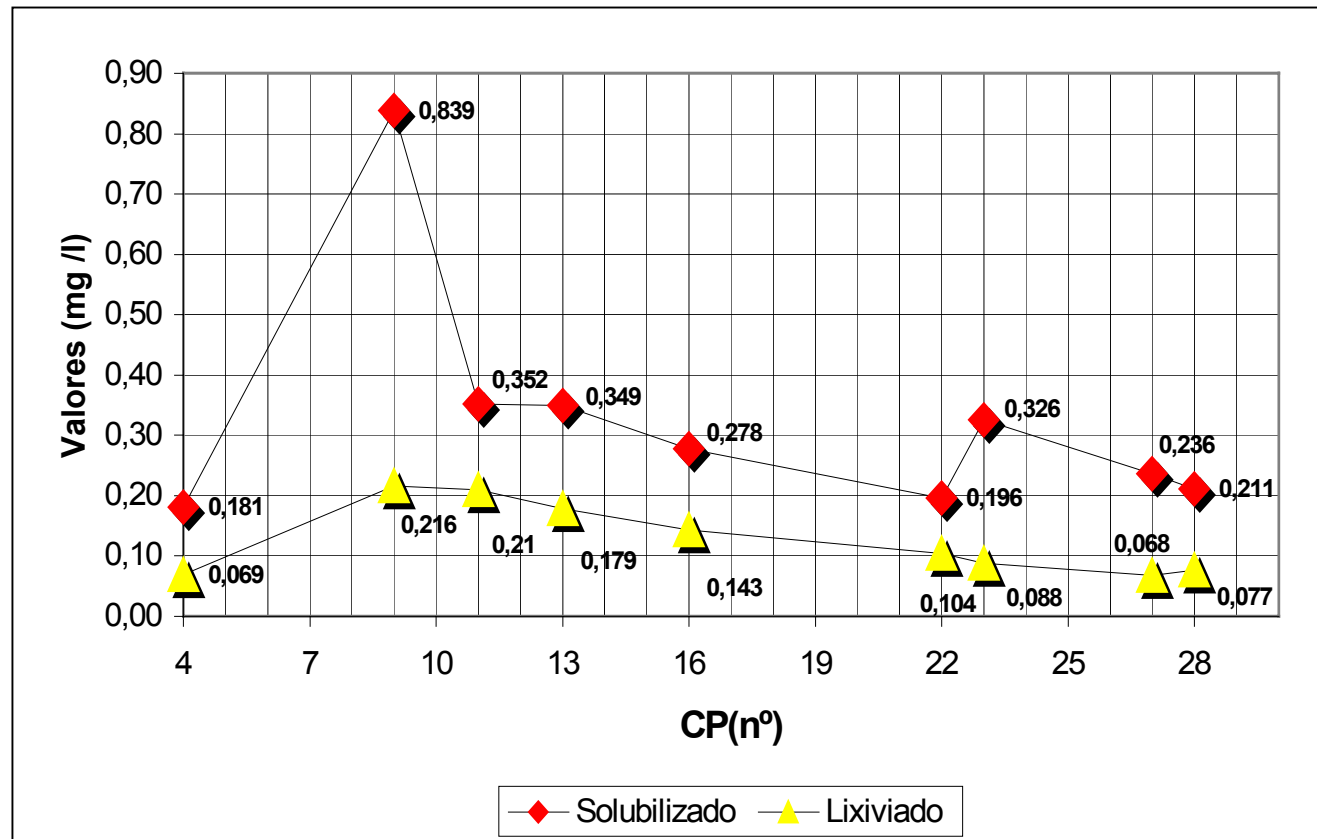


Figura 5.3 - Ensaio de solubilização e Lixiviação do Cromo

Discussão dos resultados dos ensaios dos tijolos de argila queimados ao forno.

- a) Resistência à compressão.
Apresentaram bons valores de resistência, acima dos requeridos pelas especificações. Valores de 3,5 a 5,8 MPa.
- b) Absorção d'água.
Apresentaram valores médios abaixo de 20% e em nenhum caso acima de 22%.
- c) Solubilização e Lixiviação do cromo total .
No ensaio de solubilização foi ultrapassado o limite de 0,05 mg/l e no ensaio de lixiviação o limite de 5mg/l não foi ultrapassado, sendo portanto classificado como classe II – não inerte ao ser comparado com os resíduos.

As quantidades de cromo liberado no ensaio de solubilização foram maiores do que no ensaio de lixiviação.

Resultados não esperados e impossíveis de se analisar com apenas estes ensaios, devendo serem analisados nos próximos trabalhos

5.2 *Corpos de prova de concreto*

Tabela 5.4 - Ensaio de Resistência à Compressão Idade : 28 dias

Área : 7854 mm²

| CP | Tipo | Carga (Kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|--------------|---------------|----------------|-------------|
| 1 | Concreto | 14600 | 18,59 | 20,52 |
| 2 | Concreto | 15900 | 20,24 | |
| 3 | Concreto | 18100 | 23,04 | |
| 4 | Concreto | 15900 | 20,24 | |
| 5 | 5% Pó | 3500 | 4,45 | 5,03 |
| 6 | 5% Pó | 4100 | 5,22 | |
| 7 | 5% Pó | 4050 | 5,15 | |
| 8 | 5% Pó | 4150 | 5,28 | |
| 9 | 10% Pó | 2050 | 2,61 | 2,65 |
| 10 | 10% Pó | 1950 | 2,48 | |
| 11 | 10% Pó | 2250 | 2,86 | |
| 12 | 10% Pó | 2100 | 2,67 | |
| 13 | 10% Serragem | 4050 | 5,15 | 5,39 |
| 14 | 10% Serragem | 4600 | 5,85 | |
| 15 | 10% Serragem | 4200 | 5,35 | |
| 16 | 10% Serragem | 4100 | 5,22 | |
| 17 | 20% Serragem | 1500 | 1,91 | 1,68 |
| 18 | 20% Serragem | 1550 | 1,97 | |
| 19 | 20% Serragem | 1050 | 1,33 | |
| 20 | 20% Serragem | 1200 | 1,53 | |

Tabela 5.5 - Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

| CP | Tipo | Solubilizado (mg / l) | Lixiviado (mg / l) |
|----|--------------|----------------------------|-------------------------|
| 4 | Concreto | 0,014 | nd |
| 7 | 5% Pó | 0,023 | 0,022 |
| 11 | 10% Pó | 0,092 | 0,042 |
| 15 | 10% Serragem | 0,029 | 0,018 |
| 20 | 20% Serragem | 0,077 | 0,075 |
| | | Limite 0,05 mg/l | Limite 5 mg/l |

