

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO E
SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE POLIMENTO DE
PORCELANATO NA PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO DE
CONCRETO**

Eduardo Bruno da Purificação

Belo Horizonte
2009

Eduardo Bruno da Purificação

**ESTUDO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO E
SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE POLIMENTO DE
PORCELANATO NA PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO DE
CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves C. Júnior.

Belo Horizonte
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil: Materiais de Construção

Dissertação intitulada “Estudo do uso de agregados reciclados de Concreto e Substituição do Cimento por Resíduo de polimento de Porcelanato na produção de Piso Intertravado de Concreto” de autoria do mestrando Eduardo Bruno da Purificação, defendida em 13 de Agosto 2009 e submetida à banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Orientador – Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes

Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Dr. Cláudio José Martins

Escola de Engenharia /CEFET-MG

*Ao meu amigo,
DEUS.*

*“Acho impossível conhecer as partes sem
conhecer o todo, nem conhecer o todo sem
conhecer particularmente as partes”.*

Blaise Pascal

AGRADECIMENTOS

Nesta mensagem expressarei minha eterna gratidão as pessoas que contribuíram para a obtenção de tão desejado título de Mestre em Construção Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Agradeço ao meu melhor amigo, Deus.

Ao Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, pela motivação gratuita e orientação dedicada e paciente.

A todos os professores do Departamento de Materiais e Construção que estiveram presentes e contribuíram para a conclusão desta Dissertação

Ao amigo Sidney, pela paciência e ajuda pertinente.

Aos colaboradores da Cerâmica Cecrisa, pela doação do RPP.

Ao Evaldo, da Redmix, por ceder resíduos de concreto.

RESUMO

O uso de resíduos de construção e demolição RCD, da indústria da cerâmica e de pneus na forma de agregados miúdos e graúdos para diversos produtos ou artefatos de cimento tem sido, nos dias de hoje, cada vez mais presente na construção civil, por tratar de uma alternativa sustentável (do ponto de vista econômico, social e ambiental), correta e interessante para os três vértices da sociedade: população, poder público e empresa privada. Neste estudo foi realizada a produção de pisos intertravados de concreto (paver-pavimentação) com utilização de 100% de agregados reciclados originados de rejeitos de concretos das concreteiras da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (volume de perda de 10%) e substituição de 10%, 20% e 30% do volume do cimento CPV-ARI por Resíduo de Polimento de Porcelanato RPP. Os ensaios realizados para avaliação da resistência à compressão, apresentaram resultados satisfatórios, indicando que as utilizações de agregados reciclados atuam de forma eficiente, sendo que a substituição de 20% do volume de cimento por RPP apresentou o melhor desempenho.

Palavras-chave: agregados reciclados; pavimentação; sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of waste from construction and demolition RCD, from the ceramics industry and tires in the form of small and great aggregates for various products or artifacts of cement has been, today, increasingly present in the building industry, for dealing with a sustainable alternative (of the economic point of view, social and environmental), correct and interesting for the three corners of society: population, public power and private enterprise. This study was performed to produce interlocking concrete blocks pavements (paver-pavement) using 100% recycled aggregates arising from the concrete enterprises in the metropolitan region of Belo Horizonte - RMBH (waste volume of 10%) and replacement of 10 %, 20% and 30% of the volume of cement CPV-ARI by residue from polishing of porcelain stoneware tile - RPP. Tests conducted to evaluate the compression resistance showed satisfactory results, indicating that the use of recycled aggregates act efficiently, and the replacement of 20% of the volume of cement by RPP showed the best performance.

Key-words: recycled aggregates; paving; sustainability.

SUMÁRIO

1 JUSTIFICATIVA.....	13
2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Histórico do Piso Intertravado	16
3.1.1 Blocos de Tijolos de Argila	18
3.1.2 Pedras Talhadas	19
3.1.3 Blocos de Madeira.....	19
3.1.3 Peças Pré-moldadas de Concreto – PPC	20
3.2 Maquina no processo de Fabricação.....	21
3.2.1 Norma Brasileira para Peças de Concreto para Pavimentação	24
3.3 Utilização de Resíduos de Construção e Demolição	26
3.4 Resíduos das Concreteiras	29
3.4.1 Volume produzido de Concreto	31
3.5 Riscos de Contaminação Ambiental.....	33
3.6 Resíduos de Polimento de Porcelanato	34
3.6.1 Histórico do Porcelanato	34
3.6.2 O Porcelanato	35
3.6.2.1 Processo de Fabricação.....	36
3.6.2.2 Processo de Polimento.....	36
3.6.3 Quantidade de Resíduos de polimento de Porcelanato gerado	39
3.7 Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição	39
3.8 Consumo de Recursos Naturais pela Construção Civil.....	42
3.8.1 Consumo de Energia e Poluição Ambiental	43
3.9 Histórico do Cimento	45
3.9.1 Produção do Cimento.....	47

3.9.1.1 Clinquerização.....	48
3.9.1.2 Forno.....	49
3.9.1.3 Resfriador.....	50
3.9.1.4 Combustíveis Utilizados.....	51
3.9.1.4 Clínquer.....	51
3.9.2 Adições.....	52
3.9.2.1 Gesso.....	52
3.9.2.2 Escória Siderúrgica.....	53
3.9.2.3 Argila Pozolânica.....	53
3.10 Cimentos produzidos no Brasil.....	54
3.10.1 Cimentos produzidos.....	54
3.11 Tabela de Produção por Região.....	61
3.12 Crédito de Carbono no Brasil.....	63
3.13 Índice de Sustentabilidade Empresarial Bovespa.....	68
3.14 Impacto Ambiental do Trabalho.....	77
4 METODOLOGIA.....	79
4.1 Programa Experimental.....	79
5 RESULTADOS DA PESQUISA.....	82
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	94
7 CONCLUSÃO.....	95
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....	98
REFERÊNCIAS.....	99

ABREVIações

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BOVESPA – Bolsa de Valores do Estado de São Paulo

CBCS – Conselho de Construção Sustentável

CIE – Comércio Internacional de Emissões

CP – Cimento Portland.

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISE – Índice de Sustentabilidade Empresarial

PPC – Peças Pré-moldadas de Concreto

RCD – Resíduo de Construção e Demolição.

RCE – Redução Certificada de Emissões

RPP – Resíduo Polimento de Porcelanato;

WWF – World Wildlife Fund

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Prensa hidráulica.....	24
Figura 2:	Resíduo de Concreto.....	33
Figura 3:	Fluxograma da produção do Grês porcelanato.....	39
Figura 4:	Misturador.....	81
Figura 5:	Areia.....	84
Figura 6:	Obra executada.....	86
Figura 7:	Amostra dos pisos produzidos.....	87
Figura 8:	Amostra dos pisos produzidos.....	87
Figura 9:	Gráfico resistência compressão traço 1	90
Figura 10:	Gráfico resistência compressão traço 2.....	90
Figura 11:	Gráfico resistência compressão traço 3.....	91
Figura 12:	Gráfico resistência compressão traço 4.....	91
Figura 13:	Gráfico Resistência 1 dia.....	92
Figura 14:	Gráfico Resistência 3 dias.....	92
Figura 15:	Gráfico Resistência 7 dias.....	93
Figura 16:	Gráfico Resistência 28 dias.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Compostos químicos do clínquer.....	53
Tabela 2:	Tipos de cimento Portland produzidos no Brasil.....	61
Tabela 3:	Produção nacional 2007.....	62
Tabela 4:	Produção nacional 2008.....	63
Tabela 5:	Perfil da distribuição de Cimento Portland por regiões.....	64
Tabela 6:	Consumo de Cimento e emissão de CO ₂ (2007).....	77
Tabela 7:	Consumo de Cimento e emissão de CO ₂ (2008).....	78
Tabela 8:	Fator multiplicativo “p”.....	81
Tabela 9:	Traços utilizados.....	82
Tabela 10:	Areia.....	84
Tabela 11:	Resultado traço 1.....	88
Tabela 12:	Resultado traço 2.....	88
Tabela 13:	Resultado traço 3.....	89
Tabela 14:	Resultado traço 4.....	89

1 JUSTIFICATIVA

As empresas em geral vêm trabalhando para diminuir a geração de resíduos, sabe-se que a geração de resíduos além de gerar custos, leva uma imagem desfavorável ao mercado consumidor final.

A indústria da construção civil convencional e com melhor desempenho a industrializada, assim como vários outros setores industriais, mecânicos, elétricos e até artesanais visualizam como saída sustentável, reaproveitar os resíduos.

A construção civil na sua realidade um dos maiores consumidores de matérias primas naturais como: cimento Portland, agregados miúdos e graúdos, blocos cerâmicos, porcelanas, revestimentos cerâmicos, argamassas entre outros materiais. Vale ressaltar que reutilização de resíduos vem sendo utilizada com boa freqüência e também bom desempenho no aspecto econômico, social e financeiro.

Podem-se citar várias vantagens na utilização de resíduos como, por exemplo: menor gasto com matérias primas e assim economia de recursos minerais, menor gasto com transporte tanto da matéria prima inicial quanto transporte dos resíduos gerados até seu destino final, os aterros e também redução de matéria industrial.

Além do RCD, já um pouco mais conhecido e também já com alguns estudos acadêmicos, existe o resíduo de concreto gerado pelas próprias fornecedoras (concreteiras), e que na quase sua totalidade vai para os conhecidos aterros industriais.

Já as indústrias de revestimentos cerâmicos produzem resíduos no processo de

fabricação como material fora da especificação e até mesmo quebras indesejáveis que alguma parte volta para o processo de fabricação e ainda resíduos que são provenientes do polimento do porcelanato.

A presunção fundamental deste trabalho é que na produção de pisos intertravados para pavimentação com utilização dos agregados reciclados de resíduo de concreto e com substituição do cimento por Resíduo de Polimento de Porcelanato as características físicas e mecânicas terão um melhor desempenho e maior durabilidade, proporcionando condição de uso a resíduos de concreteiras e de empresas fabricantes de porcelanato.

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é de avaliar o desempenho da fabricação de pisos intertravados com utilização de agregados reciclados de concretos na resistência à compressão, uma breve análise da produção do piso intertravado como ISE- Índice de Sustentabilidade Empresarial , com utilizações de agregados reciclados originados de concreteiras e substituição do cimento por Resíduo de Polimento de Porcelanato em até 30% do volume

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o desempenho mecânico através do ensaio de resistência à compressão;
- b) E avaliar o desempenho do projeto em um Centro de Negociação (Índice de Sustentabilidade Empresarial - BOVESPA);

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico do Piso Intertravado

Segundo Cruz (2003), a camada constituída por um ou mais materiais que se coloca sobre o terreno natural ou terraplenado para aumentar sua resistência e servir para a circulação de pessoas ou veículos. Entre os materiais utilizados na pavimentação urbana, industrial ou rodoviária estão os solos com maior capacidade de suporte, os materiais rochosos, como pedras britadas ou calçamento, o concreto de cimento Portland e o concreto asfáltico.

Uma das primeiras formas de pavimentação foi a calçada romana, construída em várias camadas. Esta grande obra de engenharia permitiu a que vários trechos tenham resistido durante séculos e se encontrem ainda hoje.

As principais funções de pavimento segundo a NBR 7207 “Terminologia e classificação de pavimentação” (ABNT-1992) são:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais provenientes do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto a comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais tornando mais durável possível a superfície de rolamento.

Pode-se classificar os pavimentos em :

- Pavimentos Flexíveis;
- Pavimentos Rígidos;
- Pavimentos semi-flexíveis.

Este breve histórico é retirado dos estudos apresentados por Cruz (2003), Muller (2005), Prego (2001), Knaption (1996) e Shackel (1990). Trata-se da evolução desde sistema de construção durante os anos.

A invenção da roda ocorreu na Mesopotâmia, há mais de 5000 anos e gerou a necessidade da utilização de materiais mais resistentes para a construção de estradas e caminhos, devido o aumento de cargas transportadas. Uma das mais antigas que ainda encontram vestígios está na Grécia, que foi revestida com pedra e construída provavelmente, 1.500 antes de Cristo.

Os Etruscos (800 a 350 a.c.) são creditados por transportes de pessoas e produtos entre colônias. Estes povos tinham a preocupação de garantir resistência e conforto entre as viagens e assim começaram utilizar no revestimento pedras de mão e areia para preenchimento das juntas, materiais disponíveis e conhecidos na época.

Os Romanos herdaram várias técnicas e conhecimentos sobre a construção de pavimentos dos Etruscos. Com a necessidade de construir ligações entre o Império Romano e principalmente pra garantir o deslocamento rápido das tropas militares, os caminhos Romanos foram utilizados diversas técnicas, de acordo com a importância, materiais disponíveis, clima e topografia. Geralmente eram constituídos por solos arenosos misturados a pedras naturais do tipo seixo rolado, já os caminhos mais utilizados eram revestidos por pedras talhadas em formato retangular. O

revestimento de pedras talhadas retangular era a preferida dos Romanos, mas dependia da disponibilidade de materiais na região.

Durante 200 anos em um período que se estendeu de 400 a 200 a.C., os Romanos intensificaram a construção de um abrangente sistema de caminhos compreendendo uma extensão de 120.700km em vinte e nove caminhos que irradiavam de Roma e conectavam a numerosas cidades.

Já os Espanhóis no século XVI , quando invadiram o Império Inca, ficaram maravilhados com o sistema de pavimentação encontrado, que é creditado um total de 40.000km de estradas construídas entre Colômbia, Chile e Argentina e outros caminhos na longitudinal, conhecidos como caminho Andino e o Costeiro.

Os caminhos durante a evolução foram utilizados basicamente entre 4 tipos de materiais: blocos de tijolos, pedra talhadas, blocos de madeira e peças de concreto.

3.1.1 Blocos de Tijolos de Argila

Os primeiros indícios de utilização do betume e blocos de argila foi na Mesopotâmia a 5.000 anos. O sistema consistia na aplicação dos blocos de argila assentados sobre o uma camada de betume para garantir a aderência dos tijolos ao leito do terreno. Apresentava uma pequena durabilidade devido a abrasão originado pelo desgaste. Ao final do século XIX apareceram argilas com maior resistência devido a queima e assim blocos de tijolos de argila passaram a ser mais utilizados na América e Europa.

No Brasil a cidade de Rio Branco no Acre, vem utilizando blocos de tijolos de argila

desde 1940, devido a abundância do material e falta de disponibilidade de outros materiais. O assentamento é feito diretamente sobre o aterro previamente preparado oferecendo no final um pavimento que proporciona segurança ao rolamento e permeabilidade.

