



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JONATHAN DE SOUZA MARQUES

**ESTUDO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS
HIDRÁULICOS VISANDO À INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS**

LONDRINA
2012

JONATHAN DE SOUZA MARQUES

**ESTUDO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS
HIDRÁULICOS VISANDO À INCORPORAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu – Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Morales

LONDRINA
2012



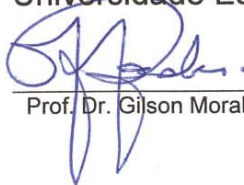
UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA


COORDENADORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO
MESTRADO EM ENGENHARIA EDIFICAÇÕES E SANEAMENTO
SECRETARIA DE PÓS-GRADUAÇÃO



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos quatro dias do mês de maio do ano de dois mil doze, na sala de multimeios 09 da Pós-Graduação/CTU, desta Universidade, com início às 14h00min, reuniram-se os membros componentes da Banca Examinadora indicada pela Comissão Coordenadora do Programa e aprovada pelo Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação Stricto Sensu, nomeada pela Portaria nº 1731, composta pelos professores doutores **Gilson Morales**, **Sérgio Cirelli Ângulo** e **Berenice Martins Toralles Carbonari** e que teve por objetivo julgar o trabalho do mestrando **JONATHAN DE SOUZA MARQUES**, do Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, intitulado "ESTUDO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS VISANDO A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS". Os trabalhos foram abertos pelo professor **Gilson Morales**, que em seguida deu a palavra ao candidato para a apresentação do seu trabalho no tempo de cinquenta minutos, com a subsequente argüição pelos professores doutores. Cada examinador dispôs de trinta minutos e o candidato de igual tempo para responder a cada um dos argüidores. Terminadas as argüições, procedeu-se ao julgamento do trabalho. Computadas as notas, o presidente da Banca Examinadora proclamou o candidato APROVADO, completando-se assim as exigências regimentais para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Banca Examinadora. Universidade Estadual de Londrina, em 04/05/2012.


Prof. Dr. Gilson Morales


Prof.ª. Dra. Berenice Martins Toralles
Carbonari


Prof. Dr. Sérgio Cirelli Ângulo

O estudante deverá reformular seu trabalho conforme estabelecido no Artigo 55 do regulamento dos Programas de Pós-Graduação Stricto sensu, no prazo de 30(trinta dias: () Sim (X) Não. Se houver alteração no título do trabalho, informar o novo título:

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M357e Marques, Jonathan de Souza.
Estudo do processo de produção de ladrilhos hidráulicos
visando à incorporação de resíduos sólidos / Jonathan de Souza
Marques. – Londrina, 2012.
120 f. : il.

Orientador: Gilson Morales.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) –
Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento,
2012.
Inclui bibliografia.

1. Resíduos sólidos – Teses. 2. Ladrilho hidráulico – Teses. 3.
Reciclagem – Teses. 4. Engenharia sanitária – Teses. 5.
Sustentabilidade – Teses. I. Morales, Gilson. II. Universidade Estadual
de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-
graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

CDU 628.4

JONATHAN DE SOUZA MARQUES

**ESTUDO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS
HIDRÁULICOS VISANDO À INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Stricto Sensu – Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilson Morales
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Sérgio Cirelli Angulo
Universidade de São Paulo, Escola
Politécnica - USP

Berenice Martins Toralles Carbonari
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 04 de maio de 2012.

Dedico este trabalho

Ao meu Pai:

José Marques, que mesmo distante se fez presente nos momentos
que mais precisei e soube me dar seu apoio.

A minha Namorada:

Naíra Junqueira Stevanato, luz que ilumina meus caminhos.

Aos Amigos:

Irmãos que me escolheram.

AGRADEÇO

Ao meu orientador Prof. Dr. Gilson Morales, que soube com destreza orientar mais um Arquiteto. Durante toda a caminhada foi além de um mestre, se tornando um grande amigo. GM, obrigado por fazer da UEL um ambiente mais acolhedor e dentro das dificuldades me passar segurança para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos Professores Dr. Sérgio Cirelli Angulo e Dr^a. Berenice Martins Toralles Carbonari, por terem aceitado o convite para ser parte da banca examinadora, nos honrando com suas presenças.

Aos professores do Programa ENGES, ao Chico, ao Professor Everaldo Pletz e aos Técnicos dos Laboratórios da UEL, Anderson, André, Carlos e Luís Gustavo pela ajuda e empenho para que eu pudesse concluir esta pesquisa.

As fábricas de Ladrilhos Hidráulicos que contribuíram com a pesquisa e, de forma especial a Ina Romiti, proprietária da Fábrica de Ladrilhos São Francisco, pelo auxílio tão significativo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Aos amigos, em especial, ao Leonardo Rosa, Gustavo Nati e Bill Mazzaro que estiveram, desde o momento da aprovação até o final deste mestrado, apoiando e torcendo por mim.

Aos colegas de classe, especialmente ao meu amigo Leonardo Guerra (PB), com quem convivi nas horas difíceis e divertidas do curso.

Ao amigo Humberto Androcioli pela valorosa ajuda com a formatação deste trabalho.

Ao grande amigo, Max Müller, incentivador do pensamento filosófico, ao Vô Jacó, que em tantos momentos difíceis trouxe palavras de sabedoria, paz e conforto.

A Naíra, pelo carinho, apoio, amizade e respeito e, principalmente, pelas leituras dos meus textos, pela revisão ortográfica e por tantas vezes suportar meu mau humor... Eu te amo.

Ao meu pai e a minha mãe, pelo apoio singular.

A todos que contribuíram, ou, sofreram com minha ausência quando da elaboração desta dissertação e dos diversos trabalhos durante os dois anos do curso.

E finalmente, agradeço a Deus, que em Sua infinita bondade me proporcionou forças para aqui chegar.

Muito obrigado!

MARQUES, Jonathan de Souza. **Estudo do processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando à incorporação de resíduos sólidos** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina.

RESUMO

A redescoberta e a valorização dos ladrilhos hidráulicos como material de revestimento trazem, como consequência, o resgate de seu processo de produção, uma vez que este conserva características essencialmente artesanais, as quais fazem de cada ladrilho uma peça única. O estudo contempla este resgate histórico, por meio do referencial bibliográfico e por visitas técnicas realizadas em fábricas de ladrilhos hidráulicos, que objetivaram conhecer a técnica tradicional utilizada na produção, e a partir disso realizar os registros. A fim de dar características ecoeficientes aos ladrilhos hidráulicos, foram caracterizados três resíduos sólidos: o pó de britagem basáltica, a areia de resíduos da construção civil e raspas de borracha de pneus. Após análise destes resíduos, foram realizados estudos de dosagem de concretos com a incorporação dos três resíduos separadamente, para se obter os melhores traços, para então propor a produção de ladrilhos hidráulicos experimentais com incorporação de resíduos sólidos, utilizando a forma tradicional de produção. Os resultados demonstraram que os resíduos de britagem basáltica e os da construção civil obtiveram resistências à flexão na ordem de 4,25 MPa, superiores as dos ladrilhos de referência, no entanto, os ladrilhos com resíduos de borrachas de pneus não apresentaram resultados satisfatórios já no processo de produção. A pesquisa demonstra ainda que em nenhum dos ladrilhos hidráulicos estudados, ou seja, os ladrilhos com incorporação de resíduos e os ladrilhos de referência (testemunhas) produzidos em fábricas de ladrilhos hidráulicos nos métodos padrões, atingiram os valores mínimos de resistência prescritos na NBR 9457:1986.

Palavras-chave: Ladrilho hidráulico. Resíduos. Sustentabilidade. Reciclagem.

MARQUES, Jonathan de Souza. **Study of the production of hydraulic tiles with a view to incorporation of waste** 2012. Dissertation (Mastering in Construction and Sanitation Engineering) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ABSTRACT

The rediscovery and recovery of hydraulic tiles bring coating material, as a result, the rescue of their production process, since this saves craft, which features primarily make each tile a single piece. The study covers this historic rescue through the bibliographic reference and technical visits carried out in factories of hydraulic tiles, that intend to know the traditional technique used in production, and from there carry out the records. In order to give characteristics to hydraulic tiles, ecoefficient stores were characterized three solid wastes: crushing powder, basaltic sand construction waste and tyre rubber shavings. After considerate these residues, studies were carried out of the dosage of concretes with the incorporation of the three wastes separately in order to get the best traits, then propose to produce experimental hydraulic tiles incorporating solid waste, using the traditional way of production. The results demonstrated that waste crushing basalt and the building gained resistance to bending in the order of superior 4,25 MPa tile witnesses, however, the tiles with waste rubber tyres did not provide satisfactory results already in the production process. The research demonstrates that no one of the hydraulic tiles studied, i.e. the tiles with incorporation of waste and reference tiles (witnesses) produced in factories of hydraulic tiles in standard methods, achieved the minimum values resistance prescribed in NBR 9457:1986.

Keywords: Hydraulic tiles. Waste. Sustainability. Recycling.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Pigmentos de óxido mais importantes	61
Tabela 2	– Informações técnicas do pigmento vermelho.....	61
Tabela 3	– Informações técnicas do pigmento amarelo	62
Tabela 4	– Informações técnicas do pigmento marrom	62
Tabela 5	– Informações técnicas do pigmento Preto.....	63
Tabela 6	– Caracterização dos agregados graúdos.	78
Tabela 7	– Caracterização do Agregado miúdo.....	78
Tabela 8	– Resultado da caracterização da borracha de pneu.....	79
Tabela 9	– Análise granulométrica da areia de britagem.....	81
Tabela 10	– Características da areia de britagem	81
Tabela 11	– Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo (areia reciclada)	83
Tabela 12	– Características do agregado miúdo (areia reciclada).....	83
Tabela 13	– Valores médios da resistência do concreto à compressão obtidos com o uso de diferentes cimentos e adição de raspas de pneus	87
Tabela 14	– Traços unitários em massa com adições de resíduo de britagem	89
Tabela 15	– Resistência à compressão e desvio padrão da dosagem dos concretos ensaiados aos 7 dias.....	90
Tabela 16	– Número de peças necessárias a um ensaio, retiradas da amostram, em função do lote e das características do ensaio	101
Tabela 17	– Resultado médio do ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos.....	102
Tabela 18	– Resultados do ensaio de resistência à flexão de ladrilhos hidráulicos.....	104
Tabela 19	– Ensaio de resistência à flexão de ladrilhos hidráulicos	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Diversos modelos de ladrilhos hidráulicos	19
Figura 2 –	Mosaico Bizantino.....	20
Figura 3 –	Preenchimento do molde metálico do ladrilho com a calda pigmentada	21
Figura 4 –	Mosaico com cenas cristãs e formas geométricas abstratas	22
Figura 5 –	Cúpula da Basílica de São Pedro em Roma ornamentada com mosaicos.....	23
Figura 6 –	Prensa e fôrma para produção de ladrilho hidráulico.....	24
Figura 7 –	Referência ao elemento contemporâneo associado ao <i>design vintage</i> dos ladrilhos hidráulicos	25
Figura 8 –	Arquitetura com caráter minimalista e contemporâneo com detalhe do piso em ladrilhos hidráulicos	26
Figura 9 –	Ladrilhos hidráulicos no procedimento de cura, submersos em água.....	26
Figura 10 –	Ladrilho hidráulico na bancada de produção.....	27
Figura 11 –	Entrada do palácio de Campos Elíseos, no piso ladrilhos hidráulicos do século 19	28
Figura 12 –	Faixa de ladrilho hidráulico da Igreja da Candelária	
Figura 13 –	Ladrilhos hidráulicos do Teatro José de Alencar em Fortaleza/CE.....	29
Figura 14 –	Ladrilhos hidráulicos	29
Figura 15 –	Moagem do RCC em Londrina	30
Figura 16 –	Resíduos da construção civil de Londrina e região	44
Figura 17 –	Agregado da reciclagem de RCC em Londrina.....	45
Figura 18 –	Pneus inservíveis.....	46
Figura 19 –	Lascas de borracha de pneus utilizados na pesquisa.....	48
Figura 20 –	Ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos	56
Figura 21 –	Ensaio de flexão dos ladrilhos hidráulicos.....	57
Figura 22 –	Saco do pigmento em pó	60
Figura 23 –	Conjunto da fôrma para Ladrilho Hidráulico.....	64
Figura 24 –	Calda pigmentada do ladrilho hidráulico	65
Figura 25 –	Calda branca sendo lançada no molde para formação do desenho da superfície do ladrilho.....	65

Figura 26 – Algumas ferramentas utilizadas na bancada de produção dos ladrilhos	55
Figura 27 – (a) Fôrma composta pela base, quadro e molde onde se insere a calda e (b) O quadro de ferro fundido que se fecha sobre a base	67
Figura 28 – Distintos moldes utilizados na materialização do design de superfície dos ladrilhos hidráulicos	67
Figura 29 – Secante sendo pulverizado sobre a calda pigmentada.....	68
Figura 30 – Umedecimento da mistura que constituirá a mescla.....	69
Figura 31 – A “mescla”, camada final do ladrilho, que é úmida e sela a peça	69
Figura 32 – A prensa para a produção de ladrilhos hidráulicos	70
Figura 33 – Bancada e prensa utilizadas na produção dos ladrilhos	71
Figura 34 – A fôrma é fechada para ser levada pelas trilhas até a prensa	72
Figura 35 – Movimento da prensa para compactação do material na fôrma	72
Figura 36 – Desforma do ladrilho depois de prensado	73
Figura 37 – Peça com excesso de umidade, rompida durante a desforma	73
Figura 38 – Ladrilho sendo inspecionado após a desforma.....	74
Figura 39 – Prateleira onde os ladrilhos “descansam” por até 12h.....	74
Figura 40 – Procedimentos de produção do Ladrilho Hidráulico.....	75
Figura 41 – Tanque onde são dispostos os ladrilhos hidráulicos para a cura das peças	76
Figura 42 – Armazenagem dos ladrilhos	76
Figura 43 – Raspas de borracha de pneu utilizadas na pesquisa.....	80
Figura 44 – Resíduos de britagem basáltica passante na peneira 0,15 mm.....	80
Figura 45 – Resíduos da Construção Civil sem o beneficiamento.....	82
Figura 46 – Areia artificial de RCC reciclados.....	82
Figura 47 – Corpo de prova rompido no ensaio de compressão axial	85
Figura 48 – Materiais utilizados na produção do concreto de referência	85
Figura 49 – Mistura manual dos materiais	86
Figura 50 – Produção de concreto com raspa de pneu	86
Figura 51 – Corpo de prova rompido em ensaio à compressão	88
Figura 52 – Corpo de prova rompido após ensaio de compressão.....	90
Figura 53 – RCC reciclado utilizado na pesquisa	91
Figura 54 – Corpos de prova para ensaio dos concretos	92

Figura 55 – Produção da calda pigmentada: (a) Material seco; (b) Adição de água; (c) Moldagem dos corpos de prova.....	93
Figura 56 – Amostra de material “secante” recolhido em visita técnica à Fábrica ..	94
Figura 57 – Corpos de prova com eflorescências.....	94
Figura 58 – A “mescla”: material que constitui o tardez do ladrilho hidráulico	95
Figura 59 – Soquete desenvolvido para compactação do material seco	95
Figura 60 – Substituição de 15% da massa de areia pelo resíduo de pó de britagem.....	96
Figura 61 – Ladrilhos hidráulicos produzidos com a incorporação de pó de basalto	97
Figura 62 – Mistura para o material secante com areia de resíduos da construção civil reciclados	98
Figura 63 – Ladrilhos produzidos com areia de RCC reciclado	99
Figura 64 – Mistura com raspas de borracha de pneus para composição da camada do tardez do ladrilho hidráulico	99
Figura 65 – Desagregação do ladrilho com raspas de borracha no momento da desforma.....	100
Figura 66 – Ladrilhos hidráulicos com utilização de raspas de borracha de pneus em sua composição	101
Figura 67 – Peças submetidas à verificação em ensaio dimensional.....	102
Figura 68 – Resultado médio do ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos.....	103
Figura 69 – Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos testemunhas	105
Figura 70 – Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com resíduo de britagem de pedra basáltica.....	105
Figura 71 – Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com raspas de borracha de pneus.....	106
Figura 72 – Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com areia de resíduos da construção civil	106
Figura 73 – Média dos resultados obtidos das amostras no ensaio de resistência à flexão nos ladrilhos hidráulicos testemunhas e experimentais.....	107
Figura 73 – Desagregação do material após a prensagem do ladrilho hidráulico com incorporação de raspas de borracha de pneus	108
Figura 74 – Ladrilhos após a realização dos ensaios de flexão.....	108

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVO GERAL	17
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4 HIPÓTESES.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 LADRILHO HIDRÁULICO	18
2.1.1 Histórico	20
2.1.2 Memória Urbana	28
2.1.3 Processo Artesanal de Produção	30
2.2 SUSTENTABILIDADE	31
2.2.1 Construção Sustentável.	34
2.2.2 Avaliação Ambiental	35
2.2.2.1 <i>Certificação brasileira</i>	36
2.2.2.2 <i>Certificação das manufaturas</i>	37
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	38
2.3.1 Resíduos da Construção civil (rcc).....	40
2.3.1.1 <i>Reciclagem do RCC</i>	42
2.3.2 Pneus Inservíveis	45
2.3.2.1 <i>Reciclagem de Pneus</i>	47
2.3.3 Resíduos de Britagem Basáltica	49
3 MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1 ESTUDO NA DOSAGEM DE CONCRETOS.....	52
3.2 ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO À POLÍTICA DA SUSTENTABILIDADE.....	53
3.3 ENSAIOS DOS CONCRETOS COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS	54
3.4 DEFINIÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS CONSTITUINTES DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS	54
3.5 PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DE LADRILHOS HIDRÁULICOS	54
3.6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS PEÇAS PRODUZIDAS	55
3.6.1 Avaliação Visual	55

3.6.2 Verificação da Variação Dimensional	56
3.6.3 Ensaio de Absorção de Água	56
3.6.4 Ensaio de Resistência à Flexão	57
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	58
4 RESULTADOS	60
4.1 PROCESSO TRADICIONAL DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS.....	60
4.1.1 Pigmentos	60
4.1.2 Conformação das Peças	63
4.1.3 Prensagem dos Ladrilhos.....	70
4.2 ESTUDO DOS MATERIAIS E DA DOSAGEM DOS CONCRETOS	72
4.2.1 Caracterização dos Aglomerantes	72
4.2.2 Caracterização dos Agregados	78
4.2.3 Caracterização dos Resíduos Sólidos.....	79
4.2.3.1 <i>Caracterização dos Resíduos de Borracha de Pneu</i>	79
4.2.3.2 <i>Caracterização dos Resíduos de Britagem</i>	80
4.2.3.3 <i>Caracterização dos Resíduos da Construção Civil – Areia de RCC</i>	82
4.3 ENSAIOS DOS CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS	84
4.3.1 Concreto com Incorporação de Raspas de Borracha de Pneus.....	84
4.3.2 Concreto com Incorporação de Resíduos de Pedreira Basáltica	89
4.3.3 Concreto com a Incorporação de Areia de RCC Reciclado.....	91
4.4 ESTUDO DA DOSAGEM PARA A PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS.....	93
4.5 PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS	96
4.5.1 Avaliação do Desempenho dos Ladrilhos Hidráulicos Produzidos.....	101
4.5.2 Variação Dimensional.....	102
4.5.3 Absorção de Água.....	102
4.5.4 Resistência à Flexão	103
5 CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS	111
ANEXO	117

1 INTRODUÇÃO

Os ladrilhos hidráulicos, comumente presentes nos palácios europeus do século 19, foram muito utilizados no Brasil nas décadas de 1930, 40 e 50, trazidos pelos imigrantes italianos. Pela beleza e versatilidade das peças, podiam ser aplicadas em várias áreas, com diversos desenhos, cores, e em algumas delas, texturas. No entanto, nos anos 1960, o ladrilho foi relegado ao esquecimento, com a introdução da cerâmica industrializada e logo, muitas fábricas de ladrilho hidráulico foram fechadas. A partir daí, os ladrilhos hidráulicos vinham sendo pouco especificados em projetos de arquitetura.