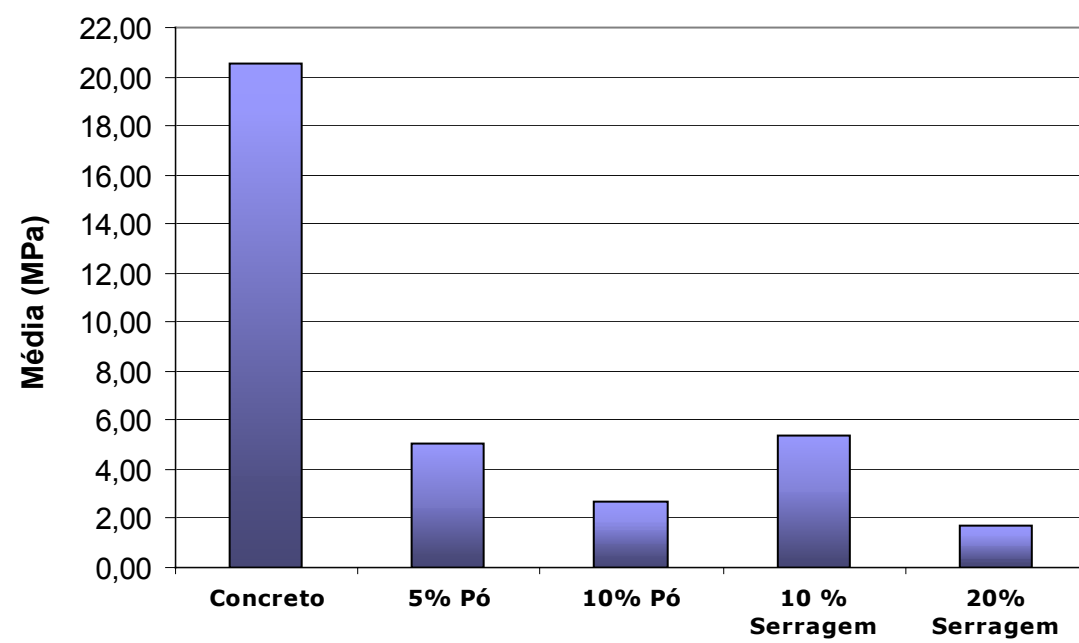


Figura 5.4 – Ensaio de Resistência à Compressão

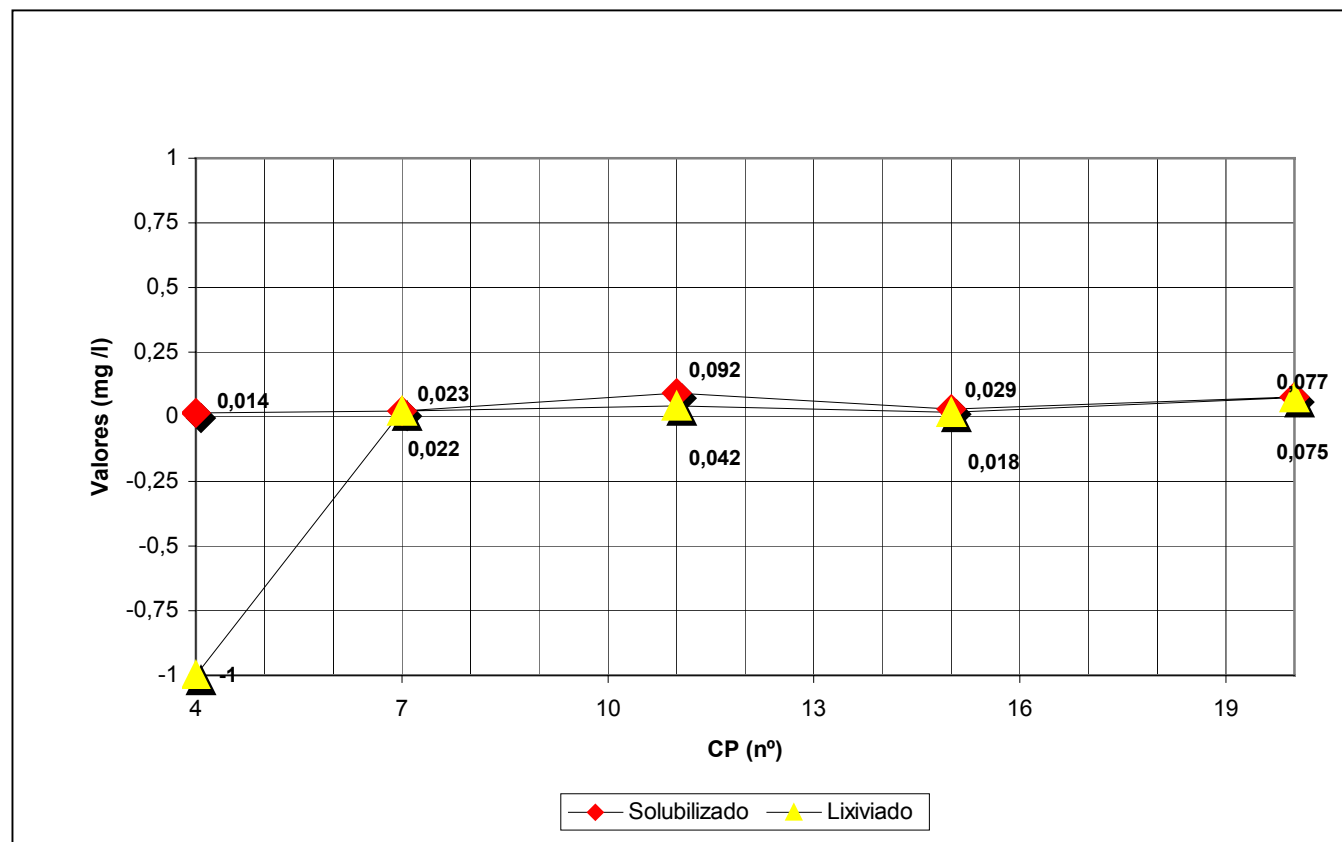


Figura 5.5 – Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

Discussão dos resultados dos ensaios dos corpos de prova de concreto.

a) Resistência à compressão.