3.1.2 Pedras Talhadas

No século XVII apareceram os primeiros pavimentos com assentamentos em forma de espinha de peixe ou em fileiras. Naquela época já existia a preocupação da manutenção das juntas estreitas, para homogeneizar o bloco e assim suportar grandes esforços. Já no século XX, foi inserida a prática de selar as juntas com argamassa de cimento, areia e asfalto, que são conhecidos como pé de moleque e paralelepípedos.

No Brasil a técnica foi trazida pelos Portugueses a partir de 1600, as pedras possuem formatos irregulares e dimensões de até 50cm e são assentadas sobre o terreno natural. Exemplo de utilização do pavimento tipo pé de moleque estão entre as cidades mineiras e a cidade Fluminense de Paraty que fazem parte do caminho do Ouro.

3.1.3 Blocos de Madeira

No início do século XIX, os blocos de madeira eram utilizados com objetivo de

diminuir os ruídos ocasionados pelas rodas de ferro das carruagens. As peças eram assentadas em uma camada de mastique betuminoso onde colocavam pequenos grãos de areia para garantir o travamento. O sistema deixou de ser utilizado por se apresentar escorregadio quando molhado.

3.1.3 Peças Pré-moldadas de Concreto – PPC

Desenvolver pisos em peças pré-moldadas de concreto após utilizar materiais descritos anteriormente parece bem natural. A primeira peça pré-moldada de concreto foi fabricada no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da primeira guerra mundial. Rapidamente foi reconhecido que as PPC forneciam melhor uniformidade que as peças aparelhadas e obviamente não necessitavam de posterior reaparelhamento como acontecia com as pedras naturais.

Os primeiros avanços no desenvolvimento da utilização da pavimentação de PPC ocorreram na Holanda e Alemanha no período de reconstrução dos países após a Segunda Guerra Mundial. A partir de 1950, houve uma evolução dos modelos de fôrmas existentes para a fabricação das PCC. As peças imitavam os tijolos e pedras aparelhadas utilizadas na época, objetivando obter sua substituição gradual. Nesta fase, as únicas vantagens de utilização eram os custos mais baixos e a homogeneidade dimensional.

Após este período, foi incorporado um refinamento maior nas formas das peças disponibilizando outros modelos de peças com formatos dentados. Então o conceito de intertravamento e um melhor controle de espessuras das juntas começava a ser implantado. Benefícios práticos para o assentamento das peças eram facilmente

detectados permitindo a utilização correta de mão de obra pouco especializada.

Por fim, o desenvolvimento da pavimentação de PPC permitiu relacionar a escolha da forma geométrica com desempenho do pavimento, em função do tipo de tráfego. Mais recentemente, novas e importantes mudanças ocorreram com a iniciativa de desenvolver o assentamento mecânico.

Além de grande parte dos países europeus, em meados dos anos 1960, o pavimento de PPC já estava consolidado comercialmente nas Américas Central, e do Sul, África do Sul. Na década de 1970 cresceu o uso nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão.

No final da década de 1970, proliferaram os sistemas de fabricação de PPC em todo o mundo e pelo menos 200 tipos de formas e diversos tipos de equipamentos de fabricação eram comercializados.

No início da década de 1980, a produção anual já ultrapassava 45 milhões de metros quadrados, sendo 66% deste total aplicados em vias de tráfego urbano, no Brasil as utilizações dos PPC ficam restritas em pátios de manobras de empresas, em condomínios particulares. A indústria mundial de fabricação de PPC no final da década de 1990 chegou à impressionante marca de produção de 100m² por segundo durante os dias úteis de trabalho SMITH (2002).

3.2 Máquina no processo de Fabricação

A fabricação de pisos intertravados é feita por máquinas tipo vibro prensa que são comercializadas manuais, pneumáticas e hidráulicas, estas variam de tamanho,

especificação do motor, alimentação, quantidade, moldes por matriz entre outros fatores. Estes mesmos equipamentos podem fabricar blocos de concreto de vedação, blocos de concreto estrutural, meio fio e outras peças menos convencionais.

Na fabricação manual a quantidade de peças, a capacitação da mão de obra e qualidade da matéria prima que resultarão as capacidades produtivas. Neste processo o concreto de consistência seca, é lançado de forma manual, o peso responsável pela prensagem também é manual e a prensa que faz a acomodação do concreto nos moldes da matriz é constante e acionado por motor elétrico.

Na prensa pneumática e principalmente na hidráulica, o abastecimento do concreto com consistência um pouco mais seca do que no processo manual, pode ser feito através de alimentadores ou manual, a prensagem e a vibração são acionados por dispositivos mecânicos. A regulagem da prensagem e da vibração é feita periodicamente para manter a qualidade e quantidade do produto produzido.

A NBR 9780, "Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão" que cita peças onde especifica que a máquina:

- Deve ser equipado com dois pratos de aço, sendo articulado o superior;
- Deve ser aferida pelo menos uma vez ao ano, tolerando-se um erro máximo de 1%;
- Deve possuir instrumentos que permitam a medida e a leitura da carga máxima com aproximação de 2%;
- Deve ser capaz de transmitir a carga de modo progressivo e sem choques.

Nesta última especificação ocorre a inexequibilidade, pois é natural do processo ter choques e ou pancadas na utilização.



Figura 1 – Prensa Hidráulica

Fonte: Foto retirada do site <http://www.b2babimaq.com.br/.../29520091546421.jpg>

Dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Concreto para Alvenaria e Pavimentação mostram que a utilização do piso intertravado de concreto no país quintuplicou nos últimos dois anos, assim como os números de máquinas e fábricas (Associação Brasileira do Cimento Portland, 2008).

3.2.1 Norma Brasileira para Peças de Concreto para Pavimentação

Estamos em um aquecimento geral da economia Brasileira, o PIB (Produto Interno Bruto) teve um crescimento de 5,4% (IBGE), observando-se ainda o fato de se tratar de um país em desenvolvimento, que necessita de infra-estrutura básica: hospitais, escolas, esgoto, água e pavimentação. A construção Civil também está bastante aquecida e uma das soluções rápida, eficiente e de ótimo desempenho é a pavimentação intertravada. Não obstante esta oportunidade ainda existe a deficiência de Normas Brasileira.

A produção de pisos de concreto para pavimento está limitada em apenas duas normas Brasileira, o que retrata perfeitamente diversos formatos, várias dimensões que ocasionam divergência entre as regiões do Brasil e de até grandes centros urbanos.

São as normas vigentes no Brasil:

- NBR 9780 “Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão”.
- NBR 9781 “Peças de concreto para pavimentação”

Em geral as normas especificam o dimensionamento e a resistência à compressão sem referenciar a idade do piso.

São as seguintes as recomendações da NBR 9781:

- Comprimento (b): Maior distância entre duas faces paralelas entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.

- Largura (a): Menor distância entre duas faces paralelas entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.
- Altura (h): Distância entre dois planos paralelos entre si, e perpendiculares aos planos de topo e base.
- As variações máximas permissíveis nas dimensões são de 3mm, no comprimento e largura das peças e limita 5mm na altura das peças.

Estas considerações da NBR 9781 “Peças de concreto para pavimentação” permitem que os fabricantes possam trabalhar com várias dimensões e formatos.

Quanto a resistência à compressão temos dois parâmetros 35 MPa, para solicitações de veículos comerciais de linha e 50 MPa , quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão. Não existem considerações específicas quanto a abrasão e permeabilidade.

Várias são as vantagens da utilização e do piso intertravado e por isso cada dia mais está crescendo seu uso, a seguir alguns fatores preponderante:

- Durabilidade: mais resistente a cargas que outros tipos de piso;
- Conforto: baixa condutividade térmica do sistema, dando mais conforto ao usuário;
- Economia de manutenção: toda vez que necessária a realização de manutenção em tubulações subterrâneas, é possível reaproveitar os mesmos blocos, que são assentados sobre areia, sem o uso de argamassa;

- Versatilidade: a variedade de tipos, cores e formatos de blocos existente permite inúmeras adequações estéticas e ambientais ao produto;

3.3 Utilização de Resíduos de Construção e Demolição

Com crescimento econômico e também a necessidade e quase obrigatoriedade de seu crescimento, a construção civil estabelece uma exploração descomunal dos recursos naturais. Tem-se, na verdade, um confronto entre o meio ambiente e o desenvolvimento ao não estabelecer patamares sustentáveis de produção e consumo (ANGELIS NETO & ANGELIS, 1994).

Dentre dos problemas originados do adensamento urbano, o da captação e destinação dos resíduos sólidos gerados é motivo de grande preocupação. Recentemente tem-se reconhecido com maior precisão a composição destes resíduos urbanos, e se verificado que resíduos oriundos da construção civil são sua maior parcela (PINTO,1997).

A construção gera resíduos na produção de materiais e equipamentos, durante a construção, durante a manutenção, modernização e principalmente na demolição.

Pinto (1999) estimou que nas grandes cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50% dos resíduos de construção e demolição (RCD), enquanto que a atividade de demolição e manutenção são responsáveis pela outra metade.

Vários são os produtos provenientes da construção e demolição. Pinto (1999) cita

alguns exemplos: (a) solos; (b) rochas; (c) concreto, armado ou não; (d) argamassas a base de cimento e cal; (e) metais; (f) madeira; (g) plásticos diversos; (h) materiais betuminosos; (i) vidros; (j) gesso – pasta e placa; (k) tintas e adesivos; (l) restos de embalagens; (m) resíduos de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas; (n) cerâmica branca, especialmente a de revestimento; (o) cimento-amianto; (p) produtos de limpeza de terrenos, entre outros, em proporções variáveis de acordo com a origem.

De acordo com John (2000), na maioria das normalizações internacionais os resíduos de construção e demolição são considerados inertes apenas devido a uma exceção a regra de classificação de resíduos (NBR 10004; EPA 1998). No entanto, devido a sua composição variada, os resíduos de construção e demolição podem conter resíduos perigosos, como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados em madeiras tratadas, tendo sido encontrado nos lixiviados dos aterros quantidades de substâncias tóxicas acima dos limites, o que permite levantar a suspeita que esta exceção a regra pode ser revista em médio prazo. Até hoje ainda não se conhece estudo similar no Brasil.

Ainda de acordo com John (2000), a deposição irregular do RCD na malha urbana tem sido relacionada com enchentes, causadas por assoreamento dos córregos por RCD, com prejuízo à paisagem, obstrução de vias de tráfego e com proliferação de doenças.

Em setembro do ano 2000, representantes de 189 países reunidos na sede da ONU, em Nova York, aprovaram uma lista de objetivos de desenvolvimento econômico, social e ambiental que batizaram de Declaração do Milênio. Entre os sete objetivos aprovados, salienta-se o sétimo:

Objetivo 7: Garantir a sustentabilidade ambiental:

- *Integrar os princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e nos programas nacionais e inverter a tendência atual de perda de recursos naturais;*
- *Reduzir para a metade, até 2015, a proporção da população sem acesso permanente à água potável;*
- *Até 2020, melhorar consideravelmente a vida de pelo menos 100 milhões de habitantes de áreas degradadas.*

De acordo com a WWF em um relatório de 2006 a destruição dos recursos naturais para atender ao consumo humano já ultrapassa em 25% a capacidade de reposição dos ecossistemas.

Segundo Frosch (1997), a idéia global é considerar como o sistema industrial poderia evoluir na direção da mesma cadeia de suprimento interconectada, para que a minimização dos resíduos passe a constituir um atributo ou propriedade do sistema industrial, mesmo quando não pertinente a um determinado processo, fábrica ou indústria.

Frosch (1997), de forma bem pertinente também considera, que para processar a reutilização de quantidades significativas de um material, o sistema utilizado deve ser assentado em economia realista, na qual processos alternativos e o material comercializado façam um sentido financeiro, incluindo custos de processamento e do produto, custos de informação, e transporte em várias alternativas, e custos da possível disposição final, seja por meio de alterações ou depósitos em aterros.

3.4 Resíduos das Concreteiras

Os resíduos das concreteiras, objeto de estudo, ocorrem após a prestação de serviço de concretagem, em função da sobra do material no balão do caminhão betoneira devido às seguintes causas:

- Volume solicitado pelo cliente final é maior do que o necessário;
- As concreteiras comercializam somente múltiplo de $0,5\text{m}^3$, e assim aumenta o retorno de material;
- Trânsito congestionado e/ou algum acidente no trajeto, ultrapassando o tempo de final de pega do concreto, e assim retornando em sua totalidade para a usina;
- Algum contra tempo ou entupimento da tubulação e/ou mangote do caminhão bomba.

Estes resíduos, na sua maioria, voltam para concreteira e são depositados em baias com água para decantar os agregados graúdos, miúdos, e o cimento já sem característica aglomerante. Após a decantação é retirado com pá carregadeira e recolocado em outras baias para secar. Depois de possuir um volume predeterminado das baias, são retirados e depositados em aterros das regiões.

Vale ressaltar que é de grande importância o interesse das concreteiras na reciclagem dos resíduos (JOHN, 2000). Vários fatores colaboram com isto. Em primeiro lugar, o processo de reciclagem somente será possível se o reciclador tiver confiança na estabilidade do fornecimento de sua matéria-prima (o resíduo) por

período suficientemente longo para amortizar o investimento.

Em segundo lugar, para desenvolver o processo de reciclagem são necessárias informações sobre os processos internos da empresa que define as características dos resíduos. Em terceiro lugar, a reciclagem vai exigir uma mudança na cultura da empresa geradora. Embora dificilmente o resíduo venha a ser uma mudança na cultura da empresa geradora, esta será cobrada quanto volume, manutenção da qualidade, desvio padrão, entre outros fatores comerciais, mas vale destacar que a geradora não vai colocar o resíduo como produto principal.

Os resíduos gerados das concreteiras são originados a partir de vários tipos de concreto, onde variam o fck, o traço, a quantidade e tipo de cimento, a quantidade e origem dos agregados graúdos e miúdos e de seus aditivos (plastificantes ou superplastificantes, retardadores e aceleradores de pega). De acordo com Salas (1987), considera-se que alguns pré-requisitos devem ser estabelecidos quando da utilização de resíduos em blocos de concreto, nos quais pode-se destacar:

- O concreto deve apresentar trabalhabilidade adequada, sem haja alteração de propriedades mecânicas;
- A tecnologia envolvida para implementação efetiva do produto deve ser facilmente assimilada;
- Deve haver um mínimo de investimento em equipamentos para produção.