Somente a partir dos anos 1980 os arquitetos voltaram, pouco a pouco, a valorizar os revestimentos hidráulicos, a fim de personalizarem projetos e criarem mosaicos. Entretanto, a produção dos ladrilhos hidráulicos continua sendo artesanal e embasada em procedimentos empíricos.

A NBR 9457:1986 descreve o ladrilho hidráulico como “placas de concreto de alta resistência para uso interno ou externo nas pavimentações e revestimentos em geral, que têm como objetivo a padronização, a estética e a funcionalidade”.

Em geral, os ladrilhos hidráulicos são constituídos por três camadas: a do revestimento, a intermediária e o taroz. As peças mais utilizadas apresentam dimensões de 200 mm x 200 mm e espessura de 25 mm, e são produzidas artesanalmente. Uma fábrica não tem grandes produções diárias, porém, justamente por esse motivo, cada peça carrega detalhes sutis da produção. Além disso, segundo alguns fabricantes, a durabilidade de um ladrilho hidráulico em uso é, em média, de 100 anos. Esta resistência ao desgaste por abrasão, possivelmente, está ligada às características do pó de rochas graníticas utilizadas na mistura constituinte do revestimento dos ladrilhos hidráulicos.

Os ladrilhos apresentam um acabamento superficial altamente durável, não desbotando facilmente e, dificilmente se quebram ou fissuram. Da mesma forma, raramente perdem seu desenho original, uma vez que este não é somente uma pintura superficial ou impressão, os desenhos se constituem em uma das camadas da peça e possuem em torno de 5 mm de espessura, sendo formados por uma calda pigmentada constituída de cimento Portland branco estrutural, pó de

mármore ou areia e pigmentos. As demais camadas dos ladrilhos hidráulicos são constituídas por cimento Portland comum, areia e pó de pedra.

Atualmente, vêm ocorrendo movimentos em diversas áreas resgatando elementos do passado e associando-os à modernidade. Tanto na mídia, na moda, quanto na arquitetura, as produções antigas estão ganhando nova roupagem e, aliadas às tendências contemporâneas, retomam um lugar de destaque e ganham ainda mais espaço no mercado.

Além disso, no caso dos ladrilhos hidráulicos, a necessidade de restauração de monumentos históricos tombados, muitos dos quais decorados com essas peças trouxeram aos fabricantes um novo nicho no mercado. Outro segmento, frequentemente, visto nos grandes centros é o ladrilho hidráulico “tipo tátil”, empregados nos passeios (calçadas), conforme a NBR 9050:2004. Este piso é diferenciado por cores e texturas, auxiliando pessoas com deficiência visual ou baixa visão a se orientarem, oferecendo acessibilidade a elas.

Devido a essa retomada e às novas possibilidades de negócio, os ladrilhos hidráulicos são reinseridos no mercado. Entretanto, a literatura sobre o tema é escassa e a metodologia artesanal de produção segue procedimentos empíricos.

Concomitantemente, verifica-se que a elevada produção no setor da construção civil - e nos setores direta ou indiretamente ligados a ele - acarreta elevada quantidade de resíduos sólidos gerados, que implica em problemas de disposição final. Aliado ao aspecto de sustentabilidade do setor, este trabalho buscou discutir possibilidades de intervir junto aos efeitos nocivos provocados ao meio ambiente em função da geração e descarte de resíduos, incorporando ao processo a reciclagem dos resíduos da construção civil, dos resíduos de britagem basáltica e ainda, dos resíduos de borracha de pneus, por meio do uso desses materiais na fabricação de ladrilhos hidráulicos.

Apesar dos ladrilhos hidráulicos serem um produto a base de cimento Portland, o qual, em seu ciclo de vida envolva queima a 1450 °C, com grande consumo de energia e emissão de gases poluentes ao meio ambiente, o processo de fabricação dos ladrilhos podem vir a contribuir com o meio ambiente, se a este for adequado os procedimentos de dosagem e prensagem das peças, o que possibilitaria diminuir o consumo de cimento na produção. Então, logo, devido ao

método de cura dos ladrilhos hidráulicos, haveria vantagem se comparado aos produtos cerâmicos, uma vez que não necessita de queima.

A cura dos ladrilhos hidráulicos é dada por imersão das peças em água. Ainda, com a adição de resíduos sólidos na produção de ladrilhos hidráulicos, há, também, a redução do consumo de matérias-primas naturais, quanto dos volumes de deposição de resíduos.

No aspecto técnico da pesquisa, foram analisadas as normas vigentes para ladrilhos hidráulicos e buscou-se conhecer toda a metodologia convencional de produção, a fim de registrá-la e fazer as devidas alterações técnicas para que os procedimentos ganhassem caráter científico. Alguns resíduos sólidos foram caracterizados e submetidos a ensaios para serem incorporados à produção dos ladrilhos hidráulicos, buscando conferir a estes produtos características ecoeficientes.

Desse modo, a técnica de produção de ladrilhos hidráulicos pode ser preservada e, ainda, grande quantidade de resíduos sólidos urbanos pode vir a ser reciclada. É essa a importância do tema desta dissertação, tanto na redução dos impactos ambientais, minimizando a intensidade de determinados insumos da construção civil, quanto da produção e divulgação dos ladrilhos hidráulicos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A redescoberta e a valorização dos ladrilhos hidráulicos como material de revestimento trazem, como consequência, o resgate de seu processo de produção, uma vez que este conserva características essencialmente artesanais, as quais fazem de cada ladrilho uma peça única.

A crescente demanda pelo produto e a escassez de domínio da técnica de fabricação revelam a necessidade de resgatar e registrar este conhecimento. Dessa forma, este trabalho se propõe a fazê-los por meio do acompanhamento da produção de ladrilhos hidráulicos em fábricas ainda em operação, cadastrando as diversas operações unitárias constituintes do processo, bem como atuando na produção e intervindo junto à mesma, propondo melhorias. Logo, o resultado deste estudo traz a possibilidade de assegurar a preservação desta técnica centenária.

1.2 OBJETIVO GERAL

Resgatar e intervir no processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando à incorporação dos seguintes resíduos sólidos urbanos (RSU): resíduos da construção civil (RCC); resíduos de britagem basáltica e borracha de pneus.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar o processo de produção de ladrilhos hidráulicos.
- Adequar as proporções dos componentes utilizados no processo de produção dos ladrilhos hidráulicos.
- Avaliar o desempenho das raspas de borracha de pneus, do agregado miúdo de RCC misto e dos resíduos de britagem basáltica, como matéria prima para a produção de ladrilhos hidráulicos.

1.4 HIPÓTESES

- A incorporação dos resíduos de britagem basáltica ao material secante favorece a adsorção de água presente na calda pigmentada, melhorando o processo de produção dos ladrilhos hidráulicos.
- A adequação da matéria prima incorporando resíduos de RCC misto na forma de agregado miúdo interfere favoravelmente no seu desempenho mecânico dos ladrilhos hidráulicos.
- A incorporação de raspas de borracha de pneus reduz o módulo de elasticidade do concreto aumentando sua resiliência e capacidade de absorver impactos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Por meio da revisão bibliográfica, notou-se a escassez de material científico sobre ladrilhos hidráulicos. Assim, muitos detalhes foram alcançados pela realização de visitas técnicas às fábricas e por dados históricos associados a outros temas, como os mosaicos. Ainda, foram levantadas e analisadas as normas vigentes sobre ladrilhos hidráulicos e seus componentes. Deste conjunto de informações, pode-se conhecer a produção dos ladrilhos hidráulicos, seus componentes e o estado da arte na atualidade.

A fim de possibilitar a obtenção de características ecoeficientes aos ladrilhos hidráulicos, buscou-se avaliar e caracterizar diferentes resíduos sólidos - resíduos da construção civil (RCC), resíduos de britagem basáltica e raspas de pneus - visando sua incorporação ao processo de produção dos ladrilhos hidráulicos, realizando os seguintes ensaios: massa específica, massa unitária e análise granulométrica.

Contudo, apesar de haver um grande número de pesquisas no Brasil para utilização desses resíduos, poucos estudos acadêmicos se tornaram inovações tecnológicas, ou seja, a efetiva utilização desses resíduos ainda é pequena na indústria da construção civil.

2.1 LADRILHO HIDRÁULICO

O ladrilho hidráulico é uma placa utilizada em pisos e revestimentos, usualmente constituída por três partes: o tardez, a camada intermediária e a camada pigmentada.

O tardez, ou “mescla”, como é nomeada pelos operários do setor, constitui-se em um corpo em argamassa de cimento Portland e pó de pedra; a camada intermediária, ou “secante”, é constituída por cimento Portland, pó de pedra e areia lavada de rio; e a camada pigmentada é formada pela mistura de cimento Portland branco estrutural, pó de mármore e pigmentos, como mostra a figura 1.

Figura 1 – Diversos modelos de ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2011.

Foi constatado que a única norma de Ladrilho Hidráulico vigente no Brasil é a NBR 9457 de agosto de 1986, a qual estabelece as características técnicas dos ladrilhos hidráulicos, que devem ser comprovadas e controladas por testes de laboratórios após 28 dias de sua fabricação, e apresentar os seguintes limites e/ou tolerâncias:

Absorção de água: o valor médio da amostra ensaiada deve obedecer ao limite máximo de 8%;
 Resistência ao desgaste por absorção: até 3 mm em 1000 m;
 Módulo de ruptura à flexão:
 - valor médio da amostra: 5,0 MPa;
 - valor individual: mínimo de 4,6 MPa;
 Espessura: tolerância de $\pm 10\%$;
 Comprimento e largura: tolerância de $\pm 0,2\%$
 A NBR 9457 indica como normas complementares:
 NBR 5732 – Cimento Portland comum – Especificação;
 NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – Especificação;
 NBR 5734 – Peneiras para Ensaio – Especificação;
 NBR 6482 – Pisos Cerâmicos – Determinação das Dimensões – Método de Ensaio;
 NBR 9459 – Ladrilho Hidráulico – Formatos e Dimensões – Padronização.

A NBR 9457:1986 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define ladrilho hidráulico como uma “placa de concreto de alta resistência ao

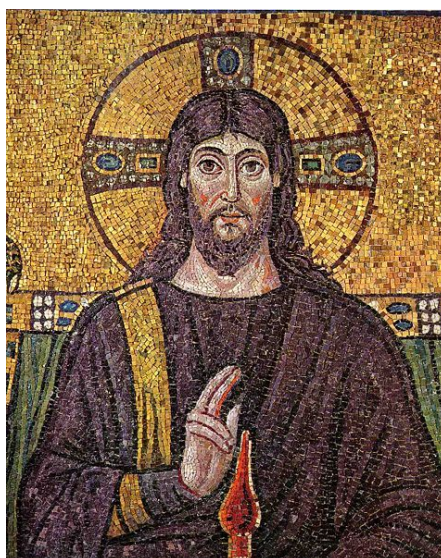
desgaste, destinada ao acabamento de paredes e pisos, cuja superfície apresenta textura lisa ou em relevo, podendo ser colorida ou não, de diferentes formatos geométricos e espessura da ordem de 25 mm”.

2.1.1 Histórico do Ladrilho Hidráulico

A bibliografia sobre este tema é escassa, Casabo (1958) já relatava a ausência de literatura sobre a produção de ladrilhos hidráulicos. Possivelmente, esta dificuldade em gerar material científico sobre o tema esteja diretamente ligada ao caráter intimista que sempre predomina na produção dos ladrilhos hidráulicos, uma vez se tratar de um processo artesanal de fabricação. Isto fica evidente diante do sigilo que é mantido pelos fabricantes, em sua maioria, membros da mesma família, que comumente dá seu nome ao produto e é a detentora dos detalhes da constituição da matéria prima e do processo de produção.

O processo de produção dos ladrilhos hidráulicos data do século 18, sendo que não existem referências claras da sua origem, supostamente árabe. Ainda assim, é possível afirmar que a raiz destes ladrilhos remonta aos antigos mosaicos bizantinos (figura 2), isto se comparadas as formas e as estruturas das peças, pois o ladrilho, assim como o mosaico, além da função técnica como material para revestimento, pode trazer informação por meios de desenhos, cores e texturas.

Figura 2 – Mosaico Bizantino



Fonte: Infoescola, 2011.

Uma das maiores evidências desta origem está na forma como o mosaico é executado. Se por um lado, a construção dos mosaicos se dá por meio da união de fragmentos multicoloridos seguindo um desenho pré-concebido, o ladrilho hidráulico se desenvolve sob a mesma linguagem, sendo que o desenho constituído em cada peça é definido segundo um molde metálico, o qual é preenchido com caldas de diferentes cores, resultando em desenhos multicoloridos (figura 3). Ambos os processos de produção exigem procedimentos meticulosos dos operadores.

Figura 3 – Preenchimento do molde metálico do ladrilho com a calda pigmentada



Fonte: O autor, 2011.

De acordo com Gruppi (2007), o mosaico tem momentos fragmentados da sua origem até os dias de hoje. A literatura marca seu início no século 8 a.C., quando os gregos utilizavam pedras cortadas em cubos para a execução de pisos. Com o aperfeiçoamento da técnica, a utilização dos mosaicos se expandiu para aplicação em paredes e cúpulas, bem como em detalhes no interior das construções. Uma das evidências mais antigas da utilização dos mosaicos remonta ao século 3 a.C na Grécia e constitui-se em um fragmento de papiro no qual se descrevia o procedimento para a execução de um mosaico em uma sala de banhos. (GRUPPI, 2007)

Na época da dominação romana, a arte do mosaico se espalhou pelos templos, teatros, estabelecimentos públicos, lojas e mercados. Os materiais utilizados eram os mármorees da região e os de procedências longínquas, como os originários da África.

No período helenístico ocorreu o incremento do vidro aos materiais utilizados e este passou a ser um dos principais elementos na composição dos

mosaicos bizantinos, principalmente nos palácios e templos religiosos. (GRUPPI, 2007)

Por volta do século 4, os mosaicos se constituíram na expressão máxima da arte bizantina (figura 4), não se destinando somente a decorar paredes e abóbadas das construções, mas também servindo como ferramenta para instrução e doutrinação espiritual, por meio de cenas do cotidiano, históricas e políticas.

Figura 4 – Mosaico com cenas cristãs e formas geométricas abstratas



Fonte: Pastoralis, 2011.

No século 5, a Itália passou a ser a principal produtora de mosaicos. O estilo Bizantino espalhou-se pela Europa e teve seu declínio com o início da Renascença. A partir do século 14, o mosaico perde espaço para a pintura, que passa a ser o veículo mais utilizado para manifestações artísticas. Contudo, no século seguinte, na Florença dos Médicis, o mosaico retoma força, e em Veneza forma-se uma nova escola de mosaico. (GRUPPI, 2007)

No período posterior, o seiscentista, Roma volta a assumir a hegemonia enquanto centro produtor de mosaico e na formação de especialistas em sua produção. Este impulso deve-se, em grande parte, à decoração com mosaico na Basílica de São Pedro (figura 5).

Figura 5 – Cúpula da Basílica de São Pedro em Roma ornamentada com mosaicos



Fonte: Pastoralis, 2011.

No ano 700 os mosaicos começam a valorizar-se ainda mais, devido a sua durabilidade. Observa-se uma predileção por mosaicos de grande dimensão, realizados com pasta vítrea, abordando temas reproduzidos de obras pictóricas.

Após todo o conhecimento adquirido com os mosaicos e aprimorado através dos tempos, os muçulmanos passam a desenvolver ladrilhos para suas obras de arquitetura, empregando nas peças os mesmos desenhos geométricos vistos nos clássicos mosaicos bizantinos. E logo, nos séculos seguintes, esta produção influencia fortemente a arquitetura espanhola e daí a grande parte dos países europeus.