A resistência à compressão cai bruscamente a medida que se aumenta a quantidade do resíduo, de 5,0 até 1,6 MPa , comparando-se com o concreto puro que apresentou resistência de 20,0 MPa.

b) Solubilização e Lixiviação do cromo total .

No ensaio de solubilização a média dos valores de desprendimento do cromo ficou abaixo de 0,05 mg/l, podendo-se classificá-lo como classe III – inertes se compararmos com os resíduos .

Neste caso também as quantidades no ensaio de solubilização foram maiores do que no ensaio de lixiviação.

5.3 Tijolos de solo – cimento

5.3.1 – Tijolos de solo – cimento - 1º Traço

Tabela 5.6 - Ensaio de Resistência à Compressão Idade dos tijolos: 28 dias

| CP | Tipo | Área (mm ²) | Carga (Kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|--------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | solo-cimento | 12210 | 3300 | 2,70 | 2,93 |
| 2 | solo-cimento | 12208 | 3850 | 3,15 | |
| 3 | solo-cimento | 12320 | 4600 | 3,73 | |
| 4 | solo-cimento | 12430 | 2100 | 1,69 | |
| 5 | solo-cimento | 12540 | 3300 | 2,63 | |
| 6 | solo-cimento | 12320 | 4550 | 3,69 | |
| 7 | 5% Pó | 12210 | 2550 | 2,09 | 2,19 |
| 8 | 5% Pó | 12210 | 2950 | 2,41 | |
| 9 | 5% Pó | 12210 | 2550 | 2,09 | |
| 10 | 5% Pó | 12320 | 3000 | 2,43 | 2,19 |
| 11 | 5% Pó | 12320 | 3000 | 2,43 | |
| 12 | 5% Pó | 12430 | 2150 | 1,73 | |
| 13 | 10% Pó | 12210 | 1700 | 1,39 | 1,36 |
| 14 | 10% Pó | 12320 | 1450 | 1,17 | |
| 15 | 10% Pó | 12210 | 1550 | 1,27 | |
| 16 | 10% Pó | 12210 | 1650 | 1,35 | |
| 17 | 10% Pó | 12210 | 1400 | 1,14 | |
| 18 | 10% Pó | 12200 | 2300 | 1,88 | |
| 24 | 5% Moido | 12210 | 2750 | 2,25 | |

| | | | | | |
|----|-----------|-------|------|------|------|
| 19 | 5% Moido | 12320 | 3100 | 2,51 | 3,04 |
| 20 | 5% Moido | 12210 | 4750 | 3,89 | |
| 21 | 5% Moido | 12430 | 4050 | 3,26 | |
| 22 | 5% Moido | 12210 | 3950 | 3,23 | |
| 23 | 5% Moido | 12210 | 3750 | 3,07 | |
| 25 | 10% Moido | 12210 | 2850 | 2,33 | 2,29 |
| 26 | 10% Moido | 12320 | 2900 | 2,35 | |
| 27 | 10% Moido | 12430 | 2750 | 2,21 | |
| 28 | 10% Moido | 12430 | 2850 | 2,29 | |
| 29 | 10% Moido | 12430 | 2800 | 2,25 | |
| 30 | 10% Moido | 12320 | 2850 | 2,31 | |

Tabela 5.7 - Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

| CP | Tipo | Solubilizado (mg / l) | Lixiviado (mg / l) |
|----|----------------|----------------------------|-------------------------|
| 2 | solo – cimento | 0,149 | 0,037 |
| 8 | 5% Pó | 3,104 | 0,717 |
| 14 | 10% Pó | 3,452 | 0,169 |
| 21 | 5% Moido | 0,253 | 0,062 |
| 26 | 10% Moido | 0,157 | 0,048 |
| | | Limite 0,05 mg/l | Limite 5 mg/l |

Tabela 5.8 - Ensaio de Absorção d' água

| CP | Tipo | Peso Seco (g) | Peso Saturado (g) | Absorção (%) |
|----|----------------|---------------|-------------------|--------------|
| 1 | solo – cimento | 2109 | 2544 | 20,62 |
| 2 | 5% Pó | 1992 | 2485 | 24,75 |
| 3 | 10% Pó | 1947 | 2622 | 34,67 |
| 4 | 5% Moido | 1895 | 2403 | 26,80 |
| 5 | 10% Moido | 1764 | 2279 | 29,20 |

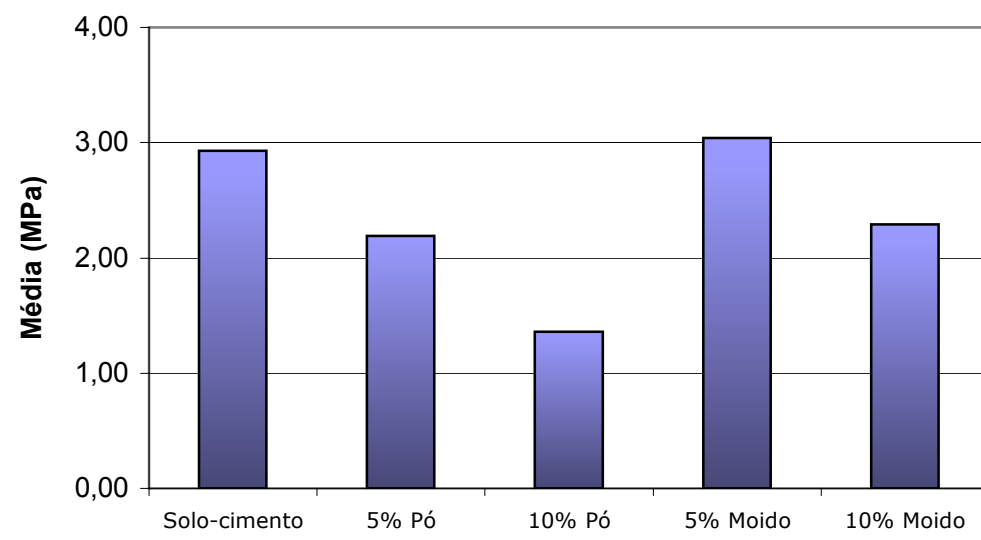


Figura 5.6 – Ensaio de Resistência à Compressão Idade dos Corpos de Prova:
28 dias – 1º traço