3.4.1 Volume produzido de Concreto

Dados da ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (2006) demonstram que as concreteiras da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) produzem mensalmente volume aproximadamente de 52.000 m³ e gera em torno 0,5% dos resíduos do volume comercializados. Em acompanhamento e pesquisa em Concreteiras da RMBH, foi observado e medido, que estes volumes ultrapassam a 10%. É interessante ressaltar que o acompanhamento foi realizado em três concreteiras de formatos diferentes de gestão, sendo duas de capital nacional e concentrada em quatro capitais e a outra de capital estrangeiro que possui o maior número de unidades em Minas Gerais. É importante também lembrar que existe a sazonalidade da produção, como é o caso de toda a cadeia da indústria de construção civil, sendo que no período de dezembro a meados de março de cada ano ocorre uma redução do volume de concreto produzido, foto abaixo mostra o resíduo de concreto de quatro dias de serviço.



Figura 2 – Resíduo de Concreto

Fonte: Foto produzida pelo autor

Segundo uma análise recente do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, observa-se uma perda média de 9% para o concreto dosado em Central (teoricamente necessário/efetivamente consumido) contabilizada por notas fiscais recebidas. Já na Europa o volume desperdiçado fica em torno de 1 a 4% em relação do volume total dosado.

Estimativas da ABESC (2007), para a região metropolitana de São Paulo apontam para um volume entre 3.500 m³ a 7.000 m³ de concretos residuais são produzidos por centrais.

As organizações estão cada vez mais preocupadas com a gestão dos contratos, o ambiente operacional vem se tornando mais complexo a cada dia, questão de sobrevivência no mercado atual que é muito agressivo, mas por se tratar de uma

reciclagem de resíduos de concreteiras, ainda não existem dados precisos quanto ao custo de equipamentos, mão-de-obra e material (água para decantação).

Estima-se que a geração de resíduo fica entre 1,5 a 3,5% do custo total do processo de produção do concreto industrializado mundial.

3.5 Riscos de Contaminação Ambiental

Sobras de concreto ainda são uma das maiores preocupações das centrais dosadoras. Normalmente o processo de “reciclagem” ocorre como descrito a seguir.

O concreto que retorna para a central é reutilizado em pavimentação do pátio de manobra e em outros produtos sem fim estrutural, como blocos de separação e ou divisa. É feita a partir da separação dos agregados e do tratamento da água com o cimento. Ao final do processo, ainda sobra um resíduo inerte não-aproveitável. Na decantação ocorre uma contaminação física da água. Poucas usinas utilizam a água tratada na execução do concreto. Normalmente é utilizada água limpa.

A análise e quantificação dos resíduos são realizadas para que cálculos de perda de material, de custos com transporte e de disposição de aterro comum e especial de resíduos sejam apurados. Para um cálculo correto deve-se observar a legislação local e solicitar um mapeamento dos locais onde os resíduos devem ser depositados. Baixa geração de resíduos implica em redução de custo e baixo impacto ambiental.

3.6 Resíduos de Polimento de Porcelanato

3.6.1 Histórico do Porcelanato

O grês porcelanato foi concebido na região de Sassuolo (Itália) no final da década de 1970, graças ao pioneirismo de algumas empresas (Casalgrande, Padana, Nordica, Mirage, Flaviker, Graniti Fiandre) que perceberam o potencial comercial do referido produto, enquanto as demais indústrias trabalhavam para adaptar suas plantas para processar, via monoqueima, massas de coloração vermelha.

Nesta época as empresas da região de Sassuolo estavam experimentando um período de transformações oriundas do processo de implantação dos fornos a rolos para ciclos rápidos de queima. Neste período foram concebidos os primeiros produtos de massa vermelha com qualidade técnica comparável aos porcelanatos. As características técnicas destes produtos eram: absorção de água inferior a 3%, resistência à flexão superior a 35 MPa e alta resistência ao gelo. Com a enorme popularidade dos revestimentos cerâmicos obtidos via monoqueima e os indicativos cada vez maiores da necessidade de aumento da produção, as empresas tiveram que tomar uma ação radical. A forma mais viável de aumentar a produtividade era aumentar a velocidade do ciclo de queima, o qual passou de 60 minutos para 35 minutos.

Porém, para se reduzir o ciclo de queima era necessário trabalhar com massas de coloração mais clara, as quais se adaptavam melhor à queima rápida.

Mas com o aumento cada vez maior da produção e menor disponibilidade das

matérias-primas de coloração branca, e visando reduzir o custo de produção, as indústrias passaram novamente a utilizar as matérias-primas cada vez menos branca e menos pura. Este fato fez com que os produtos apresentassem uma queda em sua qualidade.

Diante deste quadro foi necessário criar um produto que não se enquadrasse na terminologia de monoqueima, que era freqüentemente questionada pelos varejistas e consumidores quanto à qualidade dos produtos.

Então para eliminar esta imagem negativa dos produtos via monoqueima que se instalou na Itália, as empresas de Sassuolo desenvolveram o produto “grês porcelanato”, produto com alta resistência mecânica e ao impacto e com garantia definitiva de resistência ao congelamento. Iniciava assim, uma grande revolução tecnológica na Itália que, obviamente, influenciaria o resto do mundo.

3.6.2 O Porcelanato

O Porcelanato é um produto cerâmico declarado pela Norma ISO 13006/NBR13818 com especificação B1a significando material prensado com absorção de água menor ou igual a 0,5%. Possui altíssima resistência mecânica, ao risco e ao ataque químico. Normalmente podemos encontrar no mercado a classificação de esmaltado ou técnico (polido ou não) sendo que para o esmaltado admite-se uma absorção de água de até 0,5% e para o técnico menor ou igual que 1%. Uma massa de porcelanato é composto por mistura de argilas, feldspatos, areias feldpáticas e algumas vezes caulins, filitos e aditivos.

Dentre as tipologias mais comuns do porcelanato encontramos as seguintes: monocores, granitados (sal e pimenta), macrogranitados, duplo carregamento e sais solúveis.

3.6.2.1 Processo de Fabricação

É iniciado com a dosagem das matérias-primas, mediante de um traço ou formulação pré-definida, passando por um controle rigoroso na liberação das matérias-primas. A moagem de porcelanatos deve proporcionar elevada finura e, conseqüentemente, elevada gresificação e valor de absorção de água praticamente nulo. Vale ressaltar que uma moagem não eficiente pode comprometer a reatividade da massa durante a queima e conseqüentemente arrancamento de partículas durante a etapa de polimento além do afloramento de poros fechados à superfície o que tem relação direta com o encardimento após o desgaste superficial da placa. A resistência mecânica também está relacionada com o tamanho dos microporos gerados no interior da peça.

3.6.2.2 Processo de Polimento

Chega o processo de onde origina o resíduo que faz parte deste estudo. O polimento é feito por um equipamento dotado de várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos onde em rotação com o material executa o polimento. Em geral o polimento do porcelanato é feito em três etapas:

- 1ª etapa: Responsável pelo desgaste acentuado da peça onde ocorre o nivelamento da superfície peça;
- 2ª etapa: Esta ocorre a preparação para o polimento, onde são apagados os riscos ou ranhuras causadas pela etapa anterior;
- 3ª etapa: Onde acontece o polimento propriamente dito, geralmente as peças não possuem riscos e começam a receber o brilho.

A seguir é apresentado o fluxograma da produção do grês porcelanato.

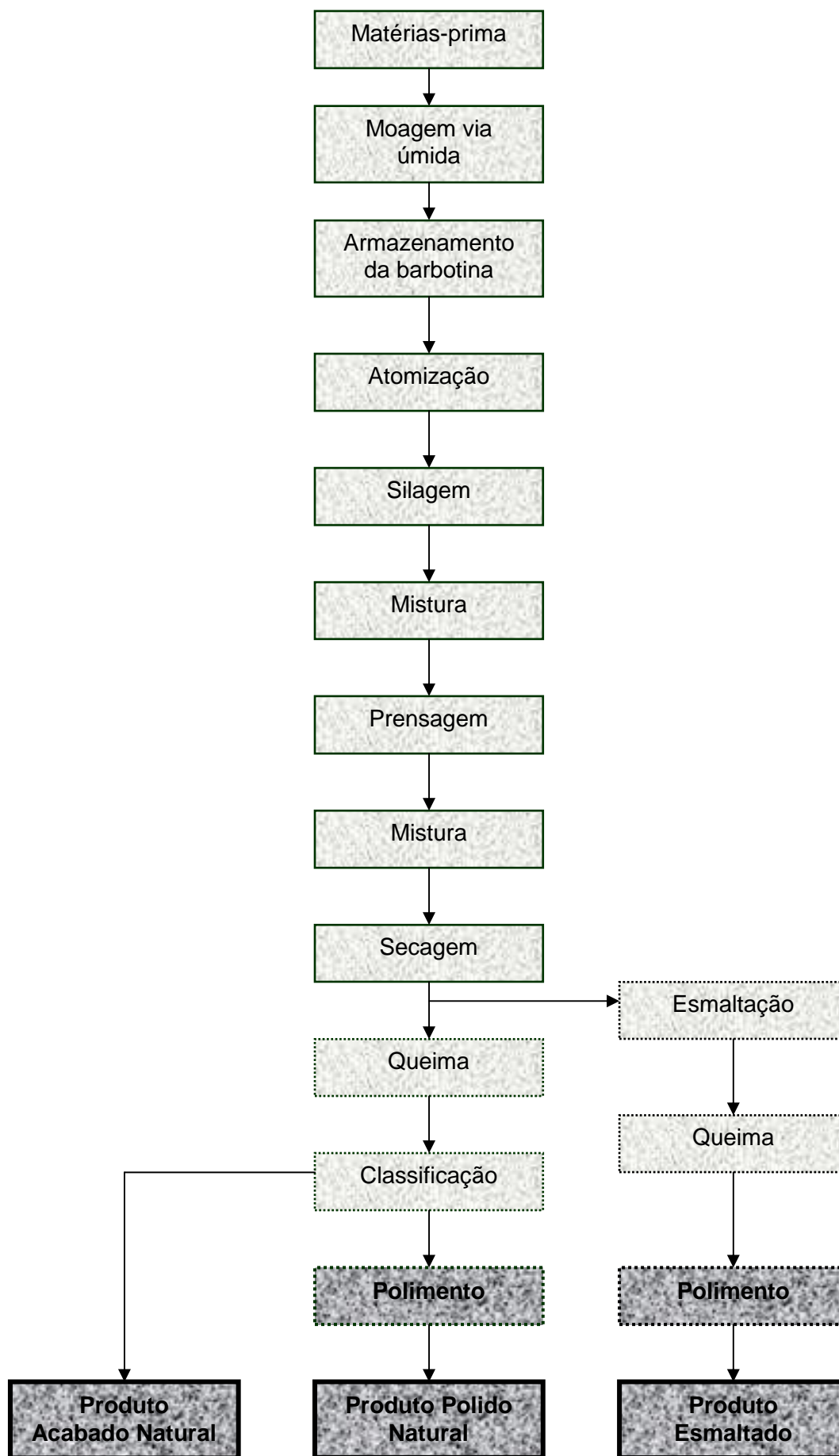


Figura 3 – Fluxograma da Produção do Grês Porcelanato

Fonte: Produzida pelo autor

3.6.3 Quantidade de Resíduos de polimento de Porcelanato gerado

Mensalmente na fábrica de cerâmicas e porcelanatos da Cecrisa em Santa Luzia (MG), são gerados aproximadamente 600 toneladas de resíduo úmido.

John (1997) cita que os resíduos gerados pelos diferentes processos econômicos são a principal fonte de degradação ambiental. Afirma também o mesmo autor, que a indústria da construção civil consome grandes volumes de matérias-primas e está distribuída em todas as regiões do país. As produções dos materiais tradicionais da construção civil consomem significativo volume de energia, consomem recursos limitados, envolvem grandes volumes de extração mineral e geram poluição.

Não existem registros de utilização ou re-utilização dos resíduos de polimentos de porcelanatos em escalas menores e ou industriais, o que é gerado é destinado para os aterros, mas existem estudos que comprovam a evidência e a veracidade da utilização.

3.7 Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição

A Resolução nº. 307, emitida pelo CONAMA, estabelece que:

Art.3º - Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito dessa RESOLUÇÃO, da seguinte forma:

I. Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de*

outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

- *De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto;*

- *De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzido nos canteiros-de-obras.*

II. Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

III. Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV. Classe D – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

De acordo com Grigoli (2001) pode-se classificar o entulho em duas porções bem caracterizadas: os entulhos não recicláveis e os entulhos recicláveis. Os entulhos recicláveis podem ser entendidos como:

- A fração areias, as areias circuladas e perdidas no canteiro sem serem operacionalizadas;
- Da mesma forma pedras, as pedras circuladas e perdidas no canteiro sem serem operacionalizadas;
- O concreto, fração perdida quando da concretagem de peças estruturais, onde não são encontrados na forma estrutural, a não ser em pedaços de tamanhos variados, acessíveis a desmonte com auxílio de marretas e picaretas manuais;

- As cerâmicas, as perdas de blocos cerâmicos na forma de entulho quando da operacionalização dos mesmos no canteiro, quando das quebras durante assentamento e quando do corte das alvenarias para a passagem de tubulações afins;
- As argamassas, as perdas de porções de argamassas e cimento, cal e areia, utilizadas nos assentamentos de cerâmicas, no emboço e no reboco, assentamento de cerâmicas afins e argamassas de cimento e areia, utilizadas nos chapiscos, assentamentos de batentes, esquadrias e revestimentos afins, assim como também, frações miúdas de concretos perdidos e/ou quebrados no canteiro;
- Vidro/cerâmica esmaltada, fração perdida quando dos acabamentos dos fechamentos em vidros e em cerâmicas de piso e paredes, sendo comum apresentarem-se em tamanhos cuja dimensão máxima não exceda a 100,00 mm;
- Metais, fração perdida quando do corte com sobras de pontas de ferragens e arames de amarração e ponteamto.

Segundo John & Agopyan (2002), os resíduos de construção são constituídos de uma ampla variedade de produtos, que podem ser classificados em:

- Solos;
- Materiais cerâmicos: rochas naturais; concreto; argamassa a base de cimento e cal; resíduos de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas; cerâmica branca, especialmente a de revestimento; cimento-amianto; gesso-pasta e placa; vidro;

- Materiais metálicos como aço para concreto armado, latão chapas de aço galvanizado; e,
- Materiais orgânicos, como madeira natural ou produtos industrializados; plásticos diversos; materiais betuminosos; tintas e adesivos; papel de embalagem; restos de vegetais e outros produtos de limpeza de terrenos.