Em 1824, com o surgimento do cimento Portland¹, é refinada a técnica muçulmana de produção dos ladrilhos, os quais passam a serem designados por um novo termo: ladrilho hidráulico. Esta nova nomenclatura é decorrente da utilização do cimento Portland, o qual requer um processo de cura das peças pela submersão em água.

A partir daí, grandes construções da nobreza francesa do século 19, assim como da Espanha, Itália e Bélgica, passaram a utilizar este tipo de revestimento e compor sua arquitetura.

¹ Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em 16 de janeiro de 2011.

Pela beleza, resistência e durabilidade semelhantes às dos mosaicos já conhecidos na Europa, os ladrilhos hidráulicos apresentam, ainda, grande praticidade de execução, quando comparado aos mosaicos, o que possibilitou a ampla aceitação deste material, fazendo dele presença constante nos palácios europeus daquele século.

Os ladrilhos hidráulicos foram introduzidos e popularizados na arquitetura das residências, tornando-se amplamente conhecidos na arquitetura ocidental, incluindo a costa africana do Mediterrâneo, chegando à América do Sul ainda no final do século 19.

No Brasil, foram trazidos pelos imigrantes italianos que se fixaram, sobretudo, na cidade de São Paulo. Rapidamente passaram a ser empregados nas edificações, primeiramente no revestimento de paredes e, numa segunda etapa, em pisos. Neste período, foram trazidos também a técnica e os equipamentos necessários para a produção dos ladrilhos (figura 6). Entretanto, há indícios de que os ladrilhos hidráulicos já vinham sendo usados no Brasil, em pequenas quantidades, desde os anos 1800, importados da Europa. (FÁBRICA, 2011).

Figura 6 – Prensa e fôrma para produção de ladrilho hidráulico



Fonte: Zeca Wittner/AE, 2010.

Quase um século depois de sua chegada ao Brasil, o processo de produção artesanal continua o mesmo, sendo ainda, em muitos casos, produzidos em fábricas construídas naquele período e mantidas originais, estando muitas delas com as mesmas famílias. Todo o material, até mesmo as fôrmas de bronze originais trazidas da Europa, é mantido, inclusive a “receita” original. Desta forma, o conhecimento de toda a técnica de produção dos ladrilhos hidráulicos vem sendo transmitido de geração a geração, quase, como um segredo industrial.

Todavia, embora tivesse seu auge nas décadas de 1930, 40 e 50, a indústria do ladrilho hidráulico ficou comprometida comercialmente, com o advento da indústria cerâmica com sua linha de produção automatizada, o que acabou afetando todas as fábricas de ladrilhos hidráulicos que não tinham como competir em produtividade, prazos de entrega e custos de produção, conforme aponta Carvalho (2008).

Segundo Catoia (2007), somente no final do século 20, os arquitetos voltam seus olhares aos revestimentos hidráulicos, como forma de personalizar projetos. Ainda, seguindo a tendência cada vez maior pela busca de singularidade e design intimista, associado ao estilo vintage encontrado nos ladrilhos hidráulicos (figura 7) eles passam a ganhar mais aplicação e destaque.

Figura 7 – Referência ao elemento contemporâneo associado ao *design vintage* dos ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2011.

Desta forma, o ladrilho retoma seu valor trazendo de forma única elementos do passado à arquitetura contemporânea (figura 8).

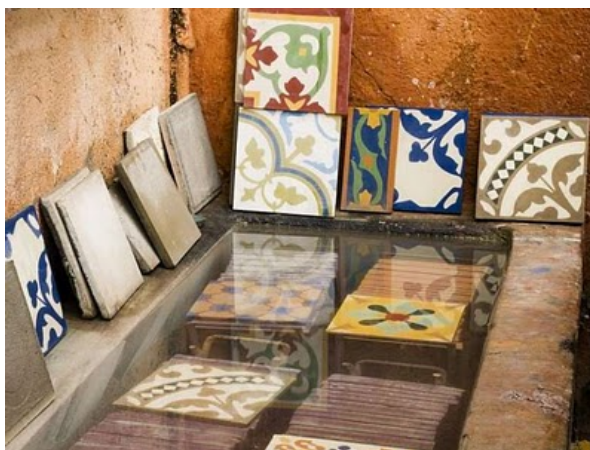
Figura 8 – Arquitetura com caráter minimalista e contemporâneo com detalhe do piso em ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2011.

A denominação de ladrilho “hidráulico” vem da tecnologia de fabricação, em que utiliza o processo de cura por imersão (figura 9), ou seja, o que permite o desenvolvimento da resistência das peças em função da pega do cimento Portland, sem a necessidade de procedimentos de queima, diferenciando-o ainda mais das características comuns aos pisos e revestimentos cerâmicos. Entretanto, o fato de o processo de produção ser artesanal faz com que a sua produção diária seja relativamente pequena, logo o tempo de espera entre a compra do produto e seu recebimento é muito maior que qualquer outro produto que equivalha ao uso.

Figura 9 – Ladrilhos hidráulicos no procedimento de cura, submersos em água



Fonte: Zeca Wittner/AE, 2010.

Estas peças de produção empírica, compostas por cimento Portland, areia, pó de pedra e pigmentos possuem caráter histórico transmitido informalmente através de gerações. O que se destaca, é a dimensão artesanal do trabalho, em que as peças são feitas uma a uma, do início ao fim pelo mesmo profissional, resultando cada uma delas em uma realização única. Entretanto, ainda que a produção dos ladrilhos seja um processo empírico, quando se observa a qualidade final do produto, mesmo sem as características de produção em série e um profundo embasamento científico, tão comum às fábricas deste século, é possível notar que há certa técnica na sua produção resultando em peças de excelente acabamento e beleza (figura 10).

Figura 10 – Ladrilho hidráulico na bancada de produção



Fonte: Ladrilho, 2011.

Os ladrilhos hidráulicos se apresentam como pisos de alta resistência quando empregados em zonas de tráfego intenso, aliando atributos antiderrapantes e de alta resistência à abrasão (devido a características dos insumos empregados, como por exemplo, o pó de mármore e de granitos) o que os torna indicados para calçadas, passeios públicos, praças, garagens, estacionamentos, rampas para

automóveis, ambientes internos, bordas de piscinas etc., oferecendo segurança para as pessoas mesmo quando molhados².

2.1.2 Memória Urbana

Os ladrilhos hidráulicos estão presentes em várias cidades brasileiras, em muitos prédios históricos, como, por exemplo, o Palácio dos Campos Elíseos (figura 11), o Museu do Ipiranga, a Casa da Marquesa de Santos, a Igreja Nossa Senhora do Brasil, em diversos bares na Vila Madalena, em São Paulo.

Figura 11 – Entrada do palácio de Campos Elíseos, no piso ladrilhos hidráulicos do século 19



Fonte: Tuca Vieira/Folha Imagem, 2011.

Na cidade do Rio de Janeiro, na famosa Igreja da Candelária (figura 12), em Fortaleza - Ceará no Teatro José de Alencar, onde, há mais de um século os ladrilhos desempenham sua função, ainda que apresentem desgaste superficial (figura 13), e em vários museus, entre outros imóveis em todo o país. Ainda assim, poucas pessoas os conhecem pelo nome, embora guardem muitas lembranças de suas formas e cores.

² NAKAMURA, Juliana. **Passeio seguro**. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/109/imprime31725.asp>>. Acesso em 21 de abril de 2012.

Figura 12 – Faixa de ladrilho hidráulico da Igreja da Candelária



Fonte: Ornatos, 2011.

Figura 13 – Ladrilhos hidráulicos do Teatro José de Alencar em Fortaleza/CE.



Fonte: O autor, 2012.

As peças, ainda que preferencialmente usadas em pisos, também podem ser aplicadas como revestimento de paredes, murais, tampos de mesa e em outros objetos. São feitos de uma ou várias cores, lisas ou decoradas e, neste último caso, em geral apresentam um design de superfície com estampas geométricas ou figurativas pela junção das peças, tomando a aparência de um tapete ornamentado (figura 14).

Figura 14 – Ladrilhos hidráulicos



Fonte: Fábrica, 2011.

2.1.3 Processo Artesanal de Produção

Ao contrário do que ocorre com muitas outras produções de caráter artesanal, que sofreram processos de decadência e desuso, o Ladrilho Hidráulico de certa forma permaneceu inalterado até a contemporaneidade, tanto em relação ao processo de produção, quanto ao aspecto e características finais do produto. Mudaram algumas matérias-primas, conforme a disponibilidade no mercado, ou mais especificamente, a qualidade delas, o que pode ou não interferir na aparência e na durabilidade das peças.

De acordo com Carvalho (2008), em pesquisa vinculada ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, sobre uma das mais importantes fábricas de ladrilhos hidráulicos no Brasil, a Corumbá, no Estado do Mato Grosso do Sul, muitos dos materiais que antes eram utilizados na produção dos ladrilhos, com o decorrer do tempo, foram substituídos, como por exemplo, os agregados. Atualmente, não se encontra mais o mesmo tipo de areia que se usava antigamente, predominantemente grossa. O mesmo aconteceu com as tintas e óleos usados na produção dos ladrilhos.

Carvalho (2008) apresenta um relato do mestre artesão da fábrica mencionada a respeito dos materiais:

A coisa mudou muito. Depois que foi caindo o ladrilho, veio a decadência dos materiais. Antigamente, a tinta era importada, mais forte, usava mais água. Era óxido de ferro. O tempo foi passando, as coisas foram sumindo da praça. O óleo para limpar as fôrmas também. O melhor era importado, próprio para o ladrilho. Não se faz mais. Era trazido de São Paulo há 40 anos.

A necessidade de adaptação aos novos mercados levou à substituição de alguns materiais usados na produção dos ladrilhos hidráulicos, em geral trazidos da Europa até São Paulo, por similares nacionais, como óleo diesel, de soja, de linhaça e de algodão, e tintas em pó.

Os processos de produção empregados nas fábricas, contudo, ainda são os mesmos que o mestre artesão alega haver conhecido na juventude e que remontam a várias gerações.

O que caracteriza a produção dos ladrilhos hidráulicos como artesanais, apesar da possibilidade da fabricação em série, é o fato de um único ladrilheiro operar o processo de produção do início ao fim. Este contato direto com o produto final é uma condição para a boa consumação de seu trabalho e até mesmo para a correção de pequenas imperfeições nas peças.

Destaque também para o caráter singular de cada ladrilho, que guarda na textura e na coloração detalhes sutis, impressos pelo ladrilheiro em seu fazer, frisando-se que as peças são sempre feitas uma a uma e em muitos casos trazem a identificação do artesão registrada em seu tarsoz.

2.2 SUSTENTABILIDADE

Para que se pudesse chegar a resultados ou características sustentáveis, ou ainda, ecoeficientes dos ladrilhos hidráulicos experimentais que foram produzidos em etapas posteriores desta pesquisa, viu-se a necessidade de compreender o tema: sustentabilidade e suas vertentes ligadas à construção civil.

O conceito de “sustentabilidade” foi mais intensamente difundido por volta da década de 1980, quando seu uso tomou dimensões econômicas, sociais e ambientais, na busca de uma nova forma de desenvolvimento.

A etimologia da palavra, entretanto, provém do latim e significa “suster, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir”. Assim, “sustentável” é tudo aquilo que pode ser mantido.

A ideia de desenvolver indicadores de sustentabilidade, no Brasil, surgiu na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92), conforme registra seu documento final, a Agenda 21. A proposta era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais. Para isso, tornou-se necessário definir indicadores que a mensurassem, monitorassem e avaliassem. Um indicador permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade (Mitchell, 1997), podendo sintetizar um conjunto complexo de informações e servir como um instrumento de previsão. No entanto, quando se trata de indicadores de sustentabilidade, o debate está apenas iniciando, pois não há uma fórmula ou receita para avaliar o que é sustentável (DEPONTIL et al., 2011).

O conceito de sustentabilidade propõe o máximo de satisfação das necessidades humanas com o máximo de preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais. Assim, para ser considerado “sustentável”, é preciso ser ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente diverso³.

De acordo com o Relatório de Brundtland – documento final da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) -, “o uso sustentável dos recursos naturais deve suprir as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de suprir as suas”⁴. Foi a partir da publicação desse relatório que a ONU propôs um debate mais intensificado sobre sustentabilidade.

Para o Brasil, a Agenda 21 está voltada para os problemas prementes de hoje e tem o objetivo, ainda, de preparar o mundo para os desafios do próximo século. Reflete um consenso mundial e um compromisso político no nível mais alto no que diz respeito a desenvolvimento e cooperação ambiental. O êxito de sua execução é responsabilidade, antes de qualquer coisa, dos Governos. Para

³ **O que é sustentabilidade.** Disponível em: <<http://www.sustentabilidade.org.br>>. Acesso em 11 de julho de 2011.

⁴ **Relatório de Brundtland.** Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/11641352/Relatorio-Brundtland-1987-Nosso-Futuro-Comum-Ingles>>. Acesso em 20 de julho de 2011.

concretizá-la, são cruciais as estratégias, os planos, as políticas e os processos nacionais. A cooperação internacional deverá apoiar e complementar tais esforços nacionais. Nesse contexto, o sistema das Nações Unidas tem um papel fundamental a desempenhar. Outras organizações internacionais, regionais e sub-regionais também são convidadas a contribuir para tal esforço. A ampla participação pública e o envolvimento ativo das organizações não governamentais e de outros grupos também devem ser estimulados⁵.

Desde a intensificação dos debates sobre sustentabilidade, no Brasil, especificamente, empresas e investidores ainda perdem oportunidades de criar vantagem competitiva, adotando políticas que visam preservar o desenvolvimento sustentável, já que, ao adotar medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa, por exemplo, um empresário passa a ter uma fonte de receita fixa e líquida, a médio e longo prazo (MURPHY, 2011).

Algumas empresas ainda têm receio de incorporar políticas sustentáveis em suas produções, porque essa implantação, em um primeiro momento, significa um empecilho para o crescimento econômico, parecendo desvinculado dos objetivos comerciais. No entanto, existem grupos de organizações que se esforçam para se adequar a essa política, e o mais importante, com êxito econômico (CHIARAVALLOTI, 2011).

Murphy (2011) constatou que grande parte das empresas brasileiras de pequeno e médio porte considera a importância de fatores ambientais como riscos de inundações, eficiência energética, diminuição da disponibilização de aquíferos subterrâneos, mas, na prática, essas empresas são cautelosas na implantação de um “desenvolvimento sustentável” de suas produções.

Devido à “revolução” causada pelas chamadas “tecnologias limpas”, estão facilmente dispostas às empresas os meios e as informações necessárias para a adaptação de negócios com investimento ambiental integrado.

Quando existentes na empresa, as “políticas verdes” são estruturadas no âmbito do marketing ou das ações sociais (NOVAIS, 2011).

Ram Nidumolu et al. (2011) apontaram os cinco passos que devem nortear as ações das empresas. São eles: ajustar-se à legislação vigente e adequar-se às normas e aos códigos de adesão facultativa, criados por entidades não

⁵ **Agenda 21**, Capítulo 1º - Preâmbulo, item 1.3. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/dsd/agenda21>>. Acesso em 14 de julho de 2011.

governamentais e associações, vendo tais normas como uma orientação e não como um fator impeditivo; fazer com que a cadeia de valores da empresa seja sustentável; criar produtos e serviços sustentáveis; desenvolver modelos de negócios baseados na sustentabilidade; e ter ações proativas, antecipando-se às tendências e ajudando a construir o futuro.

Assim, é possível concluir que as empresas que adotarem um modelo produtivo que valorize o desenvolvimento sustentável serão certamente bem-sucedidas.

Tomando como exemplo uma fábrica de Ladrilhos Hidráulicos e sua produção, é possível afirmar que esta, está integrada às questões ambientais se comparada à produção de revestimentos cerâmicos, isto, devido principalmente, aos distintos procedimentos de cura das peças. No entanto, as matérias-primas dos ladrilhos não possuem grande representação aos parâmetros de sustentabilidade.

Na prática, a indústria da construção civil, brasileira, preserva a mentalidade perdulária do século 20, mas, com o movimento mundial em defesa do meio ambiente, congressos, eventos e muitos estudiosos vêm discutindo formas de preservar recursos naturais e reduzir o desperdício de materiais, dessa maneira é possível notar que pequenas mudanças já estão ocorrendo.

2.2.1 Construção Sustentável

No início da década de 1990, as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo de forma incisiva, trazendo novos paradigmas.

O metabolismo das cidades é o grande responsável pelo consumo de materiais, água e energia, o qual produz grandes impactos negativos sobre o meio natural. E, muitos destes impactos negativos são gerados pelo setor da construção civil, respondendo por 40% do consumo mundial de energia e por 16% da água utilizada no mundo, de acordo com dados do *Worldwatch Institute*⁶.

É natural e necessário que a sustentabilidade assuma, gradualmente, cada vez mais importância neste cenário. A partir daí surgem os novos conceitos, como por exemplo, o de Construção Sustentável, que se baseia no desenvolvimento

⁶ **Worldwatch Institute**. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org/>>. Acesso em 12 de julho de 2011.

de modelos que permitam à construção civil enfrentar e propor soluções aos principais problemas ambientais de nossa época, sem renunciar à moderna tecnologia e a criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários.

O projeto sustentável, por ser interdisciplinar e ter premissas mais abrangentes, garante maior cuidado com as soluções propostas, tanto do ponto de vista ambiental quanto dos aspectos sociais, culturais e econômicos. O resultado final dessa nova arquitetura ecológica, verde e sustentável, proporciona grande vantagem para seus consumidores. Afinal, tomando a edificação de uma casa como exemplo, não bastaria apenas ter um projeto arquitetônico que possibilitasse espaços com características sustentáveis, mas, além disso, que utilizassem nestes espaços elementos construtivos ecoeficientes.