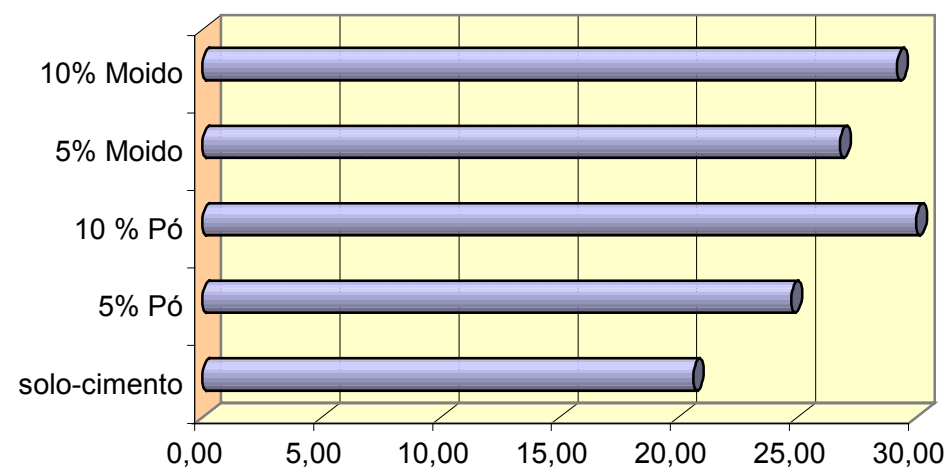


Figura 5.7 – Ensaio de Absorção d' água

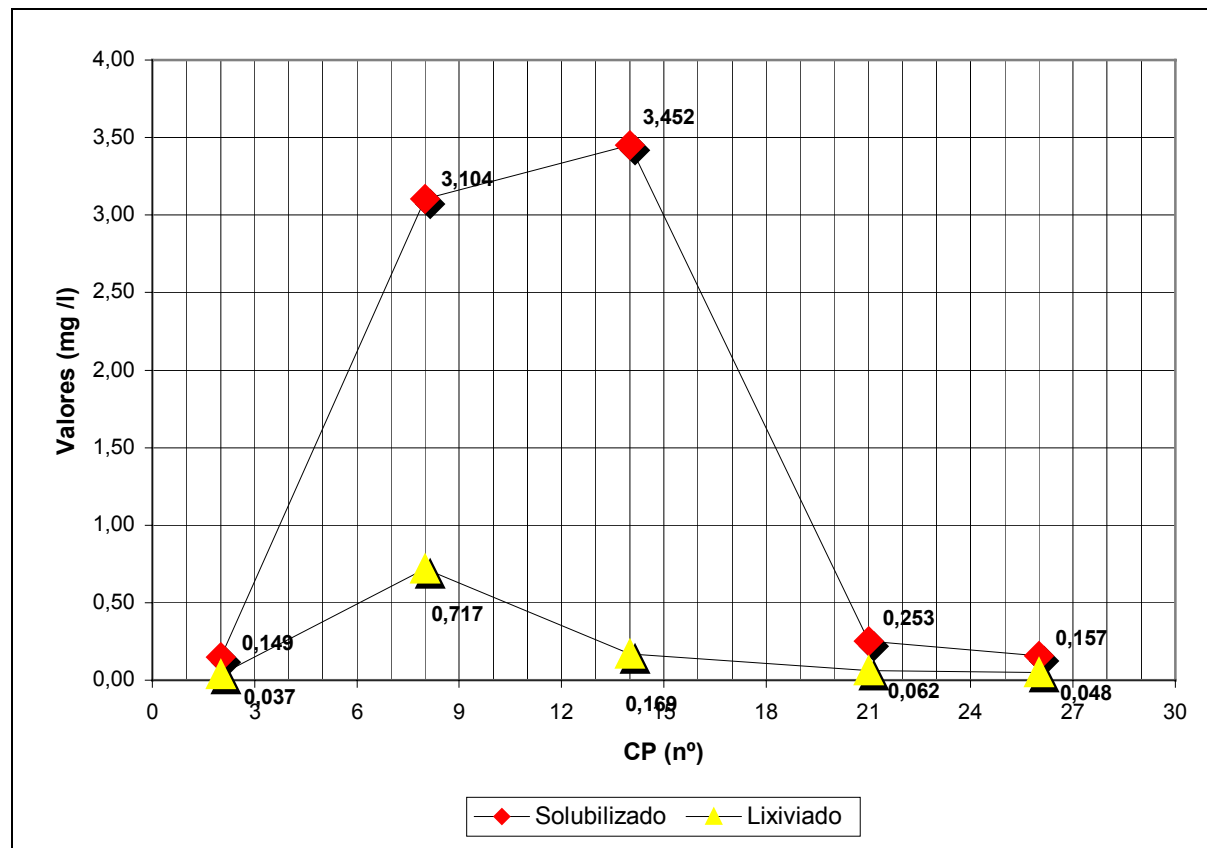


Figura 5.8 – Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

Discussão dos resultados dos ensaios dos tijolos de solo-cimento – 1º traço (Pó e moído).

a) Resistência à compressão.

A resistência à compressão ficou dentro dos valores da ordem de 2,2 MPa , exceto no caso com 10% de Pó, que apresentou resultado médio de 1,36 MPa. Podendo-se concluir que a quantidade adicionada de pó foi muito grande, resultando valores abaixo do requisitado pelas normas.

b) Absorção d'água.

Apresentaram valores de 24% a 34% , muito acima do valor prescrito que é de 20% (média).

Pode-se concluir que a quantidade de pó ou moído adicionado foi muito grande.

c) Solubilização e Lixiviação do cromo total

No ensaio de solubilização os valores ficaram acima de 0,05 mg/l e na lixiviação, abaixo de 5 mg/l, estando classificado como classe II – não inerte, se comparado com os resíduos. Também para estes tijolos, o extrato no ensaio de solubilização foram maiores do que no ensaio de lixiviação.