3.8 Consumo de Recursos Naturais pela Construção Civil

A construção civil é responsável por mais de 15% do PIB brasileiro e é diretamente proporcional ao impacto ambiental.

Para John (1999), o consumo de recursos naturais da construção civil em determinada região depende de fatores como: (a) taxa de resíduos gerados; (b) vida útil ou taxa de reposição das estruturas construídas; (c) necessidades de manutenção, inclusive as manutenções visam corrigir falhas construtivas; (d) perdas incorporadas nos edifícios; (e) tecnologia empregada.

Segundo Pinto (1999), nas grandes cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50% do entulho gerados na construção e demolição (RCD), enquanto que a atividade de demolição e manutenção é responsável pela outra metade.

3.8.1 Consumo de Energia e Poluição Ambiental

O consumo de energia pela construção civil tem consumo maior em sua vida útil do que na sua construção. Entretanto, observa-se que na fase de implantação é gerado um considerável volume de poluição ambiental, sob a forma de resíduos sonoros e particulados respiráveis. A construção civil é certamente o maior gerador de resíduos de toda a sociedade. O volume de entulho de construção e demolição gerado é até duas vezes maiores que o volume de lixo sólido urbano segundo dados fornecidos pelo Guia da Sustentabilidade na Construção produzido pela FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (2008). Na grande maioria das vezes a reciclagem pode reduzir o consumo de energia na produção de materiais. A reciclagem de sucata de aço permite a produção de um novo aço consumindo apenas aproximadamente 70% da energia gasta para produção a partir de materiais primas naturais. Já a utilização de sucata de vidro como matéria prima para a produção de vidro reduz apenas em cerca de 5% o consumo de energia.

Segundo dados mundiais as cimenteiras adotam que a substituição do clínquer Portland em 50 % por escória de alto forno permite uma redução de cerca 40% no consumo de energia.

Determinar a energia consumida na fabricação de materiais de construção implica em conhecer os processos onde ela é utilizada. A primeira relação que normalmente se faz entre energia e habitação refere-se às formas de energias que chegam usualmente às nossas casas: eletricidade, gás (GLP ou gás natural) e lenha. Porém o consumo de energia para se construir uma habitação começa antes mesmo de esta começar a existir.

A produção de materiais para construção é, talvez, a mais importante fonte de poluição, na fabricação de cal, blocos de concreto, aço e a cimento Portland. De acordo as cimenteiras, existem dados internacionais que, para produção de 1,0 tonelada de cimento Portland, são liberados aproximadamente ½ tonelada de CO₂ na atmosfera.

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado, é um caminho sem volta, pois esta sustentada no tripé da sociedade: governo, empresas e consumidores que cada vez mais estimulam e pressionam o setor da construção civil. A definição mais utilizada foi desenvolvida pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento que também é conhecida como Comissão de Brundtland: “Desenvolvimento sustentável é o tipo de desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades”.

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - AsBEA e o Conselho de Construção Sustentável - CBCS, apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável:

- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- Implantação e análise do entorno;
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;

- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Uso de matérias prima que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

3.9 Histórico do Cimento

A palavra Cimento é originada do latim *caementu*, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John

Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

No Brasil, a primeira tentativa de aplicar os conhecimentos relativos à fabricação do cimento Portland ocorreu aparentemente em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica em sua fazenda em Santo Antônio (SP). Posteriormente, várias iniciativas esporádicas de fabricação de cimento foram desenvolvidas. Assim, chegou a funcionar durante três meses em 1892 uma pequena instalação produtora na ilha de Tiriri, na Paraíba. A usina de Rodovalho operou de 1897 a 1904, voltando em 1907 e extinguindo-se definitivamente em 1918. Em Cachoeiro do Itapemirim, o governo do Espírito Santo fundou, em 1912, uma fábrica que funcionou até 1924, sendo então paralisada, voltando a funcionar em 1936, após modernização.

Todas essas etapas não passaram de meras tentativas que culminaram, em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento Portland de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento. As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926. Até então, o consumo de

cimento no país dependia exclusivamente do produto importado. A produção nacional foi gradativamente elevada com a implantação de novas fábricas e a participação de produtos importados oscilou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias de hoje.

3.9.1 Produção do Cimento

Segundo Mehta (1994), os cimentos hidráulicos são definidos como 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.

Necessariamente a produção do cimento é dividida na extração, homogeneização com correções, moagem de cru (farinha), clínquerização e moagem do cimento, onde são feitas as adições.

O calcário é composto basicamente de carbonato de cálcio (CaCO_3), encontrado abundantemente na natureza. É empregado como elemento de preenchimento, capaz de penetrar nos interstícios das demais partículas e agir como lubrificante, tornando o produto mais plástico e não prejudicando a atuação dos demais elementos. O calcário é também um material de diluição do cimento (adições), utilizado para reduzir o teor de outros componentes de maior custo, desde que não ultrapassando os limites de composição ou reduzindo a resistência mecânica a níveis inferiores ao que estabelece a norma ou especificação. Após a extração do

argical (mix de argila e calcário) o mesmo é direcionado para os moinhos de cru ou farinha, dando origem ao argical moído com algumas correções.

3.9.1.1 Clinquerização

A maioria dos fornos de cimento operantes no Brasil conta com torres de pré-aquecimento, responsáveis por remover a umidade ainda restante no material após o processo de moagem além de iniciar a calcinação do material. Havendo pré-aquecimento, o processo de produção é chamado processo de via seca, mais eficiente e rápido em relação aos processos de via úmida, onde a matéria prima é alimentada diretamente ao forno. Isto se deve às transferências de calor e massa mais eficientes ocorridas na torre, permitindo o emprego de fornos de menor comprimento.

Os pré-aquecedores mais encontrados são torres de ciclones, dispostos em elevadas estruturas (que freqüentemente ultrapassam 100 metros de altura). As torres de ciclones são capazes de retirar partículas sólidas de uma corrente de gases e são interligados entre si através de dutos de imersão utilizados para troca térmica que ocorre em torno de 80% entre a farinha alimentada e gases quentes proveniente do forno. Através da seqüência de ciclones fluem os gases quentes provenientes do forno, em contracorrente com a matéria prima. À medida que esta se mistura com o fluxo de gases, ocorre transferência de calor e transferência de massa. Nos primeiros trechos do processo elimina-se a umidade superficial, enquanto a temperatura permanece próxima à temperatura de ebulição da água. A partir deste ponto, o material sólido contendo apenas umidade intergranular passa a

ser aquecido gradativamente. No fim do processo, o material atinge de 700°C a 1000°C, suficiente para que a água esteja eliminada e para se iniciarem decomposições químicas da matéria-prima.

Na busca de maior produção e redução de custo estudos deram origem a mais um estágio no pré-aquecedor conhecido como calcinador, responsável por 60% a 95% da calcinação da farinha crua nos fornos rotativos para cimento, baixando a carga térmica na zona de queima e como consequência aumentando da vida útil do revestimento refratário.

Há dois principais tipos de resfriadores empregados atualmente. Os fornos mais antigos ainda operantes utilizam resfriadores satélites, cilindros menores solidários ao movimento de rotação do forno, acoplados à carcaça do mesmo. Já os fornos construídos a partir da década de década de 1980 geralmente são dotados de resfriadores de grelha, com ventilação forçada, possibilitando maior taxa de transferência de calor entre o clínquer e o ar entrante. Desta forma, se reduz a temperatura de saída do material, recuperando parte da energia associada ao mesmo, aumentando a eficiência do sistema.

3.9.1.2 Forno

A maior parte das reações de descarbonatação e formação de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio ocorrem no interior do forno de cimento. Os fornos de cimento são na maioria rotativos, cilindros horizontais de até 160 metros de comprimento. Um leve ângulo de inclinação combinado ao lento movimento de rotação (de 0,5 a

4,0 rpm) permite que o material percorra o cilindro a medida que desliza pelas paredes. Internamente, há um revestimento de material refratário que protege a carcaça do forno das altas temperaturas e conservam o calor no seu interior. A matéria prima permanece no forno por um tempo de aproximadamente 4 horas e atinge temperaturas superiores a 1400°C, suficientes para torna-la incandescente e pastosa. A capacidade de produção de um forno médio é 3.000 a 4.000 toneladas por dia, os maiores fornos do mundo produzem até 10.000 toneladas.

3.9.1.3 Resfriador

Além da eficiência energética, os resfriadores têm suma importância na qualidade do produto. O tempo e o perfil de resfriamento do mesmo são essenciais para a determinação de suas propriedades químicas finais. Lentos processos de resfriamento levam à transformação de silicato tricálcico, instável à alta temperatura, em silicato dicálcico o que diminui a resistência do cimento.

Hoje os resfriadores modernos além de propiciar uma ótima troca térmica também possibilitam a recuperação de gases quentes que são reutilizados no processo de fabricação. O que seria o ar secundário auxilia na combustão na zona de queima, ar terciário auxilia na combustão do calcinador e o ar de excesso, em alguns casos, auxilia na troca de calor do moinho de matéria prima.

O produto clínquer ainda é moído e diluído em gesso, calcário e/ou escória siderúrgica para se chegar ao produto final.

A produção de cimento é altamente intensiva no consumo de combustível.

Geralmente utiliza-se uma combinação de diversos produtos como óleo, coque de petróleo e resíduos industriais. Cerca de 7% das emissões de CO₂ no planeta são decorrentes da produção de cimento, devido à combustão e ao processo de descarbonatação da matéria-prima.

3.9.1.4 Combustíveis Utilizados

Aproveita-se as altas temperaturas e o tempo de permanência dos gases no forno para se empregarem combustíveis de difícil utilização queima como pneus picados. Em outras condições, este tipo de combustível poderia emitir altas concentrações de substâncias extremamente tóxicas (tais como dioxinas e furanos devido à queima incompleta). Além disso, o calcário e a cal contidos na mistura têm a característica de reagir com o enxofre proveniente dos combustíveis, evitando maiores emissões de óxidos de enxofre na atmosfera e prevenindo, por exemplo, a ocorrência de chuva ácida.

3.9.1.4 Clínquer

O clínquer é o principal item na composição de cimentos Portland, sendo a fonte de Silicato Tricálcico (CaO)₃SiO₂ e Silicato Dicálcico (CaO)₂SiO₂ de acordo com a tabela 1. Estes compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

A produção do clínquer é o núcleo do processo de fabricação de cimento, sendo a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo. As matérias-primas são abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo aproximadamente 93% de calcário, 7% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro conforme apresentada na tabela 1 abaixo.

Principais compostos químicos do clínquer:

TABELA 1
Compostos Químicos do Clínquer

Silicato Tricálcico $(CaO)_3SiO_2$	45-75%
Silicato Dicálcico $(CaO)_2SiO_2$	7-35%
Aluminato Tricálcico $(CaO)_3Al_2O_3$	0-13%
Aluminato Tetracálcico $(CaO)_4Al_2O_3$	0-18%

Fonte:

3.9.2 Adições

3.9.2.1 Gesso

O gesso ($CaSO_4 \cdot 2 H_2O$) é adicionado em quantidades geralmente inferiores a 3% da massa de clínquer, tem função de controlar o tempo de pega do cimento (tempo para início do endurecimento). Sem esta adição, o tempo de pega do cimento seria

de poucos minutos, inviabilizando sua utilização. Devido a isto, o gesso é uma adição obrigatória, presente desde os primeiros tipos de cimento Portland.

3.9.2.2 Escória Siderúrgica

A escória, de aparência semelhante a areia grossa, é um sub-produto de alto-fornos, obtida na fabricação do aço. Dentro de diversas impurezas como outros metais, se concentram na escória silicatos, que apesar de rejeitados no processo de metalização, proporcionam-lhe características de ligante hidráulico.

Sendo um sub-produto, este material tem menor custo em relação ao clínquer e é utilizado também por elevar a durabilidade do cimento, principalmente em ambientes com presença de sulfatos. Porém, a partir de certo grau de substituição de clínquer a resistência mecânica sofre redução.

3.9.2.3 Argila Pozolânica

As pozolanas ativadas reagem espontaneamente com CaO em fase aquosa, por conterem elevado teor de sílica ativa SiO_2 . Esta característica levou ao uso de pozolanas como ligante hidráulico complementar ao clínquer, com a característica de tornar os concretos mais impermeáveis, o que se apresenta útil na construção de barragens, por exemplo.

As pozolanas são materiais com origens diferentes, mas com composições

semelhantes. Também são considerados pozolânicos materiais ativados artificialmente como argilas calcinadas, cinzas volantes e outros e alguns subprodutos industriais como cinzas volantes provenientes da queima de carvão mineral.

O processo de ativação de argilas é amplamente praticado pela própria indústria de cimentos, é geralmente realizado em fornos rotativos semelhantes àqueles utilizados na fabricação de clínquer ou mesmo em antigos fornos de clínquer adaptados, trabalhando a temperaturas mais baixas (até 900°C) e menor tempo de residência.

Assim como a escória siderúrgica, as pozolanas frequentemente têm menor custo comparadas ao clínquer e só podem substituí-lo até um determinado grau.

3.10 Cimentos produzidos no Brasil

3.10.1 Cimentos produzidos

A variação de usos e de desempenhos dos cimentos no Brasil é bem ampla. As propriedades agregadas nos cimentos variam em relação as quantidades e qualidade das matérias-primas, qualidade das adições e pequeno desvio padrão em todo o processo de fabricação: moagem do cru, homogeneização, produção do clínquer e finalmente a moagem do cimento.

A ABNT NBR5732 caracteriza o cimento como “ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer portland ao qual se adiciona durante a operação, a quantidade

necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio”.

O mercado brasileiro dispõe de oito opções, sendo que o cimento Portland comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, aos 11 tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado nacional para diversas aplicações. São eles:

- *Cimento Portland Comum CP I e CP I-S (NBR 5732)*: um tipo de cimento portland sem quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega) é muito adequado para o uso em construções de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. O Cimento Portland comum é usado em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Também é oferecido ao mercado o Cimento Portland Comum com Adições CP I-S, com 5% de material pozolânico em massa, recomendado para construções em geral, com as mesmas características.
- *Cimento Portland CP II (NBR 11578)*: o Cimento Portland Composto é modificado. Gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento Portland Comum. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. Veja as recomendações de cada tipo de CP II:

- a) Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozolânico): empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. E para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável.
- b) Cimento Portland Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno): composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland com adições (alto-forno e pozolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos.
- c) Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático - fíler): para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.
- *Cimento Portland de Alto Forno CP III – (com escória - NBR 5735)*: apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Mas

é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

- *Cimento Portland CP IV – 32 (com pozolana - NBR 5736)*: para obras correntes, sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum, a idades avançadas. Apresenta características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de concreto devido ao baixo calor de hidratação.
- *Cimento Portland CP V ARI (Alta Resistência Inicial - NBR 5733)*: com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as

pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade.