2.2.2 Avaliação Ambiental

A fim de adequar a arquitetura e seus componentes ao debate ambiental, diversos países criaram critérios de avaliação para construções sustentáveis. Os métodos para avaliação ambiental de edifícios surgiram na década de 1990 na Europa, EUA e Canadá com a intenção de encorajar o mercado a obter níveis superiores de desempenho ambiental. Pelo fato das agendas ambientais serem diferenciadas, os métodos empregados em outros países não devem ser utilizados sem as devidas adaptações, incluindo a definição dos requisitos de sustentabilidade que devam ser atendidos pelos edifícios no Brasil.

Atualmente, muitos países europeus, além dos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão entre outros, possuem um sistema de avaliação de edifícios. No Brasil, o atestado de boa conduta ambiental e social mais difundido é a Certificação LEED do USGreen Building Council (GBC) - Conselho Norte Americano de Prédios Verdes. No entanto, outros sistemas de certificação estão começando a despontar. A Fundação Vanzolini, instituição mantida por professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), em abril de 2008 lançou a certificação brasileira para empreendimentos sustentáveis: Alta Qualidade Ambiental (AQUA), que foi adaptada para atender as características ambientais no Brasil.

2.2.2.1 *Certificação Brasileira*

Os benefícios de um Empreendimento Certificado Processo AQUA são: qualidade de vida do usuário; economias de água, energia, disposição de resíduos e manutenção; e contribuição para o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental da região.

Para obter a certificação o empreendedor da construção deve estabelecer o controle total do projeto em todas as suas fases – Programa, Concepção (Projeto), Realização (Obra) e Operação (Uso), por meio do sistema de Gestão do empreendimento (SGE), para que sejam atendidos os critérios de desempenho da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).

A certificação é concedida ao final de cada fase, mediante verificação de atendimento ao Referencial Técnico.

O Referencial Técnico – Processo AQUA é a adaptação para o Brasil da “Démarche HQE”, da França e contém os requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e os critérios de desempenho nas categorias da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). Os requisitos do SGE exigem o comprometimento com o perfil de QAE visando o acompanhamento, análise e avaliação da QAE ao longo do empreendimento, entre outros.

Os critérios de desempenho da QAE abordam a eco-construção, a eco-gestão e a criação de condições de conforto e saúde para o usuário.

O AQUA é o primeiro selo que levou em conta as especificidades do Brasil para elaborar seus 14 critérios – que avaliam a gestão ambiental das obras e as especificidades técnicas e arquitetônicas. São eles:

Eco-construção; relação do edifício com o seu entorno;
Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos e canteiro de obras com baixo impacto ambiental.
Gestão da energia, da água, dos resíduos de uso e operação do edifício e manutenção: permanência do desempenho ambiental.
Conforto higrotérmico, acústico, visual e olfativo.
Saúde - qualidade sanitária dos ambientes, do ar e da água.

2.2.2.2 Certificação das Manufaturas

A ABNT ISO 14020 (2002 p. 1-2), explicita que:

Rótulos e declarações ambientais fornecem informações sobre um produto ou serviço em termos de suas características ambientais gerais, ou de um ou mais aspectos ambientais específicos. [...] pode aparecer sob forma de um texto, um símbolo ou elemento gráfico no rótulo de um produto ou numa embalagem, na literatura sobre o produto, em boletins técnicos, em propaganda ou publicidade, entre outras coisas. [...] A meta geral dos rótulos e declarações ambientais é [...] promover a demanda e fornecimento dos produtos e serviços que causem menor impacto ambiental, estimulando assim, o potencial para uma melhoria ambiental contínua, ditada pelo mercado.

O conceito de produto ecológico, ecoproduto ou ecoeficiente ainda é uma nebulosa para a maior parte dos consumidores brasileiros. Pois ainda é difícil evidenciar que um produto é realmente ecológico ou, ainda, que é mais ou menos ecológico do que outro destinado à mesma função.

A forma mais segura de identificação para o consumidor é a partir dos Selos Verdes.

O Selo Verde não é apenas uma logomarca ou um rótulo com a palavra "ecológico" na embalagem de um produto, mas o resultado de uma avaliação técnica criteriosa, na qual serão levados em conta aspectos pertinentes ao seu ciclo de vida, como matérias-primas (natureza e obtenção), insumos, processo produtivo (gastos de energia, emissão de poluentes, uso de água), utilização e descarte. Segundo o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA, no Brasil, os selos verdes existentes para manufaturas só atingem dois segmentos: produtos orgânicos (alimentícios) e madeira⁷.

No entanto, fabricantes estão antecipando futuras regulamentações através da construção de programas que os auxiliem nos seus sistemas de gestão de qualidade. Ainda sim, pode se afirmar para que o ecomercado possa crescer saudável, será fundamental que no Brasil surjam selos verdes como já existem em outros países no mundo. O IDHEA aponta que esse selo verde não precisaria ser

⁷ INSTITUTO para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. **Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável**. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br>>. Acesso em 29 de setembro de 2011.

exclusivamente de caráter oficial. Nos EUA, o mais importante selo verde é conferido por uma entidade não governamental, a ONG Green Sea I. Afirmam que seria importante que entidades privadas assumissem o papel, para impedir que corporações possam tentar corromper a máquina governamental para fazer valer seus interesses.

Diante disso acredita-se que em um futuro próximo não apenas as edificações serão certificadas, mas também os elementos que as constituem. Dessa maneira torna-se ainda mais compensador direcionar estudos e pesquisas para o desenvolvimento de materiais da construção civil com características sustentáveis. Diante deste ideal sustentável, é embasado o interesse desta pesquisa em incorporar resíduos sólidos na mistura que compõe os ladrilhos hidráulicos, a fim de gerar características ecoeficientes e inseri-los nesse novo nicho de mercado.

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Infelizmente, junto aos crescentes avanços econômicos que o Brasil vive, cresce ao mesmo tempo a geração de resíduos sólidos urbanos em muitas cidades brasileiras, logo, todo princípio sustentável vem à tona e a preocupação com o tema torna-se ainda maior.

Sabe-se que a humanidade, através dos séculos, vem conquistando espaços quase sempre em detrimento de uma contínua e crescente pressão sobre os recursos naturais. A construção civil, apesar de seus reconhecidos impactos socioeconômicos positivos para o país, é um dos setores que mais utiliza recursos naturais não renováveis (JÚNIOR, 2005).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2007), afirma que 18% do produto interno bruto (PIB) brasileiro correspondem à indústria da construção civil, em contra partida, pode-se afirmar que este setor é o que mais gera resíduo.

Dentre os impactos ambientais promovidos pela indústria da construção civil, outro fator não menos importante, faz referência ao grande consumo de materiais. A demanda cada vez maior na utilização de agregados miúdos deve ser considerada e avaliada, pois, isso desperta para a necessidade de diminuir a extração de areia natural, por exemplo, que tem levado a exaustão de reservas próximas aos grandes centros.

Com o esgotamento das reservas próximas ao consumidor, aumenta-se o custo de transporte, pedágios, limite de carga e embutido a tudo isso o gasto com o consumo de pneus.

Estes fatores negativos tornam-se ainda mais graves quando se associa ao elevado consumo de agregados miúdos com o comprometimento da fauna e flora aquática de onde são dragados.

Isso desperta para a necessidade de se diminuir a dragagem de areia natural dos leitos de rios e buscar novos materiais que possam substituir a areia natural.

A possibilidade de obtenção de agregados miúdos por meio da cominuição de rochas basálticas pode ser uma excelente opção, pelas características desse material e ainda por, em muitos casos, ser também um passivo ambiental se não for conferida gestão adequada no seu processo de adequação granulométrica.

Outro fator preocupante, o qual pode ser diretamente ligado à utilização dos agregados miúdos, refere-se ao descarte de pneus. Além do transporte dos agregados cada vez mais distante dos grandes centros, o aumento da frota nacional de veículos faz aumentar constantemente a produção e consumo de pneus e, logo, o seu crescente descarte.

A indústria brasileira de pneus produziu, em 2009, o total de 61,3 milhões de unidades, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, apud ANIP (2010). Numa perspectiva global, estima-se uma produção de 2 milhões de unidades de pneus novos por dia.

Já o descarte de pneus usados ultrapassa, anualmente, a marca de quase 800 milhões de unidades (LUND, 2001). Segundo dados de organizações não governamentais – ONG's, no Brasil, quase metade da produção de pneus é descartada no mesmo período.

O descarte de pneus inservíveis pode ser feito encaminhando-os para reciclagem, desta forma, agregando certo valor econômico, quando não submetidos à recauchutagem. Caso contrário, não encontrando recuperação ou mercado, estes descartes se constituem em um grave problema para o meio ambiente.

Tudo isso conduz a comunidade científica a uma busca intermitente de novos materiais provenientes da reciclagem. Contudo, as práticas de reciclagem

e/ou reutilização exigem estudos e pesquisas além de uma gestão rigorosa e adequada nos setores.

Perante os fatos, verifica-se a possibilidade de obtenção de agregados miúdos por meio da utilização de resíduos sólidos urbanos, como a reciclagem de resíduos da construção civil, pela cominuição de rochas ou ainda pela reciclagem de borracha de pneus.

Este trabalho, a luz da sustentabilidade, buscou conhecer esses três materiais: resíduos da construção civil (RCC), resíduos de britagem basáltica e borracha de pneus.

Para que, por meio das suas distintas formas de reciclagem, pudessem ser testados e possivelmente inseridos na cadeia de produção de ladrilhos hidráulicos.

2.3.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

A indústria da construção civil, em função das características particulares do seu processo produtivo, constitui-se em uma grande geradora de detritos, denominados resíduos de construção civil (RCC). Estimativas de geração anual de RCC apontam índices mundiais variáveis. Na década passada, John (2000) apontava que Estados Unidos, Japão e Alemanha apresentavam os maiores índices. De acordo com Angulo (2005), os resíduos da construção civil representam 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Uma estimativa aponta, para o Brasil, um montante de 68,5 milhões de toneladas por ano, visto que 137 milhões de pessoas vivem no meio urbano. PINTO (1999), já apontava para o Brasil uma porcentagem destes resíduos em torno de 50% do volume total de RSU. Kazmierczak (2010) relata uma possível causa para o crescente aumento na quantidade de resíduos, seria, em função do constante acréscimo do volume de novas construções com baixa qualidade nos projetos e na execução, o que leva a pequena vida útil de boa parte delas. No entanto, nota-se que, de certa forma, o percentual de geração de RCC se manteve quando comparado às afirmações de Pinto (1999) e Angulo (2005).

Os RCC apresentam elevado potencial de reciclagem, proporcionando o reaproveitamento. No Brasil, a reciclagem de RCC deu-se a partir da década de 1980, através do uso de “maseiras moinho”, equipamento

considerado de pequeno porte, o qual tinha sua utilização, exclusivamente, em obras de edificações, propiciando a moagem de resíduos menos resistentes, como os de alvenaria e de argamassa, possibilitando a reutilização daquele material reciclado (PINTO, 1999).

Desde então, com um início pouco expressivo ao o que vemos hoje, existe uma inquietação do setor da construção civil em busca da sustentabilidade através do controle da extração dos recursos naturais, da redução da poluição e do gerenciamento de seus resíduos. Entretanto, Zordan (1997) já destacava que o gerenciamento dos RCC em cidades de grande porte costuma ser difícil e oneroso, e a tendência é que as dificuldades aumentem nas mesmas proporções do volume de RCC gerado. Devido à dificuldade e falta de lugares adequados para dispor esse material e, ainda, pelas distâncias cada vez maiores de transportes.

Com a quantidade de resíduos gerados pelo setor da construção civil em constante crescimento, substancialmente, justifica a necessidade de se buscar alternativas para reduzir a geração e o acúmulo destes.

A criação de políticas voltadas para o gerenciamento do RCC tem grande importância, como por exemplo, a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Esta resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, disciplinando as ações necessárias, de maneira, a minimizar os impactos ambientais e exigindo que as empresas de construção, elaborem estratégias para minimização e destinação correta dos resíduos gerados durante o processo.

A Resolução nº 307/2002 classifica os resíduos sólidos da construção civil em quatro diferentes classes:

- Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (tijolo, concreto, etc.);
- Classe B – resíduos reutilizáveis/recicláveis para outras indústrias (plástico, papel, etc.);
- Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias viáveis que permitam sua reciclagem (gesso e outros);
- Classe D – resíduos perigosos (tintas, solventes, etc.), ou contaminados (de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros).

Mesmo com iniciativas públicas atuantes, ainda há outras, diversas, estratégias que podem ser adotadas visando à minimização de resíduos, como por exemplo, ações de cunho gerencial como alterações em procedimentos e práticas operacionais com o objetivo de prevenir perdas e reduzir custos; melhorias no processo, no layout do canteiro de obra e dos equipamentos; aumento no nível de automação; e ainda, a adoção de estratégias para a redução do consumo de insumos como água e energia; com relação às tecnologias e materiais utilizados, podem-se adotar tecnologias mais limpas, como a utilização de componentes pré-fabricados, ou especificar materiais e componentes com maior vida útil.

A minimização do consumo de matérias-primas não renováveis, por meio da reciclagem de resíduos, também, é uma boa alternativa. O cimento Portland é um exemplo expressivo desta alternativa, no qual mais de 50% do clínquer⁸ é substituído por resíduos de outros processos industriais, tal como as cinzas volantes (pozolanas) e a escórias de altos fornos. O co-processamento de resíduos na fabricação do cimento, não apenas reduz a quantidade de resíduos, mas também pode proporcionar economia de energia, água e matérias-primas.

2.3.1.1 *Reciclagem do RCC*

A principal forma de reciclagem do RCC, atualmente, consiste na moagem dos resíduos, conforme apresenta a figura 15, e sua posterior utilização na execução de concretos, argamassas ou na produção de bases de pavimentação.

⁸ O clínquer com a adição de sulfato de cálcio, na fase básica de fabrico, resulta no cimento Portland tipo CPI, a partir do qual se fabrica os cimentos compostos, habitualmente com a adição de pozolana, filer calcário e/ou escória siderúrgica. Fonte: Prof. Dr. Gilson Morales, em 19 de maio de 2010.

Figura 15 – Moagem do RCC em Londrina

Fonte: O autor, 2010.

Para que a escolha do agregado de RCC reciclado seja eficiente é necessária uma análise conjunta das suas características técnicas, ambientais e financeiras. É fundamental ressaltar que a reciclagem do RCC deve ser precedida e acompanhada de estudos tecnológicos adequados, a fim de garantir as propriedades do material no qual o RCC reciclado será incorporado. Pois a composição do RCC exerce uma forte influência nas características da argamassa ou concreto onde é utilizado. A composição e a proporção dos materiais que compõem o RCC de determinada região é muito variável e depende de condicionantes locais (figura 16). No beneficiamento do RCC são separados manualmente os materiais que não são processados pela usina, como os resíduos de ferro, madeira, papéis e plásticos.

Figura 16 – Resíduos da construção civil de Londrina e região



Fonte: O autor, 2010.

A falta de conhecimento tecnológico sobre os resíduos gerados pelo setor, e de dados que permitam a especificação de alternativas adequadas para sua reciclagem, preocupam os órgãos públicos responsáveis pela implementação da citada resolução do CONAMA, também, as empresas de construção civil que devem adaptar-se às exigências da regulamentação.

Mesmo que exista uma grande heterogeneidade dos agregados graúdos de RCC, e na maior parte dos casos inadequado para utilização em concretos (dependendo da classe de resistência), ou ainda, os agregados miúdos apresentarem problemas de forma e necessitarem de eleva demanda de água, em muitos casos sendo inviável sem uso expressivo de aditivo, ainda sim, ao invés de ser encarado como um ônus, o RCC pode ser entendido como uma oportunidade de negócios, através da sua reciclagem (figura 17).

É necessário conhecer plenamente o material a ser reciclado e este especificado pode trazer benefícios financeiros e também ser utilizado como instrumento de marketing pela empresa.

Figura 17 – Agregado da reciclagem de RCC em Londrina



Fonte: O autor, 2010.

Desta forma, não há dúvidas que o aproveitamento de resíduos é uma boa saída. É uma ação que deve ser incluída nas práticas comuns de produção de edificações e possíveis manufaturas, visando sua ecoeficiência, proporcionando economia de recursos naturais e minimização dos impactos ao meio-ambiente. O potencial de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos da construção pode ser enorme, e a exigência da incorporação destes resíduos em determinados produtos pode vir a ser extremamente benéfica, já que proporciona, também, economia de matéria-prima e energia.

Partindo dessa constatação, o interesse em buscar meios e soluções que possam contribuir para cessar, ou ao menos diminuir os danos causados pelo RCC ao meio ambiente, gera um interesse ainda maior pela pesquisa.

2.3.2 Pneus Inservíveis

Os pneus descartados na natureza constituem, nos países desenvolvidos e em muitos, em via de desenvolvimento, um enorme passivo ambiental. Na Comunidade Econômica Européia são descartados 180 milhões de pneus, anualmente, e outros 150 milhões somente nos Estados Unidos onde 3 bilhões de pneus formam montanhas em áreas desérticas, sob iminente ameaça de devastadores incêndios, o que liberaria gases tóxicos na atmosfera. Só no Brasil são

produzidos cerca de 40 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período (ANIP, 2010).

Dos pneus inservíveis, atualmente, 49% estão sendo depositados em aterros, 33% estão sendo reprocessados e recuperados em diversos outros usos, 10% são depositados ilegalmente, 5% é utilizado para recuperação energética e 3% para outros usos diversos como a construção civil.

A disposição em aterros sanitários tem se mostrado inadequada, por diversas razões, uma delas seria pela difícil compactação do material. Assim, vários países adotam medidas para que se dê destinação mais adequada aos pneus descartados.

Pode-se considerar que o Brasil se colocou em posição mais avançada na questão de disposição final dos pneus descartados.

A Resolução nº. 258/1999 do CONAMA determinou que as empresas fabricantes e importadoras de pneus fossem as responsáveis pela destinação final, iniciando com a responsabilidade de dar destinação correta a um pneu inservível (figura 18), para cada quatro novos produzidos a partir de janeiro de 2002 e crescendo esta responsabilidade ano a ano a proporção, até chegar a cinco pneus para cada quatro a partir de janeiro de 2005.