5.3.2 – Tijolos de solo – cimento - 2º Traço

Tabela 5.9 - Ensaio de Resistência à compressão dos tijolos Idade dos tijolos : 7 dias

| CP | Tipo | Área (mm ²) | Carga (kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|--------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | 1 : 9 : 10% | 132,8 | 1250 | 0,94 | 0,90 |
| 3 | 1 : 9 : 10% | 131,6 | 1150 | 0,87 | |
| 19 | 1 : 10 : 20% | 124,9 | 1850 | 1,48 | 1,21 |
| 22 | 1 : 10 : 20% | 127,1 | 1200 | 0,94 | |

Tabela 5.10 - Ensaio de Resistência à compressão dos tijolos Idade dos tijolos : 14 dias

| CP | Tipo | Área (cm ²) | Carga (kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|--------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 7 | 1 : 9 : 20% | 127,1 | 2350 | 1,85 | 1,88 |
| 9 | 1 : 9 : 20% | 125,4 | 2400 | 1,91 | |
| 13 | 1 : 10 : 10% | 123,8 | 3450 | 2,79 | 2,59 |
| 14 | 1 : 10 : 10% | 128,2 | 3050 | 2,38 | |

Tabela 5.11 - Ensaio de Resistência à compressão dos tijolos Idade dos tijolos : 28 dias

| CP | Tipo | Área (cm ²) | Carga (kgf) | Tensão (MPa) | Média (MPa) |
|----|--------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 2 | 1 : 9 : 10% | 126,0 | 1800 | 1,43 | 1,37 |
| 6 | 1 : 9 : 10% | 129,3 | 1700 | 1,31 | |
| 10 | 1 : 9 : 20% | 126,0 | 2850 | 2,26 | 2,10 |
| 11 | 1 : 9 : 20% | 128,2 | 2500 | 1,95 | |
| 15 | 1 : 10 : 10% | 128,7 | 2750 | 2,14 | 2,04 |
| 16 | 1 : 10 : 10% | 128,2 | 2500 | 1,95 | |
| 20 | 1 : 10 : 20% | 128,8 | 2550 | 1,98 | 1,95 |
| 23 | 1 : 10 : 20% | 128,2 | 2450 | 1,91 | |

Tabela 5.12 - Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

| CP | Tipo | Solubilizado (mg / l) | Lixiviado (mg / l) |
|----|--------------|-----------------------|--------------------|
| 2 | 1 : 9 : 10% | 0,346 | 2,01 |
| 6 | 1 : 9 : 10% | 0,363 | 2,96 |
| 10 | 1 : 9 : 20% | 0,676 | 2,81 |
| 11 | 1 : 9 : 20% | 0,801 | 3,02 |
| 15 | 1 : 10 : 10% | 0,938 | 2,08 |
| 16 | 1 : 10 : 10% | 0,395 | 1,24 |
| 20 | 1 : 10 : 20% | 0,982 | 2,27 |
| 23 | 1 : 10 : 20% | 0,992 | 5,14 |
| | | Limite 0,05 mg/l | Limite 5 mg/l |

Tabela 5.13 - Ensaio de Absorção de água

| CP | Tipo | Peso Seco (g) | Peso Saturado (g) | Absorção (%) |
|----|--------------|---------------|-------------------|--------------|
| 5 | 1 : 9 : 10% | 2302 | 2740 | 19,0 |
| 8 | 1 : 9 : 20% | 2181 | 2618 | 20,0 |
| 17 | 1 : 10 : 10% | 2121 | 2495 | 17,6 |
| 24 | 1 : 10 : 20% | 2165 | 2606 | 20,4 |