- *Cimento Portland CP (RS) - (Resistente a sulfatos - NBR 5737):* o CP-RS oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Pode ser usado em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, obras de recuperação estrutural e industriais, concreto projetado, armado e protendido, elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. De acordo com a norma NBR 5737, cinco tipos básicos de cimento - CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI - podem ser resistentes aos sulfatos, desde que se enquadrem em pelo menos uma das seguintes condições:
 - a) Teor de aluminato tricálcico (C_3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
 - b) Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
 - c) Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de

material pozolânico, em massa;

d) Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

- *Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) - (NBR 13116)*: o Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.
- *Cimento Portland Branco (CPB) – (NBR 12989)*: o Cimento Portland Branco se diferencia por coloração, e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a

pigmentos coloridos.

Além de diferir das condições de moagem e adições, podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca etc. Segundo a ABNT, o próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I-S), neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou fíler calcário e o restante de clínquer. O Cimento Portland Composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e filer, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I-S. Já o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 70% (CP III), e pozolana de 15% a 50% (CP IV), de acordo com a tabela 2 apresentada a seguir:

TABELA 2

Tipos de Cimento Portland produzidos no Brasil

Tipos de Cimento Portland	Sigla	Composição % massa			
		Clínquer	Escória	Pozolana	Materiais Carbonáticos
CP comum	CPI	100	0	0	0
CP com adição	CPI-S	95-99	0	1 – 5	0
CP com escória	CP II-E	56-94	6-34	0	0-10
CP com pozolana	CP II-Z	76-94	0	6-14	0-10
CP com filer	CP II-F	90-94	0	0	6-10
CP de alto forno	CP III	25-65	35-70	0	0-5
CP pozolânico	CP IV	50-85	0	15-50	0-5
CP de alta resistência inicial	CPVARI	95-100	0	0	0-5

FONTE: ABCP (Associação Brasileira Cimento Portland)

3.11 Tabela de Produção por Região

Em 2008 o setor de construção civil registrou um ótimo desempenho. Segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais – Sinduscon/MG, foi registrado crescimento pelo quinto ano consecutivo, apesar do turbulência causada pela crise financeira em setembro de 2008. De acordo com levantamentos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a construção civil até setembro teve um crescimento acumulado, em comparação com o mesmo período de 2007, de 10,2% no país e de 7,68% em Minas Gerais. Estes indicativos confirmam as informações apresentadas pela SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento). De acordo com as tabelas 3 e 4 a produção nacional concentra-se na maior parte na região sudeste, e Minas Gerais destaca-se como maior produtor de cimento do Brasil.

TABELA 3
Produção Nacional 2007

REGIÃO	PRODUÇÃO (Toneladas)
Norte	1.617.934
Nordeste	9.398.756
Centro-oeste	5.221.568
Sudeste	23.574.557
Sul	6.661.146
TOTAL	46.473.961

Fonte: SNIC 2009

TABELA 4
Produção Nacional 2008

REGIÃO	PRODUÇÃO (Toneladas)*
Norte	1.304.302
Nordeste	6.456.117
Centro-oeste	3.593.901
Sudeste	17.229.930
Sul	5.232.166
TOTAL	33.816.416

Fonte: SNIC 2009 *(Janeiro a Agosto/2008)

A tabela 5 mostra que o perfil dos consumidores no Brasil apresenta distribuição nos consumidores industriais com o “share” de 26% e as vendas com a maior participação com 61%, nas regiões sudeste e sul os mesmos perfis possuem um comportamento diferente do restante do Brasil com 30,5% e 35% nos consumidores industriais e 59,60% e 54% respectivamente. Este perfil de distribuição mostra claramente a diferença de desenvolvimento das regiões, a região sul aparece disparada com o consumo do cimento voltado para consumidores industriais com aproximadamente 62% do consumo, seguida da sudeste com 51%, já as regiões Norte com 19%, Centro-oeste 37% e a Nordeste com 16%.

TABELA 5
Perfil da Distribuição do Cimento Portland por Regiões Geográficas
(Tonelada)*

	NORTE	NORDESTE	C-OESTE	SUDESTE	SUL	TOTAL
1. REVENDEDORES	1.792.002	4.698.110	2.285.848	11.240.488	3.472.307	23.488.755
2. CONSUMIDORES INDUSTRIAIS	332.601	743.674	863.368	5.760.362	2.254.327	9.954.332
2.1 CONCRETEIRAS	209.384	372.647	549.860	3.712.188	1.150.395	5.994.474
2.2 FIBROCIMENTO	65.153	61.039	106.292	277.687	402.342	912.513
2.3 PRÉ-MOLDADOS	4.936	161.394	73.270	637.782	60.010	937.392
2.4 ARTEFATOS	25.073	95.444	106.461	702.878	555.478	1.485.334
2.5 ARGAMASSAS	28.055	53.150	27.485	429.827	86.102	624.619
3. CONSUMIDORES FINAIS	263.672	1.061.889	635.845	1.468.598	482.903	3.912.907
3.1 CONST. E EMPREITEIRAS	263.408	1.059.236	582.831	1.419.842	478.434	3.803.751
3.2 ÓRGÃOS PÚBLICOS/ESTATAIS	264	2	173	1.094	2.700	4.233
3.3 PREFEITURAS	-	2.651	52.841	47.662	1.769	104.923
4. IMPORTAÇÃO	124.615	4.867	270	34.439	55.145	219.336
5. AJUSTES	-	162.000	-	363.000	135.000	660.000
TOTAL NACIONAL	2.512.890	6.670.540	3.785.331	18.866.887	6.399.682	38.235.330

Fonte: SNIC 2009 *(Janeiro a Setembro/2008)

3.12 Crédito de Carbono no Brasil

Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE). Atualmente as cimenteiras são responsáveis por 5% das emissões de CO₂ no mundo. Para a produção de 1 tonelada de cimento, é lançada ao ar 0,6 tonelada de dióxido de carbono (CO₂). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono

(CO₂) equivalente corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional, que possuem algumas particularidades: “O Comércio Internacional de Emissões (CIE) ou Comércio de Emissões é um mecanismo de flexibilização previsto no artigo 17 do Protocolo de Kyoto pelo quais os países compromissados com a redução de emissões de gases do efeito estufa podem negociar o excedente das metas de emissões entre si. Este mecanismo permite que países que não alcancem a sua meta de redução possam utilizar o excedente de redução de outro país compromissado, ou seja, que também tenha metas em relação ao Protocolo de Kyoto”. Este mecanismo de flexibilização, no âmbito do Protocolo de Quioto, somente pode ser utilizado, pelo país adquirente, se este o contabilizar em conjunto com atividades de redução efetivamente implementadas, de modo a não permitir que algum país apenas "compre" a redução de outros países sem reduzir suas próprias.

A redução da emissão de outros gases que também contribuem para o efeito estufa também pode ser convertido em créditos de carbono, utilizando o conceito de Carbono Equivalente.

Créditos de carbono criam um mercado para a redução de GEE dando um valor monetário à poluição. Acordos internacionais como o Protocolo de Kyoto determinam uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir. Os países por sua vez criam leis que restringem as emissões de GEE. Assim, aqueles países ou indústrias que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões, tornam-se compradores de créditos de carbono. Por outro lado, aquelas indústrias que conseguiram diminuir suas emissões abaixo das cotas determinadas, podem vender o excedente de "redução de emissão" ou "permissão de emissão" no mercado nacional ou internacional.

O Protocolo de Kyoto diz que “a redução dessas emissões deverá acontecer em várias atividades econômicas”. O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas ações básicas:

- Reformar os setores de energia e transportes;
- Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
- Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
- Limitar as emissões de metano no gerenciamento de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Proteger florestas e outros sumidouros de carbono.

O metano é um gás inodoro e incolor, sua molécula é tetraédrica e apolar (CH_4), de pouca solubilidade na água e, quando adicionado ao ar se transforma em mistura de alto teor explosivo. É o mais simples dos hidrocarbonetos.

Locais onde são encontrados:

- Emissão através de vulcões de lama e falhas geológicas;
- Decomposição de resíduos orgânicos;
- Fontes naturais (ex: pântanos);
- Extração de combustível mineral;
- Processo de digestão de animais herbívoros;

- Bactérias;
- Aquecimento ou combustão de biomassa anaeróbica.

Aproximadamente 60% da emissão de metano no mundo é produto da ação humana, vindo principalmente da agricultura. Durante os últimos 200 anos, a concentração deste gás na atmosfera aumentou de 0,8 para 1,7 ppm.

O metano é também chamado de biogás, pois pode ser produzido pela digestão anaeróbica de matéria orgânica, como lixo e esgoto, através de microorganismos chamados “archaea”.

As altas pressões, como as encontradas no fundo dos oceanos, o metano forma um clatrato sólido com a água. Uma quantidade desconhecida, mas provavelmente enorme de metano está presa no sedimento marinho nesta forma.

É o pilar básico da química orgânica, se conhecem cerca de 10 milhões de compostos de carbono, e forma parte de todos os seres vivos.

O carbono (do latim *carbo*, carvão) é um elemento químico, símbolo C de número atômico 6 (6 prótons e 6 elétrons) com massa atômica 12 u, e sólido a temperatura ambiente. Dependendo das condições de formação pode ser encontrado na natureza em diversas formas alotrópicas, carbono amorfo e cristalino em forma de grafite ou diamante. Pertence ao grupo (ou família) 14 (anteriormente chamada 4A).

Segundo Souza (2007), o principal uso industrial do carbono é como componente de hidrocarbonetos, especialmente os combustíveis como petróleo e gás natural; do primeiro se obtém por destilação nas refinarias gasolinas, querosene e óleos e, ainda, é usado como matéria-prima para a obtenção de plásticos, enquanto que o

segundo está se impondo como fonte de energia por sua combustão mais limpa.

Outros usos são:

- O isótopo carbono-14, descoberto em 27 de fevereiro de 1940, se usa na datação radiométrica.
- O grafite se combina com argila para fabricar a parte interna dos lápis.
- O diamante é empregado para a produção de jóias e como material de corte aproveitando sua dureza.
- Como elemento de liga principal dos aços (ligas de ferro).
- Em varetas de proteção de reatores nucleares.
- As pastilhas de carbono são empregadas em medicina para absorver as toxinas do sistema digestivo e como remédio para a flatulência.
- O carbono ativado se emprega em sistemas de filtração e purificação da água.
- O Carbono-11, radioativo com emissão de positrão usado no exame PET em medicina nuclear.
- O carvão é muito utilizado nas indústrias siderúrgicas, como produtor de energia e na indústria farmacêutica (na forma de carvão ativado)

3.13 Índice de Sustentabilidade Empresarial Bovespa

É público e notório que já a alguns anos existe uma tendência mundial de consumidores e investidores procurarem empresas socialmente responsáveis, sustentáveis e rentáveis para aplicar seus valores.

No Brasil a Bovespa entre outras instituições, decidiu unir esforços para criar um índice referencial para os investimentos socialmente sustentáveis – ISE – o Índice de Sustentabilidade Empresarial – ISE. Segundo a Bovespa, o ISE “tem como objetivo refletir o retorno de uma carteira composta por ações de empresas com reconhecido comprometimento com a responsabilidade social e a sustentabilidade empresarial, e também atuar como promotor de boas práticas no meio empresarial brasileiro”.

São diversos índices de desempenho do ISE, onde são abordados vários aspectos como:

- Dimensão Geral;
- Natureza do Produto;
- Dimensão de Governança Corporativa;
- Dimensão Econômico-financeira
- Dimensão Ambiental;
- Dimensão Social.

Estes índices são subdivididos em critérios e os critérios são novamente divididos e avaliados por diversos indicadores. Sabendo destas divisões e subdivisões para

avaliações de desempenho, a análise do processo de fabricação do piso intertravado com agregado reciclado e substituição de cimento por RPP, será feita no Critério III da Dimensão Ambiental nos seguintes indicadores:

- Indicador 8: Consumo de recursos ambientais – inputs.
- Indicador 9: Emissões e resíduos.
- Indicador 10: Emissões e resíduos críticos.
- Indicador 11: Seguro ambiental.

A seguir, segue questionário desenvolvido de acordo com o Critério III – Desempenho:

CRITÉRIO III – DESEMPENHO

Indicador 8: Consumo de recursos ambientais – Inputs

- Pergunta 17 – Qual a referência mínima de desempenho ambiental da companhia?

(P) Entende-se por referência mínima o menor nível de exigência normalmente estabelecido pela companhia e válido para todas as suas unidades, o que pressupõe que existam objetivos e metas estabelecidas em todas as unidades de monitoramento e verificação compatíveis.

() Não há referência mínima formalmente estabelecida para o desempenho ambiental da companhia.

() Conformidade legal.

() Conformidade legal + melhoria contínua voltada a eco-eficiência e à prevenção
`a poluição.

() Anterior + melhoria contínua voltada à produção mais limpa

- Pergunta 18 – Qual é a meta do desempenho da companhia em saúde e segurança ocupacional?

() Não há referência mínima estabelecida.

() Conformidade legal.

() Conformidade legal + foco na melhoria contínua com ênfase para prevenção de riscos ocupacionais.

() Anterior + melhoria de qualidade de vida dos empregados.

- Pergunta 19 – Não se aplica, pois são considerações da área administrativa.
- Pergunta 20 – Não se aplica, pois são considerações da área administrativa.
- Pergunta 20.1 – Não se aplica, pois são considerações da área administrativa.
- Pergunta 21 – A companhia tem programa implantado de reuso da água nos processos produtivos?

(P) Considerar uso de água no processo produtivo ou nas áreas do processo, podendo ou não ser consuntivo. Uso consuntivo implica na retirada da água do manancial em questão sem que haja retorno ao mesmo local, isto é, há consumo de água no processo. “Não se aplica” pode ser usado somente por companhias que utilizam água exclusivamente em atividades da área administrativa.

Sim.

Não.

Não se aplica.