Figura 18 – Pneus inservíveis



Fonte: Buscala, 2011.

Este tipo de descarte pode acarretar graves problemas, uma vez que os pneus são de degradação lenta (cerca de 500 anos), além de ocuparem muito espaço e apresentarem difícil compactação. Outro agravante é que, ao serem queimados, geram uma fumaça negra com forte odor devido à liberação de dióxido de enxofre. Em função destes inúmeros problemas, estudos desenvolvidos em várias áreas se propõem a amenizar as consequências decorrentes deste produto.

2.3.2.1 *Reciclagem de Pneus*

A recuperação ou regeneração de pneus exige a separação da borracha vulcanizada dos outros componentes, como metais e tecidos. Assim, processos de recuperação e regeneração vêm sendo pensados dia a dia, e muitas soluções já estão sendo realizadas.

Uma forma de reciclagem dos pneus é recortá-los em lascas e submetê-los a uma classificação por um sistema de peneiras. Posteriormente, as lascas são moídas e submetidas à digestão em vapor d'água e produtos químicos, como álcalis e óleos minerais, para desvulcanizá-las. Este produto pode ser então refinado em moinhos, até a obtenção de uma manta uniforme, ou extrudado para a geração de grânulos de borracha. Este material tem várias utilidades, como, cobrir áreas de lazer e quadras esportivas, fabricar tapetes para automóveis, saltos e solados de sapatos, colas e adesivos, câmaras de ar, tiras para indústrias de estofados, buchas para eixos de veículos pesados, entre outras.

O pneu pode ser utilizado ainda, como combustível, pois se constitui em um grande gerador de energia, com poder calorífico de 12 mil a 16 mil kcal/kg, superior ao do carvão, que em média é de 7 mil kcal/kg (Nohara et. al., 2005). Já o processo de recauchutagem de pneus dá origem a raspas, que podem ser aplicadas na pavimentação de estradas, misturadas ao asfalto, aumentando a elasticidade dos pavimentos.

As raspas de pneus (figura 19) são obtidas através de processo mecânico de raspagem dos pneus por meio de cilindros ranhurados, utilizado para preparar a superfície do pneu para a recauchutagem, e podem ainda ser utilizadas adicionadas a concretos e argamassas. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para analisar o desempenho desta adição.

Figura 19 – Lascas de borracha de pneus utilizados na pesquisa



Fonte: O autor, 2011.

Toutanji (1999) concluiu que a incorporação de raspas de pneus ao concreto provoca uma perda na resistência à compressão e à tração por flexão, sendo que a resistência à compressão sofre o dobro da redução em relação à resistência à tração. Este decréscimo na resistência está possivelmente relacionado ao desempenho da borracha, a qual resiste pouco ao carregamento em relação aos outros componentes, ao mesmo tempo em que possibilita maior deformação. No entanto, outros estudos apontam que a resistência à compressão e, também, outras propriedades do concreto, podem ser melhoradas utilizando-se a borracha, como por exemplo, na contenção da propagação de fissuras e resistência a impactos.

De acordo com Accetti et al. (2000), as fibras de borracha atuam como obstáculos ao desenvolvimento das fissuras. Estas raspas interceptam as microfissuras que surgem durante o endurecimento da pasta de cimento, impedindo a sua progressão, bem como, evitando seu aparecimento prematuro. Ainda, na mistura endurecida, as raspas limitam o comprimento e a abertura das fissuras. Os efeitos da borracha nas propriedades mecânicas do concreto se verificam, particularmente, no decréscimo da resistência mecânica, tanto à compressão quanto à tração, o que se reflete na redução significativa do módulo de elasticidade.

Ribeiro et al. (2002) analisaram a influência da adição de raspas de borracha de pneus na deformação do concreto e observaram que uma substituição de 5% de agregado graúdo por raspas de granulometria equivalente à brita zero

(dimensão máxima de 9,5 mm) conduz a um aumento de 48% na deformação do concreto. O aumento desta taxa de substituição para 10% eleva a deformação para 147%.

Segundo El-Gammal et al. (2010) a substituição total da brita 0 por raspas de pneu reduziu à 90% a resistência do concreto em relação ao concreto de referência, e a substituição total da areia por borracha de pneu moída causou uma redução de 81,5% na resistência de referência. Já a substituição de 50% de areia por borracha moída causou uma redução de 80%.

Nirschl et al. (2002) realizaram um estudo de viabilidade técnica para a produção de blocos de concreto com substituição de areia por resíduos de pneu com granulometria inferior a 3mm. Os autores observaram que uma substituição de 10% por resíduos mantêm a resistência e a taxa de absorção de tensões em níveis satisfatórios, porém, o aumento do percentual de resíduos de borracha conduz a uma diminuição da resistência.

Em relação às propriedades elásticas da borracha de pneu no concreto, segundo Albuquerque et al. (2001) a queda da resistência mecânica à compressão é compensada pelo aumento da capacidade de deformação, ou seja, a energia necessária para levá-lo a ruptura é maior que no concreto convencional.

Diante da análise dos distintos resultados encontrados na literatura, serão ensaiados concretos com adição e substituição do agregado miúdo por raspas de pneus, a fim de se obter um referencial para numa segunda etapa inserir e testar este resíduo na mistura para produção de ladrilhos hidráulicos.

2.3.3 Resíduos de Britagem Basáltica

A areia produzida pela moagem de rochas de origem basáltica, material particularmente abundante na Região Norte do Paraná, gera uma grande quantidade de material fino, e este resíduo se não for depositado em local apropriado, muitas vezes, é lançado no meio ambiente provocando diversos problemas ao local.

Na busca para minimizar custos e preservar a natureza, a indústria da construção civil tem se utilizado, a cada dia, de novos materiais, como a areia industrial, que provém da moagem do basalto, em substituição à areia natural lavada de rio. Junto a produção deste agregado para substituição a areia natural, tem

majorando a quantidade de resíduos gerados no processo de adequação granulométrica, por meio da lavagem para a remoção do excesso de finos.

Conseqüentemente, a excessiva finura destes resíduos se torna um problema na produção de agregados artificiais, gerando um grande passivo ambiental. Em virtude disto, surge à preocupação em se utilizar estes resíduos, a princípio na produção de concretos.

O basalto é uma das rochas mais encontradas na superfície terrestre, formada pela solidificação de lavas vulcânicas. Possui até 20% em volume de quartzo, até 10% de olivina, também, teores superiores a 35% de feldspatos e anortita rica em plagioclásio. (TUGRUL, 2005)

De acordo com a classificação proposta por Tugrul (2005), as rochas com teor de sílica (SiO_2) entre 45% e 52% e teores de óxidos de sódio e potássio (Na_2O , K_2O) até 5% são classificadas como basalto. Sua cor característica é acinzentada, decorrente da presença dos óxidos de ferro e magnésio.

O aproveitamento dos finos gerados pelo processo de britagem não é um assunto inovador. De acordo com Nugent (1979) apud Menossi (2004), este material já era utilizados desde séculos passados em diversos países, tendo como exemplo os EUA e o Canadá. Atualmente esses finos podem ser utilizados na execução de concretos com finalidade estrutural, na produção de blocos de concreto, e nas camadas de subleito asfáltico e nas camadas de concreto compactado a rolo (CCR). Entretanto, destaca-se que a o descarte incorreto de sua fração granulométrica abaixo de 0,075 mm pode ocasionar uma série de impactos ambientais.

Durante o processo de beneficiamento do basalto para a produção de agregados é grande o volume de material rejeitado por não corresponder às especificações granulométricas adequadas para o uso em concretos e argamassas. O material apresenta grande potencial para uso na composição de concretos, podendo apresentar excelentes características estruturais se dosado corretamente, o que pode garantir reduções de custos na produção de artefatos de concreto, diminuindo o consumo da habitual areia natural lavada de rio. Segundo Levy (2005), apesar de não ser habitual a produção de concreto com material reciclado, percebe-se que há uma tendência generalizada neste sentido. E a utilização de resíduos de pedreiras, por meio de uma gestão diferenciada e sustentável, pode evitar sérios danos ao meio ambiente.

O perfil mineralógico e granulométrico dos resíduos de basalto indica um potencial promissor para se produzir um concreto especial, que atenda às solicitações mecânicas e químicas. Esta adição pode melhorar as condições de empacotamento dos agregados que, dispostos na mistura, melhoram as faixas granulométricas e proporcionam melhor desempenho. Conforme afirma Marangon (2006), a graduação adequada dos agregados tem grande influência no desempenho do concreto.

Entende-se que o aumento da resistência do concreto está associado a uma microestrutura mais densa e com menos vazios, ou seja, com um grau de empacotamento satisfatório da mistura, reduzindo assim a permeabilidade, aumentando a estabilidade dimensional, melhorando a resistência à abrasão e dificultando o ataque de agentes agressivos, o que significa, melhorando a durabilidade, fator este diretamente ligado à política da sustentabilidade.

De modo geral, Almeida (1996) recomenda que os agregados apresentem as seguintes características: boa resistência à compressão, módulo de elasticidade maior ou igual ao da pasta de cimento, forma e textura superficial que favoreçam a aderência com a pasta, propriedades químicas adequadas para evitar deterioração devido à composição do cimento ou ataque de agentes externos, ainda, devem ser limpos e isentos de substâncias deletérias. Com estas características bem definidas em relação aos agregados, pode-se chegar a uma composição de matrizes densas obtidas a partir da otimização do empacotamento dos materiais granulares.

Neste sentido, Lisboa (2004) e Cavalcanti (2006) discutem que, o acréscimo de resíduos como adições minerais ao concreto vem permitindo a produção de um material com ótimas características de desempenho, e ainda, diminuindo o comprometimento com o meio ambiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Em princípio foram levantadas e analisadas as normas vigentes no Brasil a respeito de Ladrilhos Hidráulicos, também, sobre aspectos históricos, sua produção, componentes e o estado da arte. Entretanto, verificou-se pela revisão bibliográfica a escassez de material sobre o tema, desta forma, foram feitas visitas a fábricas de ladrilhos hidráulicos em operação no Estado de São Paulo.

Nas fábricas visitadas podem ser identificados os materiais atualmente empregados, as ferramentas e equipamentos, a dosagem dos materiais e os procedimentos adotados na produção dos ladrilhos hidráulicos, também, foram recolhidos amostras dos materiais utilizados na produção e, ainda, peças para servirem de ladrilhos testemunhas para efeito de comparação com os ladrilhos hidráulicos experimentais, nos quais foram incorporados resíduos sólidos, visando dar características ecoeficientes as peças.

3.1 ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETOS

Antecipando a identificação do processo de produção de ladrilhos hidráulicos, e inicialmente, atendendo as especificações contidas na NBR 9457:1986 a qual indica o concreto como material constituinte do corpo do ladrilho hidráulico, foram ensaiados os materiais convencionais a serem utilizados na pesquisa, segundo a seguinte programação de ensaios:

Cimento Portland: Ensaio de Finura, Massa Específica, Massa Unitária, Ensaio de Pega.

Agregados: Análise Granulométrica, Massa Específica, Massa Unitária, Absorção e Material Pulverulento.

Foram desenvolvidos diferentes traços de concreto, tanto convencional, como com incorporação de resíduos, adequando-se a consistência às condições de moldagem das peças.

A partir do traço empírico de concreto convencional em massa 1 : 2 : 3, utilizando cimento Portland CP II E – 32 e CP V – ARI, foram desenvolvidos outros diferentes traços de concreto e moldados corpos de prova cilíndricos 100 X 200 mm, os quais foram ensaiados à compressão axial e à tração por compressão diametral.

3.2 ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO À POLÍTICA DA SUSTENTABILIDADE

Foram feitos estudos para a caracterização de três diferentes resíduos sólidos: agregado miúdo de resíduos da construção civil (RCC), finos de resíduo de britagem basáltica e resíduos de borracha de pneus na forma de raspas.

Buscou-se, por meio da reciclagem destes materiais, incorporá-los na mistura para execução de ladrilhos hidráulicos. Assim, acredita-se que seja possível intervir nos efeitos nocivos desses resíduos ao meio ambiente, e em seguida propiciar características ecoeficientes aos ladrilhos.

A proposta de adequação do processo de produção dos ladrilhos hidráulicos à política da sustentabilidade se deu por etapas, a primeira realizando os seguintes ensaios dos materiais: massa específica; massa unitária; análise granulométrica.

Na sequência, realizou-se o estudo dos concretos, como sugere a norma para ladrilhos hidráulicos (NBR 9457:1986). Assim, foram desenvolvidos e testados traços incorporando os resíduos aos concretos, os quais foram analisados no estado fresco e endurecido, sendo avaliadas suas propriedades.

Em função dos melhores resultados obtidos, os traços foram adequados e estabelecidos os teores de umidade apropriados para o processo de produção de ladrilhos hidráulicos, o qual requer um material de consistência seca (farofa), de acordo com as necessidades para execução. Na sequência, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 50 x 100 mm, compactados com um soquete adaptado pelo autor, a fim de obter condições mais semelhantes às da moldagem e prensagem dos ladrilhos hidráulicos.

Por meio destes estudos, chegou-se a traços mais apropriados para o processo, visando ainda à incorporação dos resíduos ao processo de produção dos ladrilhos.

A etapa seguinte a dosagem e ensaios dos concretos consistiu na execução dos ladrilhos hidráulicos para posteriores ensaios, incluindo a incorporação dos resíduos. Este processo de produção ocorreu na Fábrica de Ladrilhos Hidráulicos São Francisco, na cidade de Sorocaba - SP, a qual ofereceu suporte necessário para a pesquisa.

3.3 ENSAIOS DOS CONCRETOS COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS

Seguindo a definição da NBR 9457:1986, a qual define ladrilho hidráulico como sendo “placas de concreto de alta resistência”, foram realizados os três ensaios utilizando os concretos com a incorporação dos três resíduos estudados, a fim de avaliar o desempenho destes resíduos enquanto constituintes dos concretos. Frisa-se que nesta etapa não houve a preocupação de direcionar as propriedades destes concretos às características de produção dos ladrilhos hidráulicos, isso porque o objetivo nesta fase foi exclusivamente conhecer e analisar os resíduos incorporados aos concretos para, numa etapa posterior, conhecendo seu desempenho, obter dosagens ótimas para a produção dos ladrilhos com características ecoeficientes.

3.4 DEFINIÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS CONSTITUINTES DOS LADRILHOS HIDRÁULICOS

Foram realizados estudos de dosagem baseados no empacotamento de partículas por meio da granulometria dos materiais e da eficiência de compactação, este estudo se deu pela medida da massa unitária da mistura anidra. A partir daí, foi estabelecida a composição das três camadas componentes do ladrilho hidráulico separadamente, para atendimento à NBR 9457, sejam elas: do revestimento pigmentado, do secante e da mescla (tardoz).

O estudo de dosagem de cada uma destas camadas foi desenvolvido por meio da produção de cada mistura e posterior avaliação de desempenho através da moldagem e ruptura à compressão axial de corpos de prova cilíndricos 50 x 100 mm, após cura em câmara úmida durante 28 dias.

3.5 PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DE LADRILHOS HIDRÁULICOS

Para a apropriação do processo de produção dos ladrilhos hidráulicos foram realizadas visitas a fábricas em operação, as quais utilizam proporções empíricas na dosagem do produto.

Foi escolhida uma fábrica na qual foram produzidos ladrilhos empregando os materiais estudados, seguindo o método convencional de produção, de forma a verificar a adequabilidade dos materiais ao processo.

Foi feita a análise de cada operação unitária do processo de produção, buscando sua otimização. A partir dessa etapa, foram produzidas dez unidades de ladrilhos testemunhas (ladrilhos hidráulicos produzidos segundo o traço e os materiais convencionais utilizados na fábrica) e dez unidades de cada um dos traços com a incorporação dos três diferentes resíduos.

Após a desforma das peças, os ladrilhos hidráulicos permaneceram armazenados por 12 horas à sombra, em local arejado, e após este período foram submetidos à cura por imersão em água por 24 horas. Na sequência, as peças foram dispostas verticalmente em prateleiras, à sombra, por mais 48 horas. Após o período de 28 dias, as peças foram embaladas e transportadas da fábrica de Sorocaba - SP para o Laboratório de Materiais da Universidade Estadual de Londrina, onde os ladrilhos foram submetidos a ensaios de avaliação de desempenho.

3.6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS PEÇAS PRODUZIDAS

Para realização dos ensaios de avaliação de desempenho, visando atender aos limites prescritos pela NBR 9457, foi feita a avaliação visual das peças, a verificação da variação dimensional, absorção de água e resistência à flexão.

3.6.1 Avaliação Visual

A avaliação visual consistiu em verificar se a qualidade da superfície aparente das peças foi alcançada uniformemente e mantida durante a cura sob os seguintes aspectos: integridade da forma das peças, ocorrência de manchamento, falhas no design de superfície dos ladrilhos e variação da tonalidade das cores empregadas.

A análise visual foi realizada nas peças saturadas com superfície seca, nas idades de 3 e 28 dias.

3.6.2 Verificação da Variação Dimensional

Na verificação da variação dimensional dos ladrilhos hidráulicos, foi observado se as dimensões das peças coincidiam com as dimensões das fôrmas e se variaram no intervalo de tempo entre a desforma e o fim da cura. Foram utilizadas fôrmas de 200 x 200 mm. As medições foram realizadas com paquímetro eletrônico.

3.6.3 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio para determinação da absorção de água dos ladrilhos hidráulicos foi realizado seguindo recomendações da NBR 9457:1986, NBR 9778:1987 e da NBR 13818:1997. Foram utilizadas peças com dimensões de 200 x 200 x 20 mm, imersas verticalmente, com o nível de água de aproximadamente 5 cm acima delas. Na data do ensaio com as peças secas, a temperatura ambiente, foi determinada a massa em balança com resolução de 0,01 % da massa da peça. Em seguida, as peças foram encaminhadas para recipientes com água e mantidas por 24 horas à temperatura ambiente de ± 25 °C, conforme a figura 20.