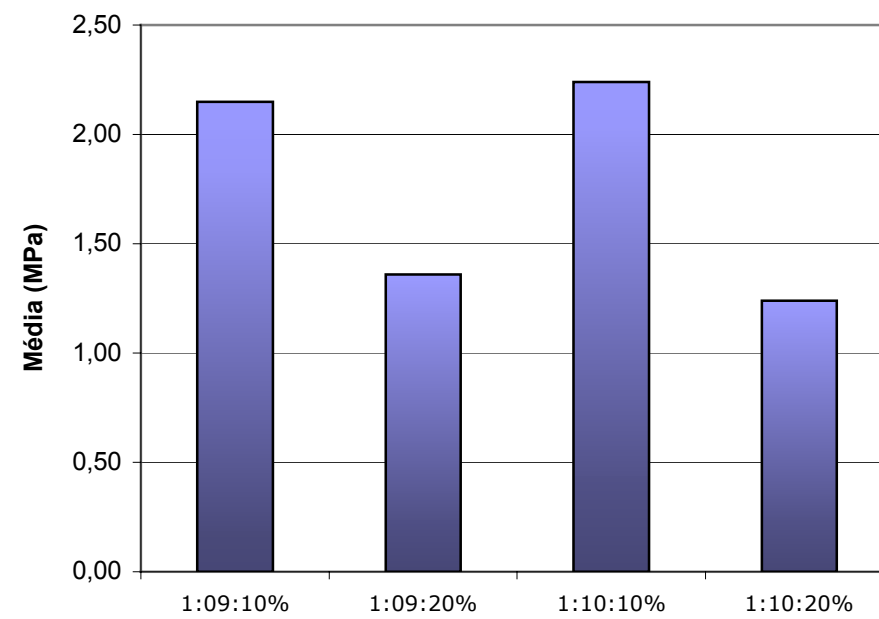


Figura 5.9 – 2º Traço – Ensaio de Resistência à Compressão 7 dias

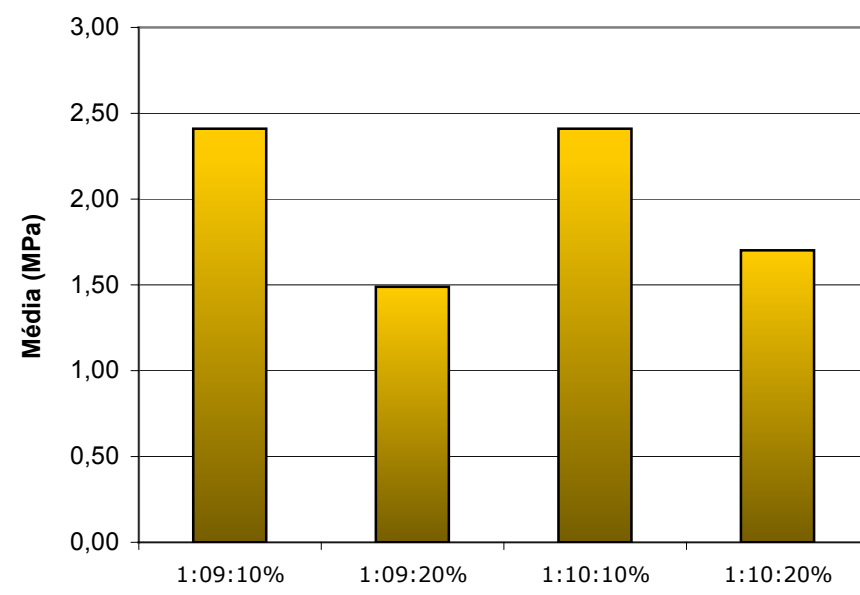


Figura 5.10 – 2º Traço – Ensaio de Resistência à Compressão 28 dias

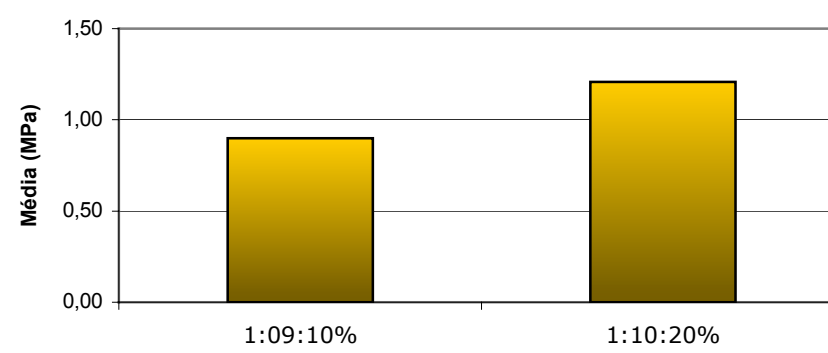


Figura 5.11 - Ensaio de Resistência à Compressão dos tijolos Idade: 7 dias

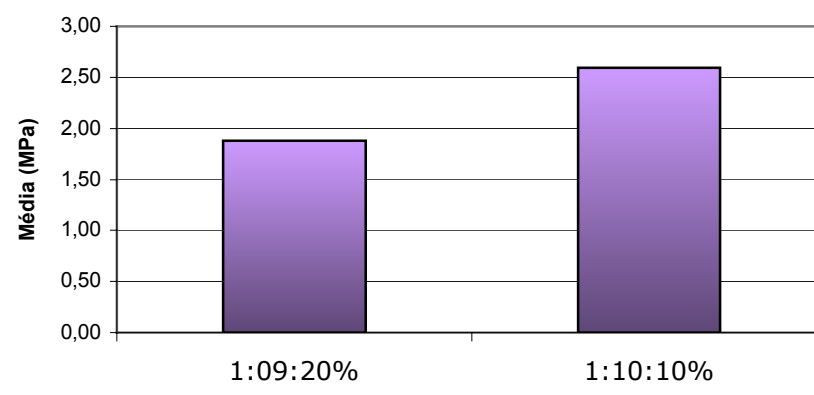


Figura 5.12 - Ensaio de Resistência à Compressão dos tijolos Idade: 14 dias

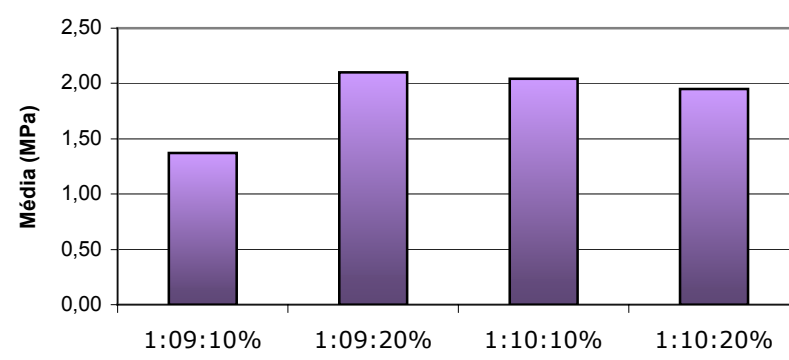


Figura 5.13 - Ensaio de Resistência à Compressão dos tijolos Idade: 28 dias

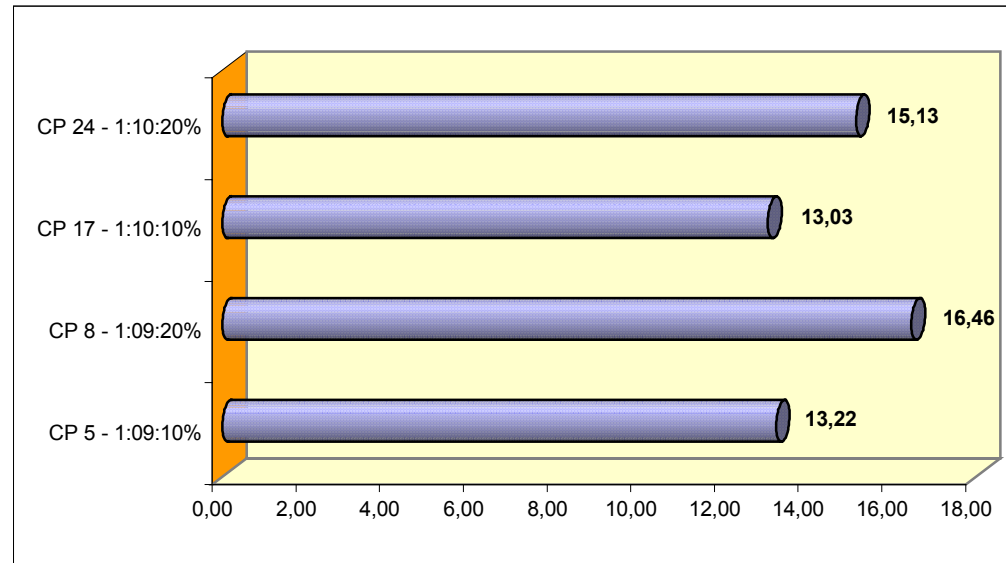


Figura 5.14 - Ensaio de Absorção d' água

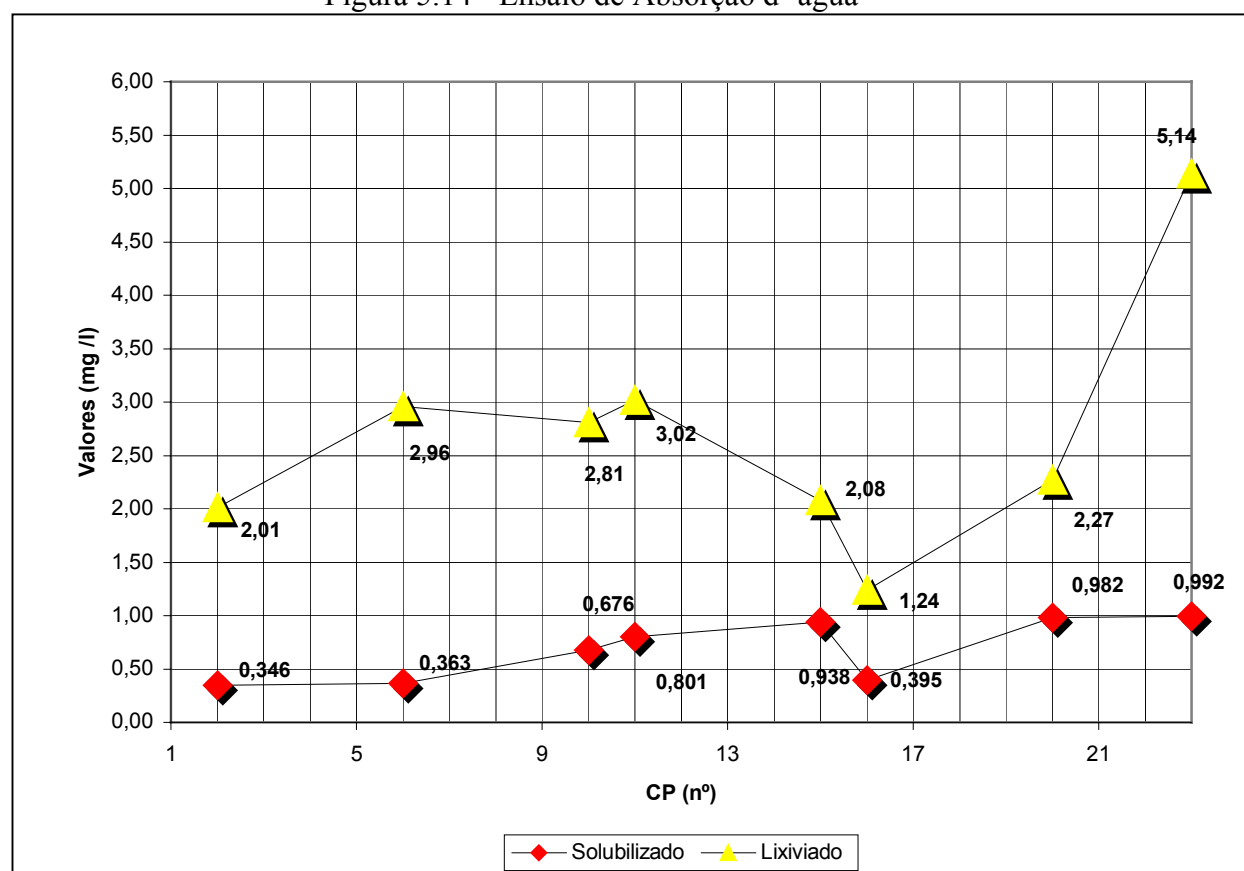


Figura 5.15 - Ensaio de Solubilização e Lixiviação do Cromo

Discussão dos resultados dos ensaios dos tijolos de solo-cimento – 2º traço (Pó e moído).

a) Resistência à compressão.

No ensaio aos 7 dias, as resistências ficaram em torno de 1,2 MPa e no ensaio aos 14 dias, 2,5 MPa.

No ensaio aos 28 dias, a média foi de 2,0 MPa.

Observa-se que a resistência aos 28 dias foi menor do que aos 14 dias. Fato este que deve ter ocorrido devido a eficácia da prensagem manual e do volume de material colocado na prensa.

b) Absorção d'água.

Apresentaram valores de 17% a 20% , considerados bons, vistos que os valores prescritos são de 20%.

c) Solubilização e Lixiviação do cromo total .

No ensaio de solubilização os valores ficaram acima de 0,05 mg/l e na lixiviação, abaixo de 5 mg/l, estando classificado como classe II – não inerte, se comparado com os resíduos.

De todos os artefatos, este foi o único caso em que os valores no extrato lixiviado ficou acima do solubilizado.

5.14 – Tabela resumo dos resultados

| Artefatos Ensaaiados | | Ensaio Físicos | | Ensaio Químicos | |
|--|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Tipos de Artefatos | Traços Utilizados | Resistência à compressão (MPa) | Ensaio de Absorção d'água (%) | Solubilização Limite: 0,05 mg/l | Lixiviação Limite: 5 mg/l |