- Pergunta 21.1 – Se SIM para pergunta 21, indique o percentual de reuso (em relação ao consumo total de água no processo produtivo):

Até 20%

20% a 40%

40% a 60%

Acima de 60%

Indicador 9: Emissões e Resíduos

- Pergunta 22 – Em qual condição se enquadra os efluentes líquidos da companhia:

(P) O atendimento às legislações, normas e requisitos aplicáveis inclui o atendimento a requisitos e exigências estabelecidas em atos administrativos (licenças ambientais, pareceres técnicos, comunicações formais dos órgãos competentes).

	Efluente Doméstico	Efluente de Processo
Não gera		
Gera, mas não pode garantir que o lançamento se dá em conformidade com a legislação aplicável		
Gera e pode garantir que o lançamento se dá em conformidade com a legislação e normas aplicáveis		
Gera, pode garantir que o lançamento se dá em conformidade com a legislação aplicável e pode comprovar que nos últimos 2 anos houve redução da carga poluidora lançada.		

- Pergunta 23 – Com relação às emissões atmosféricas, a companhia:

(P) O atendimento às legislações, normas e requisitos aplicáveis inclui o atendimento a requisitos e exigências estabelecidas em atos administrativos (licenças ambientais, pareceres técnicos, comunicações formais dos órgãos competentes).

() Não se aplica.

() Não monitora suas emissões ou monitora, mas não pode garantir que as mesmas estão em conformidade com a legislação, normas e requisitos aplicáveis.

() Monitora suas emissões e pode garantir e comprovar que as mesmas estão em conformidade com a legislação, normas e requisitos aplicáveis.

() A afirmação anterior é verdadeira e, além disso, a companhia pode comprovar, nos últimos 2 anos, a redução relativa (massa/produção) da carga de poluentes no ar.

- Pergunta 24 – Na tabela abaixo, selecione as células caso a ação indicada seja uma prática da companhia com relação à geração de resíduos sólidos:

(P) Para responder às questões relacionadas a resíduos sólidos deverão ser considerados as definições, os critérios e métodos de classificação de resíduos previstos na norma NBR10004/2004, publicada 31/05/2004 e válida a partir de 30/11/2004. Considera-se como prática da companhia a condição existente em todos os seus processos e unidades. A inexistência da prática em partes da companhia (sejam unidades ou processos) impossibilita a resposta afirmativa para o item.

AÇÃO DA COMPANHIA	Classe I	Classe IIA	Classe IIB
Não se aplica			
Inventário			
Metas anuais			
Metas de reuso ou reciclagem			
Monitoramento			
Garantia de conformidade legal			
Nenhuma ação			

Indicador 10: Emissões e resíduos Críticos

- Pergunta 25 – Indique qual a situação da companhia com relação às substâncias abaixo (utilizadas, geradas ou produzidas).

(P) Para responder às questões relacionadas a resíduos sólidos deverão ser considerados as definições, os critérios e métodos de classificação de resíduos previstos na norma NBR10004;2004, publicada 31/05/2004 e válida a partir de 30/11/2004. A produção de substâncias ou elementos inclui a produção direta (quando o processo produtivo se destina a sua produção ou quando o produto contém na sua formulação o elemento) e a produção indireta (quando a geração do poluente se caracteriza como uma externalidade do processo produtivo ou do serviço).

- Poluente Orgânico Persistente (POP)

() Não desenvolve ação específica.

() Faz inventario e monitora.

() Faz inventario e monitora e possui metas anuais de redução para todas as formas de utilização ou produção.

() Anterior + tem como meta eliminar o uso ou produção

() Não utiliza nem produz.

- Metais Pesados

() Ação específica.

() Faz inventario e monitora.

() Faz inventario e monitora e possui metas anuais de redução para todas as formas de utilização ou produção.

() Não gera emissões ou resíduos com metais pesados.

- Radioativas

() Não desenvolve ação específica.

() Faz inventário e monitora.

() Faz inventário e monitora e possui metas anuais de redução para todas as formas de utilização ou produção.

() Não utiliza nem produz.

- Substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO)

() Não desenvolve ação específica.

() Faz inventário e monitora.

() Faz inventário e monitora e possui metas anuais de redução para todas as formas de utilização ou produção.

() Faz inventário e monitora e possui programa de redução de uso e produção, de acordo com metas do Protocolo de Montreal.

() Não utiliza nem produz.

- Outras substâncias perigosas

() Não desenvolve ação específica.

() Faz inventário e monitora.

() Faz inventário e monitora e possui metas anuais de redução para todas as formas de utilização ou produção.

() Faz inventário e monitora e possui meta eliminar o uso ou produção.

() Não utiliza nem produz.

3.14 Impacto Ambiental do Trabalho

Em análise do volume consumido em 2007 pelos fabricantes de pisos intertravados com a substituição do cimento por com 20% do volume por RPP teríamos 64.352t em crédito carbono conforme a tabela 06.

TABELA 6

Consumo de cimento e emissão de CO₂

PISOS INTERTRAVADOS X EMISSÃO CO₂	
Artefatos-cimento (t)	Emissão de CO ₂ (t)
536.264	64.352

Fonte: Snic (2007) - Região Sudeste

De acordo com valores internacionais, na produção de uma tonelada de cimento sem impostos e sem frete (somente a produção) adota-se US\$100,00/t e ainda em análise do volume substituído por este valor chegaríamos em um número de US\$10.725.280,00. Já no crédito carbono, teríamos um valor de US\$ 3.003.078,00, na tabela 7 a seguir:

TABELA 7**Valor consumo cimento e emissão de CO2**

SUBSTITUIÇÃO CIMENTO X CRÉDITO CARBONO	
INTERTRAVADOS - cimento (US\$)	Emissão de CO2 (US\$)
10.725.280	3.003.078

Fonte: Snic (2008) - Região Sudeste

Este comparativo não foi investigado diretamente e posteriormente pode servir de assuntos para pesquisas e de plano de negócios.

4 METODOLOGIA

4.1 Programa Experimental

O programa experimental consiste no preparo dos pisos intertravados com agregados resíduos de concreteiras e substituição do cimento por RPP.

Após o RPP ter sido seco em estufa, foi destorroado em um moinho de porcelana com esferas de 2 e 3 cm de diâmetro totalizando 60 esferas, por aproximadamente 10 minutos. Depois de passar 12 horas em estufa a temperatura de 60°C, foi constatada uma umidade de 1,5%. Vale ressaltar que a decisão de colocar o RPP na estufa, originou-se da tentativa de destorroar em um moinho de bolas, pois o mesmo tinha a aparência de estar seco, e após introduzir no moinho ao invés de destorroar transformava em grumos maiores do que os que estavam sendo inseridos e bem úmidos.

Os módulos experimentais consistiram em quatro dosagens diferentes, e rompidas 20 pisos de cada traço, onde o traço 1, que foi adotado como referência, foi realizado com agregados reciclados e cimento Portland CPV Ari Plus da Holcim. Os traços 2, 3 e 4 foram realizados com 100% dos agregados reciclados e substituição de 10%, 20% e 30% respectivamente do volume de cimento por resíduo de polimento do porcelanato. O cimento utilizado foi o mesmo da referência. A relação água/cimento foi fixada de acordo com a proposição do melhor desempenho. Todos os materiais foram pesados separadamente. Os materiais foram misturados em equipamento apropriado para a fabricação de pisos intertravados, chamado de

misturador apresentado na figura 4. Os ensaios de compressão foram realizados nas idades de 1,3,7 e 28 dias, não existe referência quanto à idade de resistência à compressão na Norma NBR 9781.

De acordo com a NBR 9780 a determinação da resistência à compressão (F_{pj}) foi determinada da seguinte forma:

As peças representativas do lote amostrado devem estar nas seguintes condições, no momento do ensaio:

- a) saturadas de água;
- b) as superfícies de carregamento capeadas com argamassa de enxofre ou similar, com espessura inferior a 3,0mm.



Figura 4 – Misturador
Fonte: Foto produzida pelo autor

As peças foram dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio de maneira que sua superfície de rolamento ficasse em contato com a placa auxiliar superior da máquina de ensaio, e de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincidissem com o eixo vertical passante pelo centro das placas.

O carregamento foi feito continuamente, com velocidade de aplicação entre 300kPa/s e 800 kPa/s. Nenhum ajustamento foi feito nos controles da máquina de ensaio quando a peça estava se aproximando da ruptura; o carregamento prosseguiu até ruptura completa da peça.

A resistência à compressão em (MPa) de peça foi obtida dividindo-se a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça, conforme tabela 8.

TABELA 8

Fator Multiplicativo “p”

Altura nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte:

É sugerido que no certificado de ensaio conste:

a) altura (h), largura (a), comprimento (b) da peça, com aproximação de 1,00mm;

- b) idade na data do ensaio;
- c) valor da carga de ruptura, em N;
- d) área de carregamento, em mm²;
- e) resistência da peça, em MPa.

Tabela 9

Traços utilizados

MATERIAIS	TRAÇO 1 (kg)	TRAÇO 2 (kg)	TRAÇO 3 (kg)	TRAÇO 4 (kg)
Brita 1 reciclada	60	60	60	60
Areia reciclada	360	360	360	360
Cimento CP V-ARI Plus	40	36	32	28
RPP	0	4	8	12
Água	18 litros	18 litros	18 litros	18 litros

5 RESULTADOS DA PESQUISA

Após a britagem dos resíduos do concreto obteve-se uma areia que assemelha bastante com a areia ideal para a produção de pisos intertravados, de acordo com a tabela utilizada para a confecção destes com utilização de agregados naturais.

De acordo com a análise granulométrica realizada no material utilizado na fabricação do piso intertravado, em destaque no anexo, temos as seguintes observações:

- O material apresenta uma granulometria adequada para ser utilizado como agregado, uma vez que todo o material depois de britado manteve boa homogeneidade.
- Outro ponto positivo é que o material em análise, apresentou faixa granulométrica próxima do limite inferior de acordo com as figuras 3 e 4, o que proporcionou um ótimo acabamento das peças fabricadas.
- Foram detectados alguns pedaços de material impróprio para fabricação de pisos intertravados, como argila e excesso de material pulverulento.
- Esta argila pode ser proveniente de pedaços de tijolos cerâmicos e o material pulverulento deve ser proveniente de finos existentes na usinagem do concreto como cimento, escória etc. Isso conduz a necessidade de que no momento da britagem seja realizada uma análise criteriosa do rejeito a ser utilizado.

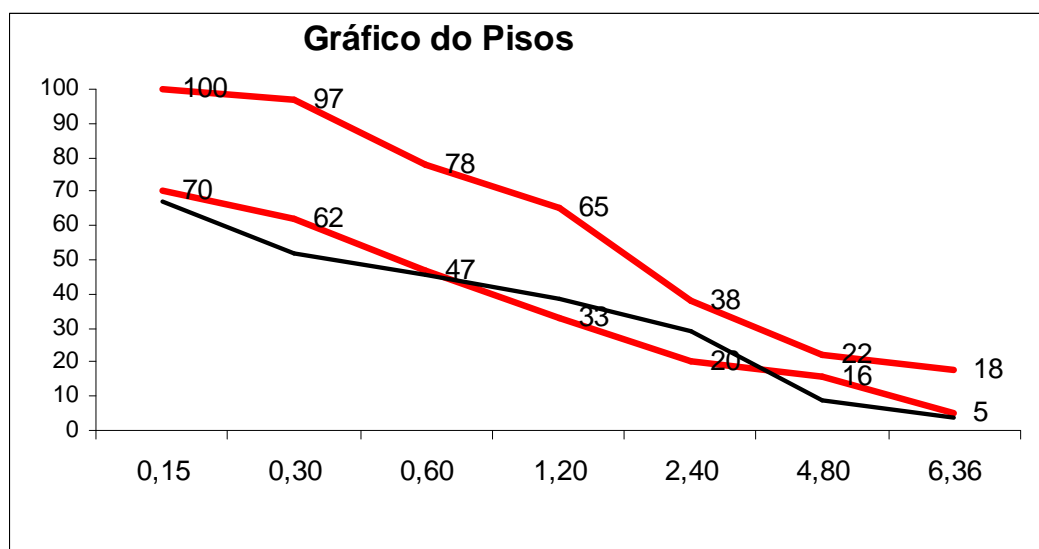
TABELA 10

Areia

Peneiras mm	Limite Piso	Limite Piso	Areia Artificial		Brita 0.S	
	% Acum	% Acum				
0,15	100,0	70,0	19,7	28,0	4,0	99,5
0,30	97,0	62,0	13,4	5,7	0,6	95,4
0,60	78,0	47,0	17,2	9,0	1,1	94,8
1,20	65,0	33,0	23,4	18,2	4,8	93,7
2,40	38,0	20,0	24,2	31,2	26,3	88,9
4,80	22,0	16,0	1,7	7,5	23,6	62,6
6,36	18,0	5,0	0,0	0,4	39,0	39,0
UMIDADE %			16,40		0,56	

FIGURA 6

Gráfico areia de pisos



Foram produzidos 5 pallets dos quais o primeiro e o último foram desprezados para evitar possíveis discrepâncias em função da variação da quantidade de água inerente ao processo na obtenção do concreto nestas situações. Foram utilizados 30% dos corpos de prova dos 3 pallets de cada lote. Em cada pallet são prensados 10 peças de pisos, totalizando 9 peças para cada traço.

Durante a execução foi observado nos traços 3 e 4 apresentados nas tabelas 10 e 11, com 20 e 30% respectivamente do percentual de substituição do cimento pelo RPP, uma plasticidade maior em relação ao traço de referência. E em específico no traço 4, uma pequena dificuldade de manuseio e prensagem, onde foi verificado excesso de plasticidade, o que provocou perda de continuidade no processo de produção. Esta plasticidade ficou comprovada quando feita a imersão em água, onde se verificou que as amostras dos traços 3 e 4 tinha menor absorção, ou seja, o concreto ficou mais homogêneo.

Os resultados mostraram que o traço 3 obteve melhor desempenho com substituição de 20% de cimento por RPP, atingindo a resistência mínima exigida com 7 dias, com média 36,64 MPa. Já o traço 1 de acordo com a tabela 8, sem adição de RPP, atingiu também a resistência de liberação no 7º dia com média de 39,92 MPa e valor máximo de 41,81 MPa. Os traços 2 e 4 obtiveram resistências com idade de 28 dias bem semelhantes, médias de 39, 36 e 39,27 MPa respectivamente.



Figura 7 – Obra executada
Fonte: Foto produzida pelo autor

A dosagem com maior substituição mostrou o pior desempenho e não conseguiu atingir o objetivo: 35MPa. Além de apresentar médias com idades superiores e resistências com resultados inferiores, como a prensagem três do traço 4 com 12,02 MPa. Na foto acima uma obra de trânsito de veículos leves e pessoas executada com pisos com a mesma tecnologia do estudo.