Figura 20 - Ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2012.

Após o intervalo de 24 horas as peças foram retiradas da água e secadas as superfícies de cada uma delas com toalha absorvente e determinada a massa saturada. O teor de absorção de água é expresso na porcentagem da diferença de massa entre a peça saturada e a peça seca em relação à massa da peça seca.

3.6.4 Ensaio de Resistência à Flexão

Os ensaios de flexão em ladrilhos hidráulicos foram realizados em Máquina Universal de Ensaios EMIC DL 300000, com célula de carga para 500 kg. Foi utilizado *script* para ensaio de flexão de vigas (NBR 7190), visto que a NBR 9457 não apresenta condições ou metodologia de ensaio. E, a fim de se obter controle da velocidade de carregamento especificado na MB 3483, foram utilizadas as prescrições de flexão da NBR 7190. Assim, seguindo recomendações da norma, foram rompidos oito ladrilhos (200 x 200 mm com espessura média de 20 mm) de cada traço, com carregamento contínuo e sem choques, a uma velocidade de 1 MPa/min, até a ruptura. Os ladrilhos hidráulicos foram solicitados à flexão por meio de dois apoios, sendo a distância entre eles de 180 mm, com a aplicação da carga no ponto intermediário, conforme a figura 21.

Figura 21 - Ensaio de flexão dos ladrilhos hidráulicos

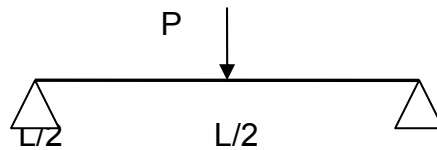


Fonte: O autor, 2012.

Os apoios foram barras cilíndricas com 20 mm de diâmetro com graus de liberdade que permitiam a flexão das peças sem a solicitação em outras direções. A carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão foram calculados

utilizando a força de ruptura obtida no ensaio em Newton (N), transformadas em Quilograma-força (Kgf) para então se obter os valores em Megapascal (MPa) prescritos na NBR 9457. O conjunto das equações demonstram que o valor de 1470 N equivale aos 5,00 MPa de resistência apresentados na NBR 9457 (equação 1).

Equação 1 - Conjunto de equações para análise dos ensaios de ruptura à flexão dos ladrilhos hidráulicos



$$M_{\text{máx}} = PL/4 \text{ (Momento Fletor)}$$

$$W = bh^2/6 = 20x2^2/6 \text{ (Módulo de Resistência)}$$

$$T_{\text{máx}} = M_{\text{máx}} / W \text{ (Tensão Máxima)}$$

$$T_{\text{máx}} = M_{\text{máx}} / W = 5 \text{ MPa} = 50 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$T_{\text{máx}} = (PL/4) / W = (PL/4) / (20x2^2/6) = PL/4 \times 6/20x2^2 =$$

$$Px18x6 / 2^2x4x20 = 108xP / 320 = 0,3375xP = P = 50 \text{ Kgf/cm}^2 = P \approx 150 \text{ Kgf}$$

$$1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N} \dots$$

$$150 \text{ Kgf} = 1470 \text{ N}$$

A NBR 9754 especifica para o módulo de ruptura à flexão o valor médio da amostra de 5,0 MPa e valor individual de 4,6 MPa, ou seja, o valor individual mínimo nos ensaios deve ser de 1352,40 N.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram realizados testes de estatística com quatro tratamentos (quatro traços) e oito repetições (oito ladrilhos por traço). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e para a comparação entre as médias dos diferentes tratamentos aplicou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software SASM-Agri (CANTERI et al., 2001).

4 RESULTADOS

4.1 PROCESSO TRADICIONAL DE PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS

Cumprindo o objetivo geral da pesquisa, por meio da metodologia adotada, investigou-se o processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando resgatar e intervir no processo. Neste subitem, são apresentados os materiais, as dosagens e os métodos de produção artesanal dos ladrilhos hidráulicos.

4.1.1 Pigmentos

Foram utilizados na produção da calda pigmentada dos ladrilhos hidráulicos pigmentos à base de óxido de ferro sintético fabricados pela Bayer S.A., denominado Bayferrox, que são vendidos em forma de pó em embalagens de 25 Kg (figura 22) e 650 kg.

Figura 22 - Saco do pigmento em pó



Fonte: O autor, 2011.

A quantidade de pigmento no ladrilho hidráulico (pode variar de 1% a 7% em relação à massa de cimento), para os ensaios, foi estipulada em 3% em relação à massa de cimento na camada superior, seguindo a NBR 9457:1986, e encontrando as tonalidades das cores desejadas.

Os pigmentos foram dosados em massa e adicionados à mistura anidra e depois todo o material seco à água. Os pigmentos de óxido mais importantes estão dispostos na tabela 1.

Tabela 1 – Pigmentos de óxido mais importantes

Cor	Nome
Preto	Óxido de ferro preto
Vermelho	Óxido de ferro vermelho
Amarelo	Óxido de ferro amarelo
Marrom	Óxido de ferro marrom
Verde	Óxido de cromo verde

Fonte: Adaptado de Lanxess, 2011.

A partir dessas cinco cores é possível se obter outros variados tons derivados delas, ou ainda, pela mistura das mesmas. As informações técnicas dos produtos Bayferrox foram fornecidas pelo fabricante Lanxess Energizing Chemistry, e estão dispostas nas tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 - Informações técnicas do pigmento vermelho

Tipo	Pigmento vermelho	
Aspecto	Pó	
Denominação química	Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃	
Colour Index	Pigment red 101(77491)	
CAS-Nr.	1309-37-1	
Dados técnicos		
Retenção malha 325 Mesh	Máximo 0,3%	Norma ASTM D-185
pH	Mín. 3,0 máx. 6,0	Norma ASTM D-1208
Dados técnicos informativos		
Fe ₂ O ₃	Mín. 94% máx. 99%	Norma ASTM D-50
Umidade	Máx. 0,5%	Norma ASTM D-280
Absorção de óleo	Aprox. 23 g/100g	Norma ASTM D-281
Sais solúveis	Máx. 0,5%	Norma ASTM D-1208
Forma da partícula	Circular	-
Densidade específica	Aprox. 4,7 g/cm ³	Norma ASTM D-153-75
Densidade aparente	Mín. 0,7g/cm ³ máx. 1,1g/cm ³	Norma DIN ISO-787-11

Fonte: Adaptado de Lanxess, 2011.

Tabela 3 - Informações técnicas do pigmento amarelo

Tipo		Pigmento amarelo
Aspecto		Pó
Denominação química		Hidróxido de ferro - FeOOH
Colour Index		Pigment yellow 42(77492)
CAS-Nr.		20344-49-4
Dados técnicos		
Retenção malha 325	Máximo 0,008%	Norma ASTM D-185
Mesh		
pH	Mín. 4,0 máx. 8,0	Norma ASTM D-1208
Dados técnicos informativos		
Fe ₂ O ₃	Mín. 85% máx. 89%	Norma ASTM D-50
Umidade	Máx. 0,5%	Norma ASTM D-280
Absorção de óleo	Aprox. 25g/100g	Norma ASTM D-281
Sais solúveis	Máx. 0,5%	Norma ASTM D-1208
Forma da partícula	Circular	-
Densidade específica	Aprox. 6,5 g/cm ³	Norma ASTM D-153-75
Densidade aparente	Mín. 0,6g/cm ³ máx. 0,9g/cm ³	Norma DIN ISO-787-11

Fonte: Adaptado de Lanxess, 2011.

Tabela 4 - Informações técnicas do pigmento marrom

Tipo		Pigmento Marrom
Aspecto		Pó
Denominação química		Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃
Colour Index		Pigment black 11(77499) Pigment red 101(77491) Pigment yellow 42(77492)
CAS-Nr.		1317-61-9 1309-37-1 20344-49-4
Dados técnicos		
Retenção malha 325	Máximo 0,05%	Norma ASTM D-185
Mesh		
pH	Mín. 4,0 máx. 8,0	Norma ASTM D-1208
Dados técnicos informativos		
Fe ₂ O ₃	Mín. 88% máx. 94%	Norma ASTM D-50
Umidade	Máx. 0,5%	Norma ASTM D-280
Absorção de óleo	Aprox. 20g/100g	Norma ASTM D-281
Sais solúveis	Máx. 1,0%	Norma ASTM D-1208
Forma da partícula	Irregular	-
Densidade específica	Aprox. 4,2 g/cm ³	Norma ASTM D-153-75
Densidade aparente	Mín. 0,6g/cm ³ máx. 1,0g/cm ³	Norma DIN ISO-787-11

Fonte: Adaptado de Lanxess, 2011.

Tabela 5 – Informações técnicas do pigmento Preto

Tipo		Pigmento preto
Aspecto		Pó
Denominação química		Óxido de ferro - Fe ₃ O ₄
Colour Index		Pigment black 11(77499)
CAS-Nr.		1317-61-9
Dados técnicos		
Retenção malha 325	Máximo 0,3%	Norma ASTM D-185
Mesh		
pH	Mín. 5,0 máx. 8,0	Norma ASTM D-1208
Dados técnicos informativos		
Fe ₂ O ₃	Mín. 85% máx. 95%	Norma ASTM D-50
Umidade	Máx. 3,5%	Norma ASTM D-280
Absorção de óleo	Aprox. 15g/100g	Norma ASTM D-281
Sais solúveis	Máx. 1,5%	Norma ASTM D-1208
Densidade específica	Aprox. 4,3 g/cm ³	Norma ASTM D-153-75
Densidade aparente	Mín. 0,6g/cm ³ máx. 0,9g/cm ³	Norma DIN ISO-787-11

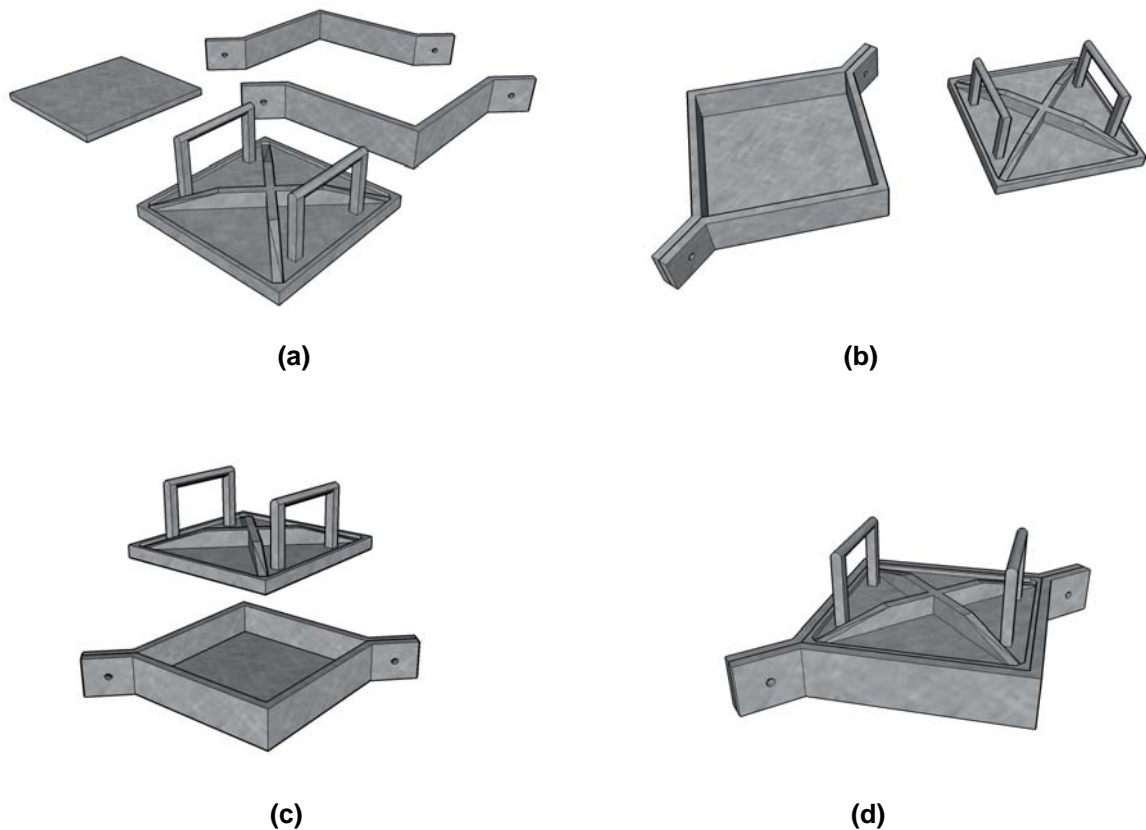
Fonte: Adaptado de Lanxess, 2011.

4.1.2 Conformação das peças

A conformação dos ladrilhos hidráulicos se divide em três partes, sendo elas: a camada pigmentada, a camada intermediária e o tardoz.

A conformação dos ladrilhos hidráulicos ocorre com a utilização das fôrmas, as quais foram esquematizadas na figura 23.

Figura 23 - Conjunto da fôrma para Ladrilho Hidráulico - (a) Base, Quadro e Tampa - (b) A base fechada pelas duas peças que formam o quadro, e a tampa - (c) Base e quadro onde será colocado o molde que leva o desenho do ladrilho, e a tampa acima - (d) Fôrma completa para dar sequência no processo e ser prensada



Fonte: O autor, 2012.

A primeira camada do ladrilho hidráulico é a pigmentada, que consiste na face do revestimento, com aproximadamente 5 mm de espessura, é constituída essencialmente de uma mistura de cimento Portland branco estrutural (CPB 40), colorido com os pigmentos, a figura 24 apresenta a calda pigmentada.

Figura 24 - Calda pigmentada do ladrilho hidráulico



Fonte: O autor, 2012.

Esta calda também pode ser branca, a qual é obtida pela mistura manual em massa de duas partes de cimento Portland branco estrutural com uma parte de areia fina lavada de rio ou de pó de mármore, peneirada, sendo denominada de “pastinha branca” pelos ladrilheiros (figura 25).

Figura 25 - Calda branca sendo lançada no molde para formação do desenho da superfície do ladrilho



Fonte: O autor, 2012.

O início da conformação dos ladrilhos pode-se dizer que ocorre de trás para frente, pois ao fechar a base da fôrma com o quadro, se coloca o molde (se o ladrilho apresentar desenhos) e ali é lançada a calda pigmentada, na sequência as demais camadas, uma sobre a outra.

É a calda pigmentada, lançada sobre o molde metálico, que permite materializar os diferentes *designs* de superfície dos ladrilhos. Ela é obtida pela dissolução do pigmento em água, que após a mistura permanece em repouso por, em média, 72 horas para a fixação da cor. Usualmente a proporção é de 1 kg de pigmento em pó para cada 25 litros de água, o que vai depender da intensidade e tonalidade da cor desejada. Após este período, nesta calda é acrescentada a mistura de cimento Portland estrutural branco, pó de mármore ou areia fina lavada de rio, a partir disso se obtém a calda pigmentada que compõe a face do ladrilho hidráulico.

Nesta etapa, de constituição da calda, são utilizadas ferramentas corriqueiras, como, carrinhos de mão, pás, peneiras, baldes, pequenas latas e conchas, como mostra a figura 26.

Figura 26 - Algumas ferramentas utilizadas na bancada de produção dos ladrilhos



Fonte: O autor, 2012.

A calda é lançada no molde que está inserido na fôrma, a qual é constituída por um quadro (usualmente em formato quadrangular e com fundo liso ou com ranhuras), conforme a figura 27.

Figura 27 - (a) Fôrma composta pela base, quadro e molde onde se insere a calda e (b) O quadro de ferro fundido que se fecha sobre a base



(a)

(b)

Fonte: O autor, 2011.

As estampas dos ladrilhos são obtidas a partir do lançamento de caldas de diferentes cores no molde. Os moldes, atualmente são feitos por pouquíssimos artesãos, apresentando diferentes formatos, conforme a figura 28, e executados em bronze ou em latão.

Figura 28 - Distintos moldes utilizados na materialização do design de superfície dos ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2012.

A camada intermediária do ladrilho hidráulico, constituída por um material denominado “secante”, é obtida pela aplicação em duas etapas distintas de uma mistura seca, preparada à base de cimento Portland comum (CP 32), pó de pedra e areia grossa lavada de rio, no traço em massa de 1 : 2.

Logo após o lançamento da calda no molde, é executada a primeira etapa da aplicação do secante, a qual é feita pela pulverização deste material por meio do peneiramento de um dispositivo bastante rudimentar, que se constitui numa pequena lata perfurada com prego, conforme a figura 29.

Figura 29 – Secante sendo pulverizado sobre a calda pigmentada



Fonte: O autor, 2012.

A quantidade de secante pulverizado deve ser tal que, recubra completamente a superfície da peça, cerca de 2 mm de espessura. Em seguida é lançado o material restante da lata e complementado com mais material secante, sendo o mesmo espalhado homogeneamente e nivelada a camada, que deve apresentar em torno de 10 mm antes da prensagem, observando se houve absorção da umidade da calda, tornando o conjunto relativamente rígido. Observa-se que a função do secante é exatamente esta, sendo que, imediatamente após o seu lançamento já se observa uma mudança na coloração indicando redução da umidade.

O tardoiz é a camada posterior do ladrilho, constituída por uma mistura denominada “mescla”, que consiste em cimento Portland comum (CP 32), pó de pedra e areia média lavada de rio, no traço em massa de 1 : 5.

Este material é homogeneizado a seco e umedecido por meio da aspersão da água utilizando uma broxa (figura 30), até que constate manualmente que a mistura atingiu a consistência ótima.