| Tijolos de argila queimados ao forno | argila pura | 7,88 | 15,72 | 0,181 | 0,069 |
| | 2,5% de pó | 4,90 | 18,90 | 0,595 | 0,214 |
| | 5% de pó | 5,80 | 21,41 | 0,314 | 0,161 |
| | 2,5% de serragem | 5,40 | 17,98 | 0,261 | 0,096 |
| | 5% de serragem | 3,52 | 21,60 | 0,234 | 0,072 |
| Corpos de prova de concreto | concreto puro | 20,52 | - | 0,014 | nd |
| | 5% de pó | 5,03 | - | 0,023 | 0,022 |
| | 10% de pó | 2,65 | - | 0,092 | 0,042 |
| | 10% de serragem | 5,39 | - | 0,029 | 0,018 |
| | 20% de serragem | 1,68 | - | 0,070 | 0,075 |
| Tijolos de Solo-cimento moldados com pó e moído serragem | solo-cimento 1:10 | 2,93 | 20,62 | 0,149 | 0,037 |
| | 5% de pó | 2,19 | 24,75 | 3,104 | 0,717 |
| | 10% de pó | 1,36 | 34,67 | 3,452 | 0,169 |
| | 5% de moído | 3,04 | 26,80 | 0,253 | 0,062 |
| | 10% de moído | 2,29 | 29,20 | 0,157 | 0,048 |
| Tijolos de Solo-cimento moldados com tiras de serragem | 1:9 c/10% serragem | 1,37 | 19,00 | 0,354 | 2,440 |
| | 1:9 c/20% serragem | 2,10 | 20,00 | 0,734 | 2,920 |
| | 1:10 c/10% serragem | 2,04 | 17,60 | 0,665 | 1,660 |
| | 1:10 c/20% serragem | 1,95 | 20,40 | 0,986 | 3,700 |

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os resultados obtidos nos estudos sobre a utilização da serragem cromada nos artefatos de construção civil, principalmente nos tijolos de solo-cimento prensados manualmente, mostraram perspectivas favoráveis para o uso desta técnica.

São apresentados a seguir, as principais conclusões obtidas nos experimentos realizados :

6.1. Conclusões

Os tijolos de argila queimados ao forno com adição de pó ou serragem de couro, mostraram-se viáveis quanto à resistência à compressão e a absorção d'água de acordo com a norma NBR-7170/83 e nos ensaios de solubilização e lixiviação mostraram se Classe II - Não inertes, se comparados com os resíduos .