A seguir, as fotos de amostras dos pisos produzidos.



Figura 8 – Amostra dos pisos produzidos
Fonte: Foto produzida pelo autor



Figura 9 – Amostra dos pisos produzidos
Fonte: Foto produzida pelo autor

TABELA 11
Resultados Traço 1

TRAÇO	Idade dias	Lote	DIMENSÕES			Peso Seco (g)	Carga Ruptura (kgf)	Resistência compressão MPa	Média res. compressão MPa	Desvio padrão Mpa
			Larg. (mm)	Alt. (mm)	Comp. (mm)					
1	1	1	110	77	230	2650	15050	22,47	21,87	0,64
	1	2	110	78	231	2720	14890	22,23		
	1	3	111	78	230	2590	14000	20,91		
	3	1	110	78	230	2620	22300	33,30	34,24	2,06
	3	2	111	78	230	2680	21500	32,10		
	3	3	110	78	230	2440	25000	37,33		
	7	1	110	78	230	2550	28000	41,81	39,92	0,53
	7	2	110	78	230	2550	26200	39,12		
	7	3	110	78	230	2630	26000	38,82		
	28	1	110	78	230	2630	29200	43,60	43,06	0,36
	28	2	110	78	230	2650	28600	42,71		
	28	3	110	78	230	2620	28700	42,86		

Fonte: Produzido pelo autor

TABELA 12
Resultados Traço 2

TRAÇO	Idade dias	Lote	DIMENSÕES			Peso Seco (g)	Carga Ruptura (kgf)	Resistência compressão MPa	Média res. compressão MPa	Desvio padrão Mpa
			Larg. (mm)	Alt. (mm)	Comp. (mm)					
2	1	1	110	78	230	2680	9800	14,63	15,69	1,79
	1	2	110	78	230	2680	9420	14,07		
	1	3	110	78	230	2555	12300	18,37		
	3	1	110	78	230	2620	19880	29,69	29,61	0,52
	3	2	110	78	230	2680	20300	30,31		
	3	3	110	78	230	2500	19300	28,82		
	7	1	110	78	231	2500	22180	33,12	33,73	0,41
	7	2	110	77	230	2620	22600	33,75		
	7	3	111	78	230	2630	22990	34,33		
	28	1	110	78	231	2640	26220	39,15	39,36	0,29
	28	2	110	78	230	2680	26300	39,27		
	28	3	110	78	230	2660	26550	39,65		

Fonte: Produzido pelo autor

TABELA 13

Resultados Traço 3

TRAÇO	Idade dias	Lote	DIMENSÕES			Peso Seco (g)	Carga Ruptura (kgf)	Resistência compressão MPa	Média res. compressão MPa	Desvio padrão Mpa	
			Larg. (mm)	Alt. (mm)	Comp. (mm)						
3	1	1	110	78	230	2660	9600	14,34	14,24	0,29	
	1	2	111	77	230	2780	9760	14,57			
	1	3	110	78	230	2620	9250	13,81			
	3	3	1	110	78	230	2690	17900	26,73	27,40	0,45
		3	2	110	78	230	2690	18600	27,77		
		3	3	110	78	230	2550	18550	27,70		
	7	7	1	110	78	231	2500	24500	36,58	36,64	0,68
		7	2	110	78	230	2500	23900	35,69		
		7	3	110	78	230	2640	25220	37,66		
	28	28	1	110	78	231	2680	26200	39,12	39,27	0,60
		28	2	110	78	230	2600	25800	38,53		
		28	3	110	78	231	2720	26900	40,17		

Fonte: Produzido pelo autor

TABELA 14

Resultados Traço 4

TRAÇO	Idade dias	Lote	DIMENSÕES			Peso Seco (g)	Carga Ruptura (kgf)	Resistência compressão MPa	Média res. compressão MPa	Desvio padrão Mpa	
			Larg. (mm)	Alt. (mm)	Comp. (mm)						
4	1	1	110	78	231	2660	7800	11,65	10,50	0,83	
	1	2	110	78	230	2760	7100	10,60			
	1	3	110	78	230	2620	6200	9,26			
	3	3	1	110	78	230	2620	11850	17,69	18,52	0,55
		3	2	110	78	230	2680	12600	18,81		
		3	3	110	78	230	2580	12750	19,04		
	7	7	1	111	78	231	2590	13500	20,16	17,94	3,95
		7	2	110	77	230	2630	14500	21,65		
		7	3	110	78	230	2680	8050	12,02		
	28	28	1	110	78	231	2720	15800	23,59	24,74	0,77
		28	2	110	78	230	2700	16800	25,09		
		28	3	111	78	230	2710	17110	25,55		