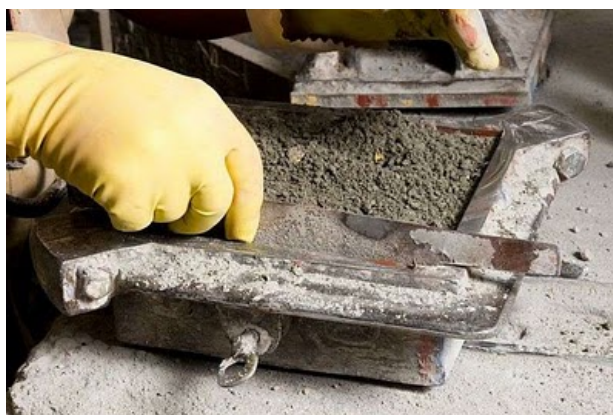
Figura 30 – Umedecimento da mistura que constituirá a mescla



Fonte: O autor, 2012.

A mescla é lançada manualmente sobre o secante, atingindo uma espessura de cerca de 10 mm antes da prensagem, sendo que após o lançamento utiliza-se uma régua metálica (figura 31) a fim de obter-se a espessura desejada para a prensagem.

Figura 31 – A “mescla”, camada final do ladrilho, que é úmida e sela a peça



Fonte: Zeca Wittner/AE, 2011.

É possível observar ainda na figura 30 que a consistência da mescla, mesmo umedecida, é de “farofa”.

Todos os processos descritos nesta etapa são relativamente simples e se servem de matérias-primas e ferramentas facilmente encontradas no mercado, de uso corrente em várias atividades. Embora se baseiem em medidas utilizadas há longos períodos de tempo, requerem enorme atenção em cada passo, pois mesmo se tratando de um processo artesanal, não é aceitável que as peças de um determinado lote, por exemplo, destoem nas cores ou em qualquer outro aspecto.

4.1.3 Prensagem dos Ladrilhos

Lançados os componentes constituintes do ladrilho hidráulico, passa-se à fase de prensagem, onde se utilizam máquinas e ferramentas de uso mais restrito e específico, as quais, atualmente, se tornaram relativamente raras, dado o desuso em que caiu o produto durante certo período de tempo, sendo a mais importante delas a prensa (figura 32).

Figura 32 – A prensa para a produção de ladrilhos hidráulicos



Fonte: O autor, 2011.

A prensa – composta de braço giratório, eixo e cabeçote – é montada sobre uma mesa ou bancada de concreto, em cuja superfície se acopla uma espécie

de chapa ou prato, em que se destacam trilhas ou escorregadeiras de metal, que em algumas prensas são em forma de cruz, por onde as fôrmas do ladrilho deslizam no processo de montagem das peças.

Pelo formato em cruz das trilhas na bancada e com a prensa posicionada em diagonal, como apresenta a figura 32, é possível que até quatro profissionais trabalhem numa mesma prensa, no entanto, observa-se a utilização frequente de dois ou de apenas um profissional em cada prensa. Segundo relatos de alguns proprietários de fábricas, a diminuição de mão de obra vem ocorrendo ano a ano, até mesmo pelo desconhecimento da técnica pelas gerações atuais.

Em geral, as fábricas possuem duas ou três prensas e é em volta delas que se realizam a maior parte dos trabalhos (figura 33).

Figura 33 – Bancada e prensa utilizadas na produção dos ladrilhos



Fonte: O autor, 2012.

Depois de arranjadas as camadas estruturantes do ladrilho, chega o momento de submetê-lo à prensagem para consolidá-las. Sobre as três camadas constituintes do ladrilho hidráulico coloca-se uma espécie de tampa de ferro fundido que se encaixa perfeitamente na área interna do quadro, como mostra a figura 34.

Figura 34 – A fôrma é fechada para ser levada pelas trilhas até a prensa



Fonte: Zeca Wittner/AE, 2011.

Assim, fechada, a fôrma é posicionada sob o eixo da prensa. Servindo-se de pedaços de corda ou panos amarrados em cada uma das pontas do braço da prensa, o ladrilheiro dá impulso e o faz girar rapidamente, movimentando o eixo para baixo até incidir sobre a fôrma (figura 35).

Figura 35 – Movimento da prensa para compactação do material na fôrma



Fonte: O autor, 2012.

Depois de prensado, retira-se a tampa do quadro, em seguida o quadro e logo a própria peça (figura 36). Em seguida o ladrilho é armazenado em prateleiras, para que cada peça ali permaneça em repouso por 12 horas, após esse período a peça deve ser submetida a cura em imersão em água.

Figura 36 – Desforma do ladrilho depois de prensado



Fonte: O autor, 2012.

O momento de descolar o ladrilho da base metálica é o mais crítico, o qual exige experiência do operador, já que a peça pode sair facilmente da base, bem como pode apresentar alguma dificuldade em sua remoção, ou ainda, pode-se perdê-la neste momento em função de condições inadequadas. Algumas variáveis influenciam neste procedimento final, como por exemplo, se as camadas do ladrilho foram bem misturadas, secas e prensadas, ou ainda, se os procedimentos iniciais de limpeza das peças e lubrificação das fôrmas, com óleo, foram bem realizadas. Caso contrário, não é raro perder algumas peças neste momento, conforme mostra a figura 37.

Figura 37 – Peça com excesso de umidade, rompida durante a desforma



Fonte: O autor, 2012.

Fora da fôrma, o ladrilho é rapidamente inspecionado pelo operador, que cuida de remover as rebarbas e tirar qualquer impureza ou poeira que se acumule sobre a superfície da peça (figura 38).

Figura 38 – Ladrilho sendo inspecionado após a desforma



Fonte: O autor, 2011.

Após a limpeza, cada ladrilho é disposto em prateleiras ou estantes para que seque e “descanse” de um dia para o outro, em torno de 12 horas (figura 39).

Figura 39 – Prateleira onde os ladrilhos “descansam” por até 12h

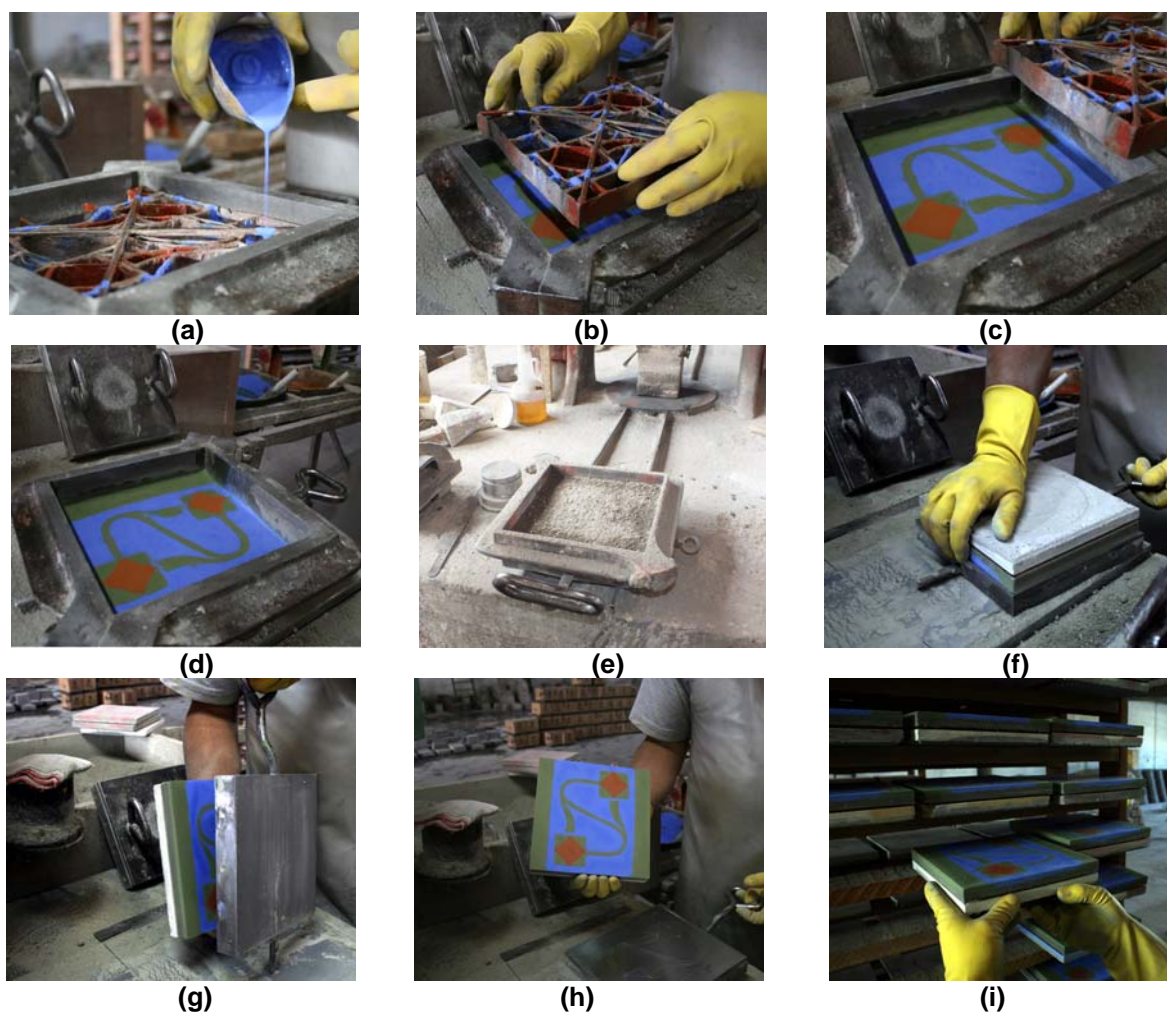


Fonte: O autor, 2011.

Todos os procedimentos de conformação e prensagem dos ladrilhos hidráulicos acontecem de forma rápida, a produção de uma peça, do início ao fim, ou seja, da conformação das camadas, prensagem, até o armazenamento inicial,

leva em torno de um minuto e pode ser analisado na sequência de imagens que compõem a figura 40.

Figura 40 - Procedimentos de produção do Ladrilho Hidráulico. (a) Fôrma com o molde sendo lançada a calda pigmentada. (b) Retirada do molde. (c) Desenho formado pela calda pigmentada. (d) Face que receberá a próxima camada constituinte, o secante. (e) Lançamento da camada do secante, na sequência virá a mescla e a prensagem. (f) Remoção da nova peça da fôrma utilizando-se de outro ladrilho. (g) Remoção do novo ladrilho da base da fôrma. (h) Apresentação do ladrilho hidráulico ainda sem resistência. (i) Ladrilho hidráulico sendo armazenado em prateleiras para após 12h dar sequência à cura.



Fonte: Adaptado de Ladrilhos, 2011.

Em seguida ao período de descanso dos ladrilhos, estes são encaminhados para um tanque com água, onde permanecem por cerca de 24 horas submersos. Este procedimento de cura, que serve para dar solidez à peça (figura 41), é o que deu origem ao nome “ladrilho hidráulico”.

Figura 41 – Tanque onde são dispostos os ladrilhos hidráulicos para a cura das peças



Fonte: O autor, 2012.

Do tanque, o ladrilho hidráulico é encaminhado para a secagem à sombra por 48 horas. Depois segue para armazenagem, onde deverá permanecer por no mínimo 28 dias, que é a idade de maturidade do cimento endurecido, sendo depois devidamente embalado, como mostra a figura 42.

Figura 42 – Armazenagem dos ladrilhos



Fonte: O autor, 2012.

Todos os procedimentos e etapas da produção de ladrilhos hidráulicos somados levam em torno de 84 horas ou mais, dependendo, de fatores climáticos, para que cada ladrilho complete o processo de produção. Muito embora, não seja uma prática adotada na maioria das fábricas visitadas, se recomenda que

as peças sejam embaladas e encaminhadas ao destino final somente após os 28 dias do início da produção, em função de que nesta idade a mistura constituinte do ladrilho hidráulico já atingiu sua resistência ótima.

4.2 ESTUDO DOS MATERIAIS E DA DOSAGEM DOS CONCRETOS

Em função das especificações contidas na NBR 9457:1986 a qual o indica o concreto como material constituinte do corpo do ladrilho hidráulico, foram realizados ensaios com concreto convencional e caracterizados os materiais componentes. Numa segunda etapa foram desenvolvidos traços com a incorporação dos resíduos, visando empregá-los como insumos na produção dos ladrilhos hidráulicos.

4.2.1 Caracterização dos Aglomerantes

Foram utilizados três tipos de aglomerantes nos ensaios, o cimento Portland CP II - E 32 que é um cimento composto com a adição de escória, o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V - ARI, o qual atinge altas resistências nas primeiras idades, decorrentes de sua composição, apresentando aproximadamente 95% de clínquer e sulfato de cálcio e superfície específica da ordem de 450m²/kg. Desta forma, é um cimento de maior finura, oferecendo pega mais rápida e valores da resistência à compressão aos 7 dias correspondentes aos atingidos aos 28 dias pelos outros tipos de cimento Portland. E o cimento Portland branco estrutural, CPB – 40 que é um produto constituído em sua maior parte por silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas e com teores limitados de óxidos corantes que garantem a brancura exigida para este tipo de cimento. O tempo de pega deste cimento é equivalente ao CP II, os quais atingem a resistência mínima à compressão aos 28 dias de idade.

Frisa-se que a utilização do cimento Portland CP V – ARI se deu apenas nesta etapa da pesquisa, visando à possibilidade de diminuir o período de cura das peças, o que possibilitaria maior agilidade na entrega da produção. Entretanto, visando atender a questões ambientais, para a produção dos ladrilhos hidráulicos experimentais optou-se pela utilização dos cimentos com adições (CP II).

4.2.2 Caracterização dos Agregados

Como agregado graúdo, foram utilizadas brita 0 e brita 1, basáltica, com dimensão máxima de 9,50 mm e 19,00 mm, respectivamente. Os materiais foram caracterizados e os dados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização dos agregados graúdos.

Ensaio	Caracterização Brita 0	Caracterização Brita 1
Módulo de Finura	5,55	6,31
Dimensão Máxima	9,50 mm	19,00 mm
Massa Específica	2,84 g/cm ³	2,84 g/cm ³
Absorção	1,88 %	1,88 %
Material Pulverulento	4,60 %	0,11 %

Fonte: O autor, 2012.

Como agregado miúdo foi utilizado areia quartzosa, natural, lavada de rio, de graduação média, proveniente da Região Norte do Paraná, caracterizada pelos dados da tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização do Agregado miúdo

Ensaio	Caracterização
Módulo de Finura	2,09
Dimensão Máxima	2,38 mm
Massa Específica	2,64 g/cm ³
Massa Unitária	1,58 g/cm ³
Absorção	0,28 %
Material Pulverulento	1,00 %

Fonte: O autor, 2012.

4.2.3 Caracterização dos Resíduos Sólidos

Buscou-se, por meio da reciclagem dos resíduos sólidos, incorporá-los na mistura para execução de ladrilhos hidráulicos. Assim, acredita-se que seja possível intervir nos efeitos nocivos desses resíduos ao meio ambiente, e logo propiciar características ecoeficientes aos ladrilhos. Neste subitem foram caracterizados as raspas de borracha de pneus, o pó de britagem basáltica e a areia de resíduo da construção civil.

4.2.3.1 Caracterização dos resíduos de borracha de pneus

Os resíduos de borracha de pneus procedem de empresas recauchutadoras da cidade de Londrina – PR. A borracha utilizada está caracterizada pelos dados apresentados na tabela 8, e pode ser observada na figura 43.

Tabela 8 – Resultado da caracterização da borracha de pneu

Ensaio	Caracterização
Módulo de Finura	3,40
Massa Específica	1,15g/cm ³
Massa Unitária	0,35g/cm ³

Fonte: O autor, 2012.

Figura 43 - Raspas de borracha de pneu utilizadas na pesquisa



Fonte: O autor, 2011.

4.2.3.2 Caracterização do resíduo de britagem

O resíduo de britagem, utilizado nesta pesquisa, é um material fino proveniente de britadores e coletado por meio de um sistema de filtros, denominados filtros de manga, com dimensões inferiores a 0,15 mm, conforme a figura 44.

Figura 44 – Resíduos de britagem basáltica passante na peneira 0,15 mm



Fonte: O autor, 2011.

Estes resíduos são procedentes de pedreiras basálticas da região Norte do Estado do Paraná. A tabela 9 apresenta a análise granulométrica da areia de britagem, destacando-se a fração utilizada neste trabalho, correspondente ao material passante na peneira 0,15 mm.

Tabela 9 – Análise granulométrica da areia de britagem

Determinações	Abertura da Peneira	Porcentagem (%)		Método de Ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição Granulométrica	4,8	0	0	NBR 7217:1987
	2,4	3,23	3,23	
	1,2	26,74	29,97	
	0,6	26,82	56,79	
	0,3	16,96	73,75	
	0,15	10,42	84,17	
DM	Fundo	15,83	100,00	
Módulo de Finura		2,38 mm		
Zona Granulométrica		2,48		
		Faixa 3 (Média)		NBR 7211:2005

Fonte: O autor, 2012.

Entretanto, por ser tratar de um material proveniente de britamento, e também, considerando a questão ambiental, optou-se pelo aproveitamento total do rejeito sem o descarte da fração inferior a 0,075 mm, correspondente ao material pulverulento presente no pó de britagem basáltica presente na areia de britagem. Como mostra a tabela 10 o teor do material pulverulento da areia de britagem do basalto é da ordem de 13,60%.

Tabela 10 – Características da areia de britagem

Determinações	Valores Obtidos	Método de Ensaio	Limites da NBR 7211:2005
Massa Específica (Kg/dm³)	2,78 g/cm³	NBR 9776:1986	-
Teor de Material Pulverulento (%)	13,60	NBR 7219/1996	3
Impureza Orgânica	Isento	NBR 7220:1987	-

Fonte: O autor, 2012.

4.2.3.3 Caracterização do resíduo da construção civil – areia de RCC

Foram utilizados resíduos da construção civil (RCC), classe A, conforme a classificação da Resolução do CONAMA nº 307/2002, provenientes da demolição e construção de edificações da região de Londrina – PR, coletados, segundo orientação da NBR 10007:2004, em usina de reciclagem, sendo composto, na maioria por resíduos de argamassa, concretos e blocos cerâmicos. As figuras 45 e 46 mostram o RCC antes e depois do beneficiamento.