No traço com adição de 5% de serragem em relação à argila, que é a maior quantidade de serragem adicionada ao tijolo, apresentou resistência à compressão de 3,5 MPa e absorção d' água de 21,60%.

A incorporação da serragem em pó ou em tiras na massa do concreto, mostrou-se viável para o concreto sem fins estruturais, dando resistência à compressão de 5,40 MPa e sendo totalmente Inerte – Classe III segundo os ensaios de solubilização e lixiviação.

Nos tijolos prensados manualmente (1º traço), utilizando-se pó e moido, para os casos de 5% pó; 5% moido e 10% moido, as resistências à compressão, ficaram em 2,19 ; 3,04 e 2,29 MPa respectivamente. Nos ensaios de solubilização e lixiviação todos foram classificados como Não Inertes – Classe II. Nos ensaios de absorção d`água, apresentaram valores de 24,57% ; 26,80% e 29,20%, valores acima dos requeridos para tijolos maciços e se levarmos em conta que o couro tem como característica absorver uma grande quantidade de água, podemos concluir que o material não é adequado para a construção civil.

Nos tijolos prensados manualmente (2º traço), com adição de 10% e 20% de serragem e traço 1: 9 e 1: 10, apresentaram resistência à compressão aos 28 dias acima de 2,0 MPa, nos traços 1: 9 e 1: 10 com adição de 10% de serragem. Nos ensaios de solubilização e lixiviação, todos os tijolos se classificaram com Classe II – Não Inerte, Nos ensaios de absorção d`água, todos os tijolos apresentaram índices abaixo de 20%.

Em todos os ensaios realizados para os diferentes tipos e traços, a quantidade de cromo total nos ensaios de lixiviação ficaram abaixo dos limites estabelecidos pela NBR – 10.004 que é de 5 mg/ l . Sendo esta, a mais importante conclusão do estudo, de que o encapsulamento do resíduo é eficaz, isto é, o resíduo passou de Classe I para Classe II .

Não se considerou neste estudo, os aspectos econômicos (custos), uma vez que a destinação ambientalmente correta do resíduo traz uma grande contribuição para os setores da industrialização do couro.

6.2. Sugestões

Para os próximos estudos, sugere-se :

Tendo em vista as dificuldades encontradas em se aplicar um mesmo grau de compactação na prensagem manual, sugere-se que a prensa seja

utilizada por uma única pessoa, e que a quantidade de material a ser colocado em cada molde da prensa seja devidamente pesado.

Sejam realizados ensaios químicos preliminares na serragem, procurando-se utilizar a amostra mais representativa dentre os resíduos coletados nas indústrias.

Desenvolver estudos mais apurados no traço 1: 10 com 10% de serragem, que apresentou os melhores desempenhos, utilizando-se de solos com mais ou menos argila e adicionando-se a serragem em tiras ou moídas através de trituradores ou picotadeiras.

Seja feito um estudo de exposição do cromo a temperaturas da ordem de 850° C, fornos para tijolos, medindo-se a quantidade de cromo antes e depois de serem levados ao forno.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland – Boletim Técnico 111-
Fabricação de Tijolos de Solo- Cimento com Utilização de Prensas Manuais.
São Paulo, 1988

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 5738 – Moldagem e
Cura de Corpos de Prova Cilíndricos e Prismáticos de Concreto. Rio de Janeiro,
1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 5739 – Concreto –
Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndrico. Rio de Janeiro, 1994 .

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 7170 – Tijolo Maciço
Cerâmico Para Alvenaria. Rio de Janeiro, 1983

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 7182- Solo-Ensaio de
Compactação – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1986

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 8492 - Tijolo Maciço de Solo – Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção D'`Água . Rio de Janeiro, 1984

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 10.004 – Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 1987

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 10.005 –Lixiviação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 1987

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 10.006 –Solubilização de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 1987

AKUTSU, J., Resíduos de Indústrias de Processamento de Couros: Caracterização e Análise de Alternativas de Sistemas de Minimização, Reciclagem, Tratamento e Destinação Final. Relatório Parcial de Pesquisa apresentado à CPRT. Universidade Estadual Paulista – Unesp, Campus de Bauru, 137 p. março/1999.

ANUSZ, L., A Arte de Curtir. Publicação ABQTIC, Estância Velha- RS, 1ª edição, 100 p. 1995.

BATALHA, B.L., PARLATORE, A.C.,Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano, Bases Conceituais e Operacionais. São Paulo,CETESB, 1997.

BAUER, L.A.F.,Materiais de Construção I, 5ª edição, Editora Afiliada, Rio de Janeiro, 1994.

CLAAS, I. C., MAIA, R. A. M., Manual Básico de Resíduos Industrial de Curtume. Porto Alegre - RS Senai, 664 p.1994.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB,
Resíduos Sólidos Industriais, São Paulo, CETESB, 1985

GUEDES, M.F., Caderno de Encargos, São Paulo, Editora Pini, 1994.

ISA, M.M., DARÉ, C.A. N., SANTOS, I.L.P., Cimento Portland, Bauru, Agosto 1996.

KAUFMAN, D.B., Acute Potassium dichromate poisoning in man, American Journal
of diseases of children, V.119, p.374. 1970.

MARAGNO, A.LFC., Solidificação de Lodo ao Cromo de Curtume em Matriz de
Cimento. São Carlos, 166 p + Anexos, 1999. Tese (Doutoramento)- Escola de
Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.

METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., Concreto- Estruturas, Propriedades e
Materiais, Editora Pini, São Paulo, 1994.

MOORE, J.W., RAMAMOORTHY., Heavy Metals in Natural Waters, New York,
Springer-Verlag, 1984.

OSSANAI, J., Efeito dos Metais Pesados na Saúde. In: I Seminário Sobre Poluição
por Metais Pesados, Brasília, p. 103-128, 1979.

TEIXEIRA, R. C., Estudo Sobre Utilização de Serragem de Couros ao Cromo na
Fabricação de Artefatos. Porto Alegre, 1985. p. Tese (Mestrado) Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

SPRINGER, H., Aproveitamento Econômico de Resíduos Sólidos da Indústria de
Peles e Couros, Estância Velha, SENAI, RS, 1985

WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO, Guidelines for Drinking-water Quality, Health Criteria and Other Supporting Information. Geneva, World Health Organization, V.2, 1984.