Fonte: Produzido pelo autor

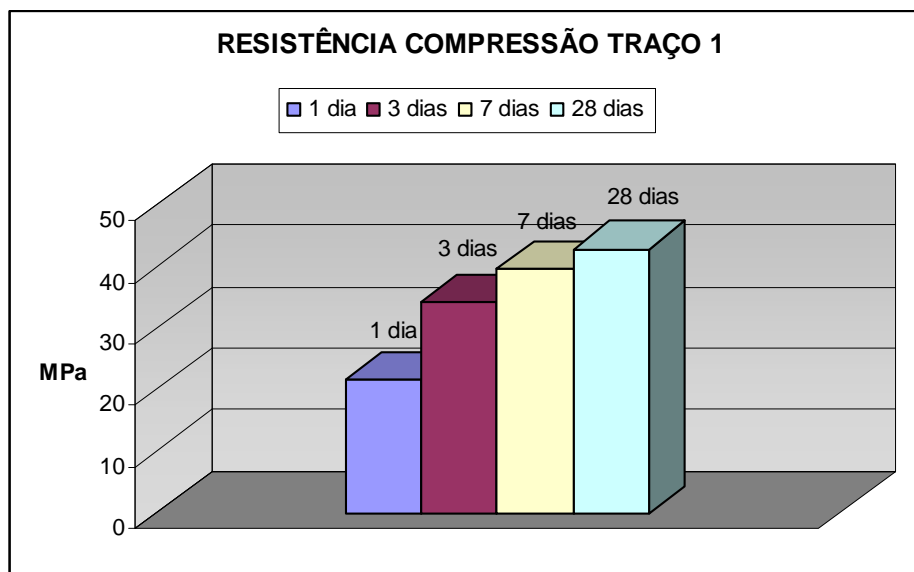


Figura 10 – Gráfico Resistência compressão Traço 1
Fonte: Produzido pelo autor

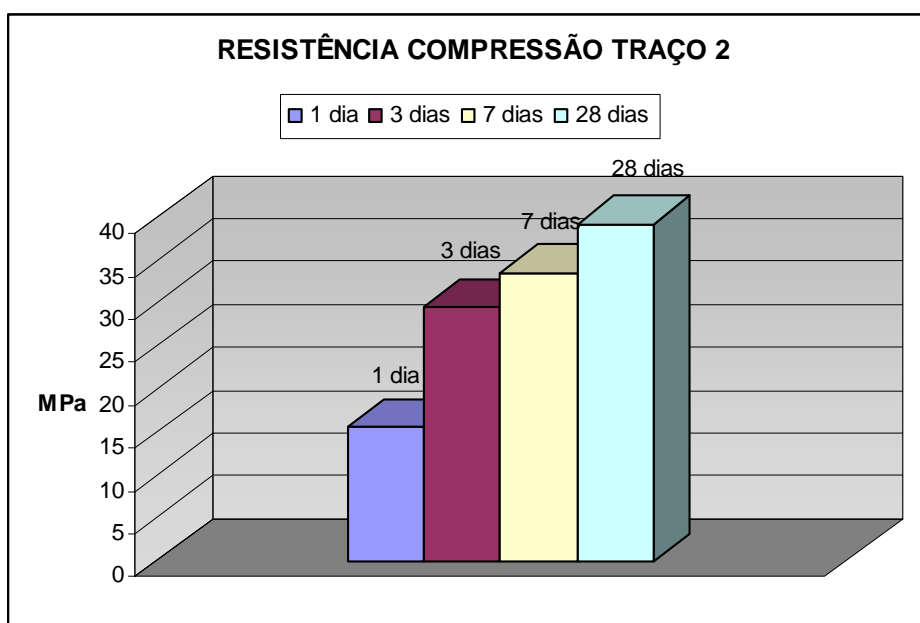


Figura 11 – Gráfico Resistência compressão Traço 2
Fonte: Produzido pelo autor

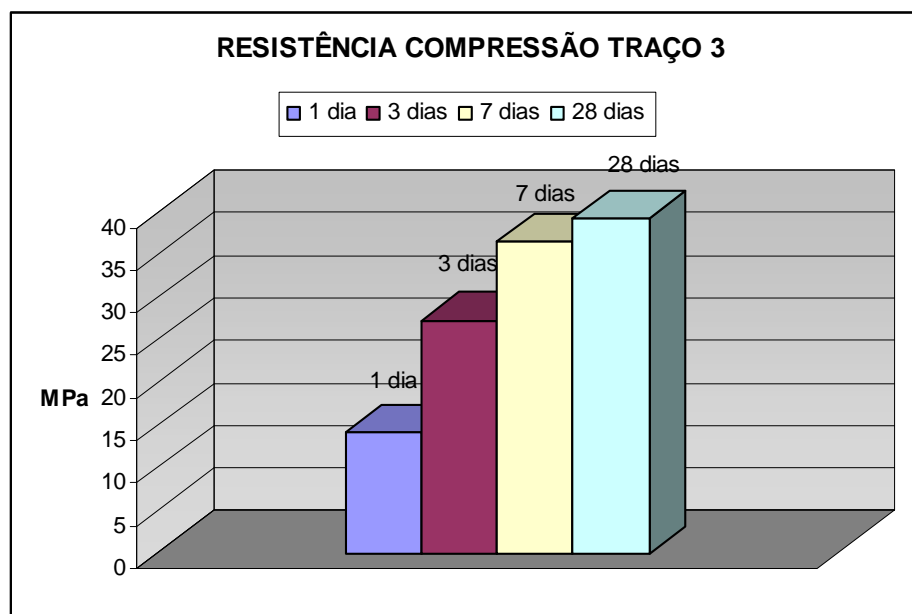


Figura 12 – Gráfico Resistência compressão Traço 3
Fonte: Produzido pelo autor

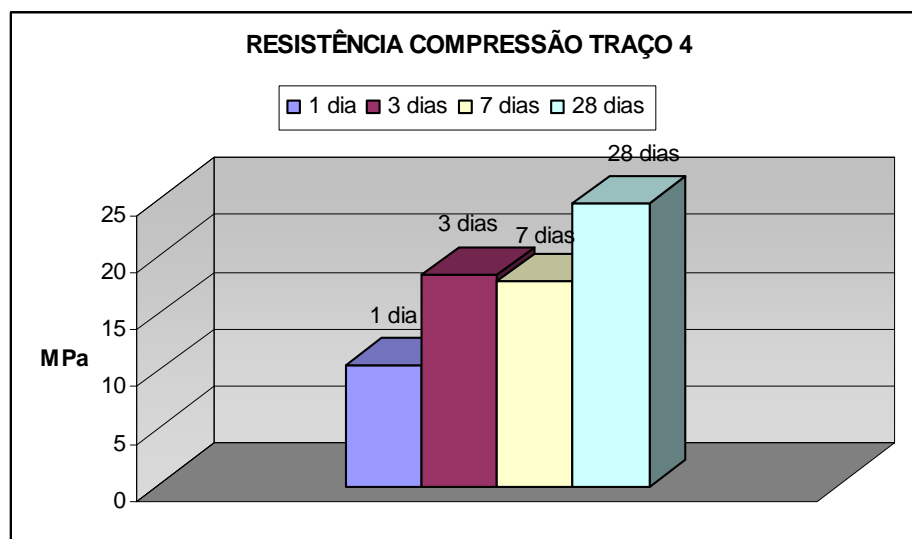


Figura 13 – Gráfico Resistência compressão Traço 4
Fonte: Produzido pelo autor

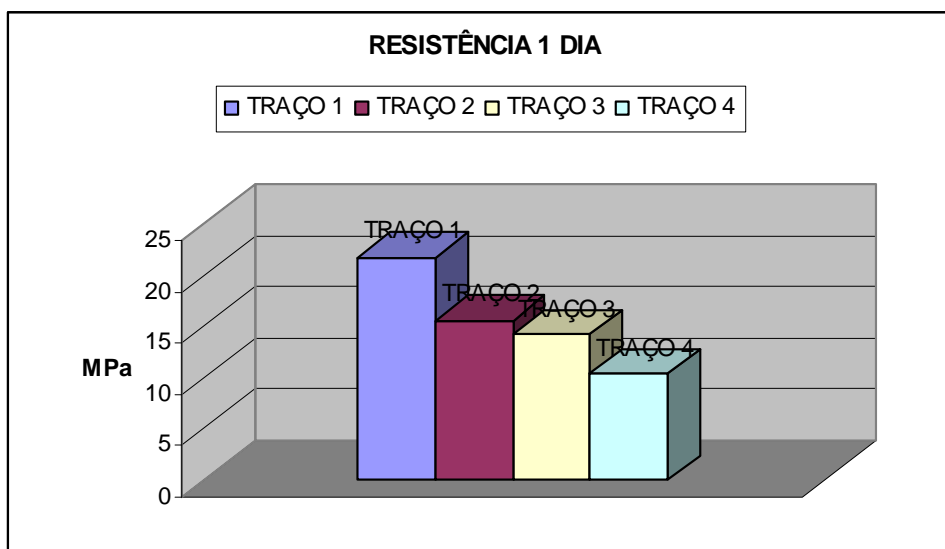


Figura 14 – Gráfico Resistência 1 dia
Fonte: Produzido pelo autor

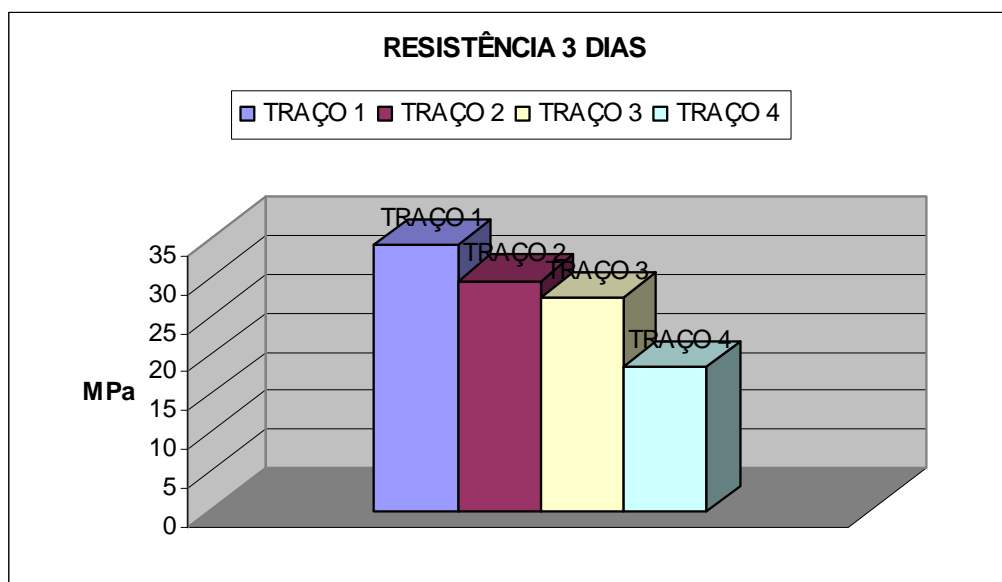


Figura 15 – Gráfico Resistência 3 dias
Fonte: Produzido pelo autor

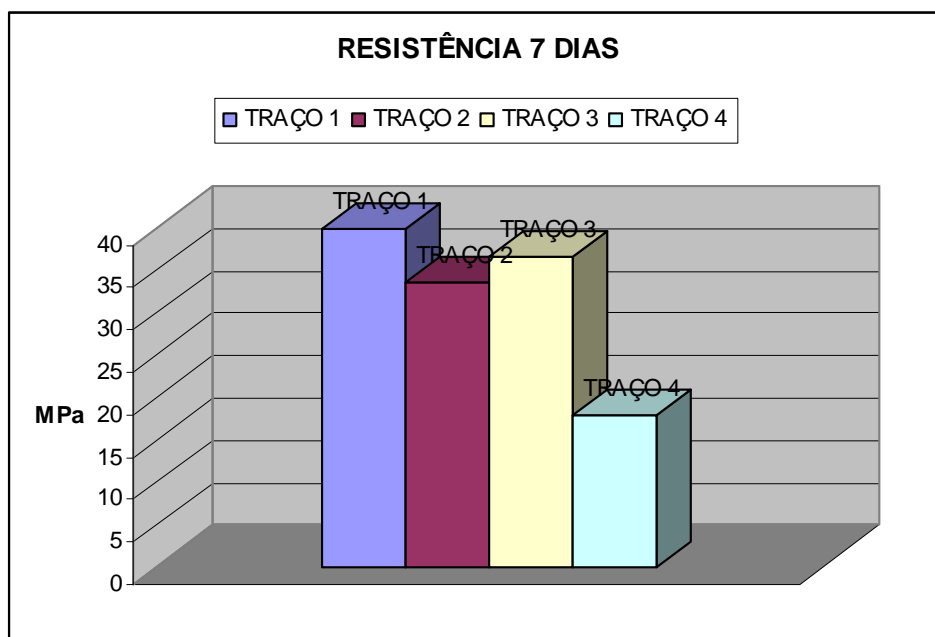


Figura 16 – Gráfico Resistência 7 dias
Fonte: Produzido pelo autor

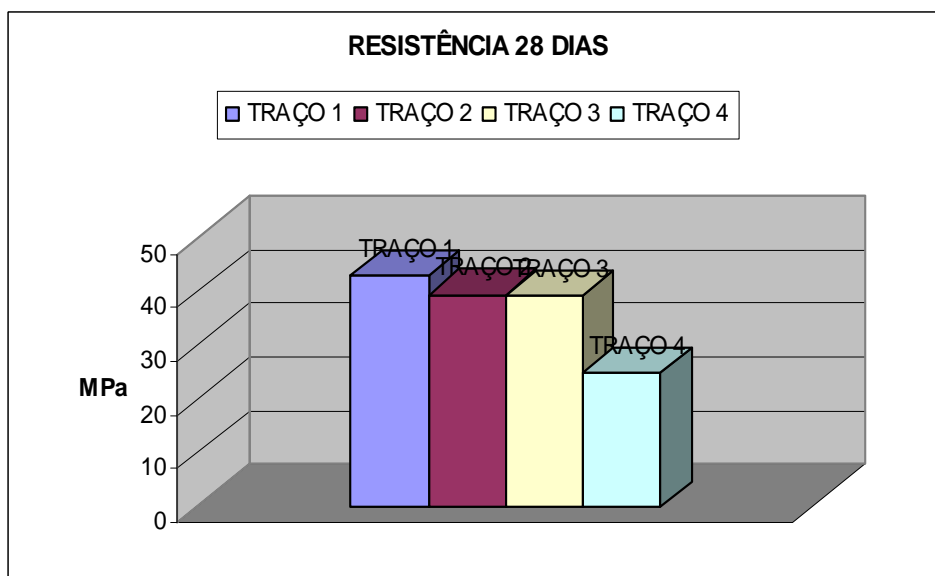


Figura 17 – Gráfico Resistência 28 dias
Fonte: Produzido pelo autor

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após análises dos ensaios, entende-se que a fabricação dos pisos intertravados utilizando agregados reciclados e com adição do RPP apresenta um resultado viável, em vários fatores tais como:

Na produção não foi observado nenhum fator que possa inviabilizar o processo, desde a seleção dos agregados quanto a mistura dos agregados e prensagem.

Os resultados à compressão mostraram que o traço 3 obteve melhor desempenho com substituição de 20% de cimento por RPP, atingindo a resistência mínima de liberação exigida com 7 dias, com média 36,64 MPa. Já o traço 1, sem adição de RPP, atingiu também a resistência de liberação no 7º dia com média de 39,92 MPa e valor máximo de 41,81 MPa. Então entre os traços do experimento o traço 3 obteve o melhor desempenho, já que foi utilizado o maior percentual de substituição do cimento por RPP e resistência de liberação de 35 Mpa.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho averiguou o desempenho mecânico de pisos intertravados produzidos com agregados reciclados e substituição de cimento por RPP.

Após experiência de empresas produtoras de materiais para construção como telhas de fibrocimento e de cimento dos seus processos de reutilização dos resíduos, sendo que na indústria cimenteira está política é mais clara e evidente, tendo em vista que seu produto utiliza escória, política bem avançada do que outras empresas do segmento. E juntamente com o conhecimento de vários estudos e de usos de produtores de pisos intertravados e de blocos forneceu subsídios para o programa experimental.

Depois de análise de comparação da produção do piso intertravado com resíduos e substituição do cimento por RPP, foi observado ainda que por mais que haja interesse das instituições financeiras, governo e dos acionistas de prover, disseminar a reutilização e conscientização das organizações ainda se encontra bem distante da realidade o consumo de materiais reciclados. É fácil verificar que no critério que mais aproxima da produção propriamente dita, Critério III da Dimensão Ambiental, os objetivos finais encontram-se em metas de monitoramentos, verificações de índices ambientais criados por elas mesmas sem dados concretos e em ações das áreas administrativas.

Quando se mede os percentuais originados da produção às questões relacionadas a resíduos sólidos são consideradas as definições, os critérios e métodos de classificação de resíduos previstos na norma NBR10004/2004. A produção de

substâncias ou elementos inclui a produção direta (quando o processo produtivo se destina a sua produção ou quando o produto contém na sua formulação o elemento) e a produção indireta (quando a geração do poluente se caracteriza como uma externalidade do processo produtivo ou do serviço), onde verifica subprodutos pesados como Poluente Orgânico Persistente (POP), Metais Pesados, Substâncias radiotivas, Substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO) e outras substâncias perigosas.

A revisão bibliográfica compreendeu os aspectos de originação dos resíduos, o processamento destes resíduos e destinos para finalizar o corpo da dissertação.

Os dados da bibliografia mostram estudos do gênero com aproveitamento de resíduo de construção e demolição, já as concreteiras ainda não definiram o destino dos seus resíduos, salvo algumas pequenas peças que utilizam para caminhos da entrada de sítios, pequenas empresas, pequenas contenções, enfim, nada profissional e constante e o que resta é o bota fora da cidade, ocasionando custos de transporte e de movimentação interna que oneram o resultado final das mesmas.

O destino do RPP não é diferente das concreteiras, as produtoras de porcelanatos destinam-se aos aterros sanitários e diminuindo sensivelmente a capacidade dos mesmos.

É recomendável que a produção industrial dos pisos intertravados com agregados e substituição de cimento por RPP seja avaliada e confirmada com estudos posteriores, nos quesitos como volume de entrada, administração dos produtos, secagem do RPP e outros fatores adicionais que fazem parte de uma produção em escala industrial.

Já os valores encontrados nos ensaios de compressão tornam o objeto de estudo com capacidade satisfatória no desempenho mecânico, o resultado apresenta vantagens competitivas para o produto e um importante instrumento para o futuro das empresas envolvidas no processo e também para sociedade.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Após análise dos resultados foram detectadas algumas necessidades que originam sugestões de trabalhos posteriores:

- Avaliação dos pisos quanto à resistência à abrasão;
- Avaliação de desempenho frente a elevadas cargas;
- Estudos de viabilidade financeira;
- Análise de planta para produção em escala industrial;
- Incremento da resistência à compressão através da introdução de aditivos.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, S. Structural Performance Evaluation of Interlocking Concrete Pavement Crosswalk Designs (Progress towards achieving ecologically sustainable concrete and road pavements in Australia) Boral Construction Materials, Sydney, Australia, 2008.

ANGELIS, N.G.; AMIKAWA, M.Y.; ANGELIS, B.L.D.; SANCHES, V.B.; LIMA, M.S.; CARDOSO, O.; VERONES, A.L.G. Utilização de resíduos de construção e demolição como alternativa tecnológica para implantação de infra-estrutura urbana. ICTR 2004 Congresso Brasileiro de Ciência e tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.

ÂNGULO, S.C.; KAHN, H.; JONH, V.M.; ULSEN, C. Metodologia de Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição. VI Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil- Materiais Reciclados e suas aplicações. IBRACON. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 11578 Cimento Portland Composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5732 Cimento Portland Comum - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5736 Cimento Portland Pozolânico - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 9780 Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação - Especificação. Rio de Janeiro. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 7207. Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro. 1992.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos. 1994. v. 1. 435 p.

BISPO, L. H. O.; ALMEIDA, S. L. M. Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedra: In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. Anais em CD... São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

CERVO, T.C. Estudo de Resistência à Fadiga de Concretos de Cimento Portland para pavimentação. (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo Escola Politécnica São Paulo, 2004.

DOW JONES SUSTAINABILITY INDEXES. Dow Jones Sustainability Word Indexes Guide. Versão 9.1, January, 2008.

HELENE, P. R. L. Estudo da influência do Metacaulim HP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: Pini; Fosroc, 1992.

HOLCIM - HOLCIM BRASIL. Relatório de Sustentabilidade de 2003. Construindo com Sustentabilidade. São Paulo, 2004.

ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial-Bovespa, 2007.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. (Obtenção de livre docente) – Universidade de São Paulo Escola Politécnica. São Paulo, 2000.

JONH, V.M. Cimentos de Escória Ativada com Silicatos de Sódio. (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

LACERDA, C.S. Estudo comparativo da influência da substituição de 8% do cimento por metacaulim em concretos de cimento Portland. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo Escola Politécnica. São Paulo, 2004.

LUZ, A.B.; CHAVES, A.P. Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel-Série Rochas e Minerais Industriais CETEM. Rio de Janeiro, 2000.

MARQUES,L.N.;MENEZES,R.R..NEVES,G.A..SANTANA,L.N.L..LIRA,H.L.FERREIR A,H.C.C. Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Paraíba, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MENEGAZZO, A. P. M. Estudo da correlação entre a microestrutura e as propriedades finais de revestimentos cerâmicos do tipo grês porcelanato. São Paulo, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretária Nacional de Saneamento Ambiental- Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Brasil. Brasília, 2002.

MOLIN, D.C.C.D.; BARATA, M. S. Avaliação preliminar do resíduo caulínítico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. Pará, 2002.

MULLER, R.M. Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto. (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

NASCIMENTO, O. L. Serviços de Concretagem - A busca de melhorias técnicas e comerciais. Panorama da situação dos ensaios e diagnóstico. Minas Gerais, 2007.

OLIVEIRA C. A. S Comportamento físico e avaliação microestrutural de argamassas produzidas a partir da mistura exaurida gerada na indústria de magnésio metálico. (Mestrado Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e Minas - CPGEM Universidade Federal de Minas Gerais, 2004).

OLIVEIRA C. A. S. Avaliação Microestrutural e Comportamento Físico de Concretos Produzidos com Metacaulim (Doutorado Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e Minas - CPGEM Universidade Federal de Minas Gerais, 2004).

OLIVEIRA, M.P.; NORMANDO, P.B. A utilização de argilas calcinadas na forma de metacaulinita (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2007.

PAGNUSSAT, D.T. Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação.(Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2004.

PERUZZI, A.P. Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa. (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2002.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos na construção urbana. (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

POON, C.S..The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2006.

PIOROTTI, J.L. Pavimentação intertravada 1ª edição. Montana S.A. Indústria e Comércio. Rio de Janeiro, 1985.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com can-de-açúcar. Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

ROSSO, J.; CUNHA, E.S.C.; RAMIREZ, R.A.R. Características técnicas e Polimento de Porcellanatos. Cerâmica Industrial, 2005.

SILVA, A. C. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose(Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo Escola Politécnica São Paulo, 2002.

SILVA, G.J.B. Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato. (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2005.

SOARES, J.B. Potencial de conservação de energia e de mitigação das emissões de gases de efeito estufa para indústria brasileira de cimento portland até 2015. (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1998.

SOUZA, P.S.L.; MOLIN, D.C.C.D. Estudo da viabilidade do uso de argilas calcinadas, como metacaulim de alta reatividade (MCAR). Pará, 2002.

SOUZA, P.S.L. Estudo da viabilidade do uso das argilas calcinadas, como metacaulim de alta reatividade (MCAR). Universidade Federal do Pará. Pará, 2004.

SOUZA, C. A. Utilização de Resíduo de Concreto como Agregado Miúdo para Argamassa de Concretos Estruturais Convencionais. (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2006.

TERRA, L.E.M. Utilização de finos no concreto estrutural. ABESC. São Paulo, 2005.

WESSELING, D.H. Estudo do comportamento mecânico de misturas em concreto asfáltico com incorporação de resíduos industriais. (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2005.