Figura 45 – Resíduos da Construção Civil sem o beneficiamento



Fonte: O autor, 2010.

Figura 46 – Areia artificial de RCC reciclados



Fonte: O autor, 2010.

Para o estudo, por meio do ensaio de análise granulométrica, foram selecionados os grãos que passaram pela peneira 4,8 mm, conforme a NBR 7217:1987. Os agregados reciclados obtiveram um teor de material pulverulento da ordem de 17,86% com base na NBR NM 46:2003. Pode-se observar nas tabelas 11 e 12, as características dos agregados reciclados.

Tabela 11 - Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo (areia reciclada)

Determinações	Abertura da Peneira	Porcentagem (%)		Método de Ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição Granulométrica	4,8	0,77	29,88	NBR 7217:1987
	2,4	0,97	30,85	
	1,2	0,77	31,62	
	0,6	4,17	35,79	
	0,3	30,42	66,21	
	0,15	21,72	87,93	
	Fundo	12,07	100,00	
DM		3,75 mm		
Módulo de Finura		2,82		
Zona Granulométrica		Faixa 3 (Média)		NBR 7211:2005

Fonte: O autor, 2012.

Tabela 12 - Características do agregado miúdo (areia reciclada)

Determinações	Valores Obtidos	Método de Ensaio	Limites da NBR 7211:2005
Massa Específica (Kg/dm ³)	2,48 g/cm ³	NBR 9776:1986	-
Teor de Material Pulverulento (%)	17,86	NBR 7219/1996	3
Impureza Orgânica	Isento	NBR 7220:1987	-

Fonte: O autor, 2012.

4.3 ENSAIOS DOS CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS

Foram desenvolvidos três ensaios distintos, utilizando concretos com a incorporação dos três resíduos estudados. Nesta etapa não houve a preocupação de direcionar as propriedades destes concretos às características de produção dos ladrilhos hidráulicos, isso porque o objetivo nesta etapa foi exclusivamente conhecer e analisar os resíduos incorporados aos concretos convencionais. Os resultados desses ensaios são apresentados um a um neste item da pesquisa.

4.3.1 Concreto com Incorporação de Raspas de Borracha de Pneus

Para os ensaios com a incorporação de raspas de pneus, foram desenvolvidas três baterias de ensaios (A, B e C), com a moldagem de corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm, com adensamento manual, seguindo a NBR 5738. E moldados quatro corpos de prova por idade para cada um dos traços. Após desformados, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até a data da ruptura.

A avaliação do desempenho mecânico dos concretos produzidos foi feita por meio do ensaio de ruptura à compressão axial dos corpos de prova, segundo a NBR 7215, conforme a figura 47. Os concretos com cimento CP II E foram ensaiados à idade de 28 dias e os com cimento CP V ARI, aos 7 dias.

Figura 47 – Corpo de prova rompido no ensaio de compressão axial



Fonte: O autor, 2011.

Na primeira etapa deste estudo, por meio da literatura, foi estipulado o traço de concreto 1 : 1,5 : 2,5 em massa, denominado traço A, para efeito de referência, conforme a composição dos materiais apresentados na figura 48.

Figura 48 – Materiais utilizados na produção do concreto de referência



Fonte: O autor, 2011.

Na produção dos concretos, foram utilizados agregados secos ao ar e relação água/material seco (H) igual a 8,00%, com relação água/cimento (x) de 0,40. Para esta primeira etapa foi utilizado cimento Portland CP V ARI, com mistura, amassamento e moldagem manual, como mostra a figura 49.

Figura 49 – Mistura manual dos materiais



Fonte: O autor, 2011.

Na sequência, o segundo traço, denominado A', foi definido com a substituição de 7,5% da massa do agregado miúdo por raspa de pneu, seguindo a dosagem de referência dos materiais, os quais são apresentados na figura 50. Nesta etapa manteve-se a mesma relação água/cimento de 0,40.

Figura 50 – Produção de concreto com raspa de pneu



Fonte: O autor, 2011.

Na segunda etapa deste estudo, foi mantido o traço de referência 1 : 1,5 : 2,5 em massa, denominado traço B. Assim como na primeira etapa, foram utilizados agregados secos ao ar, no entanto, alterou-se a relação água/material seco (H) para 10,00%, com relação água/cimento (x) igual a 0,50, a fim de se obter maior plasticidade na mistura. Para esta segunda etapa foi utilizado cimento Portland CP II E.

Na sequência, foi estabelecido o traço B', com adição de raspa de borracha na taxa de 7,5% da massa de areia. Por fim, foram definidos o quinto e sexto traços, C e C', para a terceira etapa de ensaios, a qual se distinguiu da anterior pela utilização de cimento Portland CP V ARI.

Os resultados obtidos pelo ensaio de compressão podem ser observados na tabela 13.

Tabela 13 – Valores médios da resistência do concreto à compressão obtidos com o uso de diferentes cimentos e adição de raspas de pneus

Traços (1:1,5:2,5) + adição de borracha/ idade		Relação água/cimento (x)	Relação água/massa total (%)	Resistência (MPa)
Cimento CP V ARI				
AA	Convencional (1:1,5:2,5) Cimento : Areia : Brita 1 Idade: 7 dias	0,40	12,50	31,80
AA'	Convencional + raspa de borracha (7,5% da massa areia) Idade: 7 dias	0,40	12,80	31,90
Cimento CP II E 32				
BB	Convencional (1:1,5:2,5) Cimento : Areia : Brita 1 Idade: 28 dias	0,50	10,00	40,00
BB'	Convencional + raspa de borracha (7,5% da massa areia) Idade: 28 dias	0,50	10,00	29,20
Cimento CP V ARI				
CC	Convencional (1:1,5:2,5) Cimento : Areia : Brita 1 Idade: 7 dias	0,50	10,00	36,60
CC'	Convencional + raspa de borracha (7,5% da massa areia) Idade: 7 dias	0,50	10,00	26,60

Fonte: O autor, 2012.

Por meio destes resultados pode-se afirmar que o concreto com substituição de 7,50% da massa de areia por raspa de borracha, com relação água/cimento 0,40 manteve a resistência em relação ao concreto de referência. Já na mistura com $x = 0,50$ houve uma queda de cerca de 12,50% na resistência à compressão, mesmo com a mistura apresentando um ótimo empacotamento, conforme se observa no corpo de prova da figura 51. No entanto, durante a mistura, foi observada perda da trabalhabilidade. Logo, não se justifica aumentar a relação água/cimento de 0,40 para 0,50 devido a possíveis reduções da resistência, como pôde ser visto nos dados apresentados na tabela 13.

Figura 51 – Corpo de prova rompido em ensaio à compressão



Fonte: O autor, 2011.

O objetivo da análise de verificar o desempenho do concreto executado com a adição de raspa de pneus foi atingido, observando-se que o percentual de 7,50% de substituição da massa de areia por raspa de pneus no concreto é perfeitamente viável. Já os teores de 5,00% e 10,00%, testados em estudos anteriores pelo autor, não apresentaram resultados satisfatórios.

O uso da raspa de pneu na produção dos ladrilhos hidráulicos, segundo os dados obtidos nesses ensaios, apresenta boas possibilidades de

utilização, visto as resistências médias à compressão obtidas com os concretos ensaiados, superiores a 25,0 MPa.

4.3.2 Concreto com Incorporação de Resíduos de Britagem de Rocha Basáltica

Para os ensaios com incorporação de resíduo de britagem, seguiu-se o padrão já utilizado no ensaio anterior. Utilizou-se um traço de concreto de referência 1 : 1,5 : 2,5 em massa, nomeado de traço A, no qual foi utilizado cimento Portland CP V-ARI. A água de amassamento foi definida pela relação água/cimento de 0,40. A escolha deste traço “A”, tido como de referência para esta etapa de estudo, se deu em função da necessidade de um traço mais rico que atendesse as exigências da NBR 9457 nos ensaios futuros.

Na sequência foram produzidos outros três traços de concretos, intitulados B, C e D, com diferentes teores de filler basáltico, sendo 4 corpos de prova (seguindo o padrão do ensaio anterior) para cada um dos traços. Estes estão apresentados na tabela 14.

Tabela 14 – Traços unitários em massa com adições de resíduo de britagem

Traços	Cimento (un)	Areia (un)	Brita 0 (un)	Resíduo de Britagem (%)*	Relação Água / Cimento
A	1	1,5	2,5	0	0,40
B	1	1,5	2,5	5	0,40
C	1	1,5	2,5	10	0,40
D	1	1,5	2,5	15	0,40

*Porcentagem de substituição da areia em relação a sua massa no traço de referência.

Fonte: O autor, 2012.

Para melhorar a trabalhabilidade da mistura foi empregada a brita 0 em substituição à brita 1 utilizada no ensaio do concreto com incorporação de raspas de pneu.

Os corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm foram moldados e adensados manualmente, depois submetidos a cura por imersão em

câmara úmida durante 7 dias. Após este período, os corpos de prova foram rompidos à compressão axial conforme a figura 52.

Figura 52 – Corpo de prova rompido após ensaio de compressão



Fonte: O autor, 2011.

No ensaio de resistência mecânica à compressão, o concreto de referência apresentou, em média, 31,80 MPa de resistência.

Foram adicionados a este traço diferentes percentuais de resíduos de britagem com a finalidade de obter maior índice de empacotamento e maiores valores de resistência mecânica à compressão, conforme mostra os valores das resistências mecânicas na tabela 15, obtidos com os traços indicados na tabela 15.

Tabela 15 – Resistência à compressão e desvio padrão da dosagem dos concretos ensaiados aos 7 dias

Traços		Resistência MPa (7 dias)	Desvio Padrão
A	Referência 1 : 1,5 : 2,5	31,80	0,50
B	Ref. + 5,0% RB*	35,40	1,60
C	Ref. + 10,0% RB*	32,90	1,28
D	Ref. + 15,0% RB*	30,70	1,12

*Resíduos de britagem

Fonte: O autor, 2012.

Observou-se que o traço B apresentou maior resistência mecânica. No entanto, com relação às propriedades do concreto no estado fresco, os traços

apresentaram pouca trabalhabilidade, com dificuldade de manuseio, em virtude da baixa relação água/cimento.

Todavia, os valores de resistências obtidas orientaram a definição dos traços para a produção dos ladrilhos, possibilitando o uso de até 15% dos finos de basalto que, devido a sua alta superfície específica favorece o desempenho como material secante no processo de produção, uma vez que este é aplicado sobre a calda e tem a função, além de constituir a camada intermediária do corpo de ladrilho, de absorver o excesso de umidade da calda que constitui o revestimento do ladrilho hidráulico.

Espera-se que, o resultado obtido com o uso de resíduos de britagem incorporado ao concreto seja satisfatório também quando incorporado na produção de ladrilhos hidráulicos, melhorando a resistência e a durabilidade das peças, ainda, possibilitando a redução dos custos de produção e contemplando o meio ambiente.

4.3.3 Concreto com a Incorporação de Areia de RCC Reciclado

Para o estudo dos concretos com incorporação de RCC reciclado, foram selecionados os grãos que passaram pela peneira 4,8 mm e os que ficaram retidos na 0,15 mm, conforme a NBR 7217:1987 (Figura 53).

Foi adotado um traço de referência de 1 : 1,5 : 2,5 em massa, e estabelecidos os teores de 5%, 10% e 15% em substituição à massa de areia e utilizada brita 0.

Figura 53 – RCC reciclado utilizado na pesquisa



Fonte: O autor, 2011.

Os resultados dos estudos demonstraram que o concreto com substituição de 15% da massa de areia por RCC reciclado influenciou na trabalhabilidade, entretanto, a resistência mecânica à compressão apresentou bons resultados, variando entre 30,0 MPa e 50,0 MPa na idade de 28 dias. A figura 54 apresenta os corpos de prova utilizados nesta etapa dos estudos.

Figura 54 – Corpos de prova para ensaio dos concretos



Fonte: O autor, 2011.

Os valores obtidos de resistências nortearam a definição dos traços para a produção dos ladrilhos, possibilitando o uso de 15% de RCC, assim, como os resíduos de basalto. Os materiais com alto teor de finos visam favorecer o desempenho como material secante no processo de produção dos ladrilhos hidráulicos, uma vez que eles aplicados na calda pigmentada tem a função, além de constituir a camada intermediária do corpo de ladrilho, de absorver o excesso de umidade da calda facilitando a desforma das peças.

Dessa forma espera-se que o uso de RCC na produção dos ladrilhos seja mais uma possibilidade de contribuição para minimizar os transtornos ambientais decorrentes de disposições inadequadas, e além disso, ofereça resultados satisfatórios quando incorporados na mistura para produção de ladrilhos hidráulicos.

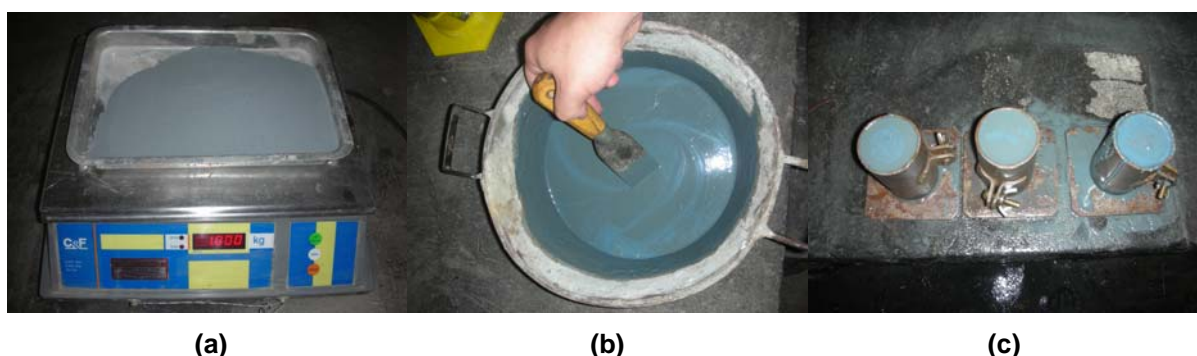
4.4 ESTUDO DA DOSAGEM PARA A PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS

Em determinado momento, para que houvesse conhecimento pleno da composição dos ladrilhos hidráulicos, durante as visitas às fábricas, foram recolhidas amostras dos materiais utilizados para a fabricação das peças. Estas amostras foram submetidas a ensaios cujos resultados pudessem indicar as devidas alterações, visando o melhor aproveitamento e desempenho dos materiais.

Diante dos resultados e com as caracterizações e aplicações dos resíduos – raspas de borracha de pneus, pó de britagem e areia de RCC reciclado, - ao concreto, buscou-se incorporá-los, em três traços distintos, na mistura para a fabricação de ladrilhos hidráulicos.

A amostra (anidra) recolhida do material para a calda pigmentada, é constituída por cimento CPB 40 e pó de mármore, com traço em massa de 1 : 1 e 3% de pigmento em relação à massa de cimento. Foram moldados corpos de prova de 50 mm x 100 mm, conforme a figura 55.

Figura 55 – Produção da calda pigmentada: (a) Material seco; (b) Adição de água; (c) Moldagem dos corpos de prova



Fonte: O autor, 2011.

Depois de submetidos à cura em câmara úmida, os corpos de prova foram encaminhados a ensaio de resistência à compressão, os quais obtiveram resistência média de 23,0 MPa.

A sequência de ensaios se deu pela análise do material “secante” fornecido por uma das fábricas visitadas. Observou-se que na composição deste material era comumente utilizada a cal (figura 56).

Figura 56 – Amostra de material “secante” recolhido em visita técnica à Fábrica



Fonte: O autor, 2011.

A cal por tratar-se de um aglomerante aéreo, com cura distinta a do cimento Portland (hidráulico), foi retirada da mistura, visto que sua utilização poderia trazer distintas patologias para as peças, como eflorescências (figura 57).

Figura 57 – Corpos de prova com eflorescências



Fonte: O autor, 2011.

O pó de britagem e a areia de RCC reciclado foram adicionados ao secante, cuja função é de absorver o excesso de umidade da calda que constitui o revestimento do ladrilho hidráulico.

O traço em massa para o secante é de 1 : 3 (cimento : areia + pó de pedra) com a substituição de 15% da massa de areia e pó de pedra pelos resíduos.

Em relação à camada inferior do ladrilho hidráulico, o tardo, que é constituída pela mistura denominada mescla ou misquia, constituída por cimento

Portland, pó de pedra e areia média (figura 58), sugere-se a incorporação de 7,5% da massa de areia por das raspas de pneus.

Figura 58 – A “mescla”: material que constitui o tardo do ladrilho hidráulico



Fonte: O autor, 2011.

Para o ensaio da mescla foi utilizado um soquete (figura 59) visando a melhor compactação do material, a fim de se obter característica semelhante à da prensagem tradicional na produção dos ladrilhos hidráulicos.

Figura 59 – Soquete desenvolvido para compactação do material seco



Fonte: O autor, 2011.

Após a moldagem e cura em câmara úmida os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à flexão, conforme determina a NBR 9457:1986. O traço em massa que apresentou os melhores resultados para esta

camada do ladrilho foi de 1 : 5 (cimento : pó de pedra), com a possibilidade de substituição de 7,5 % da massa do agregado por raspas de pneus.

4.5 PRODUÇÃO DE LADRILHOS HIDRÁULICOS

Após a definição dos melhores traços para as distintas camadas constituintes dos ladrilhos hidráulicos, foi escolhida uma fábrica na qual foram produzidos os ladrilhos empregando os materiais estudados, seguindo as características convencionais de produção, de forma a verificar a adequabilidade dos materiais ao processo.

Ao longo desta produção foram observados os fatores intervenientes no processo, bem como a interferência das características de cada mistura no desenvolvimento das partes que compõem o ladrilho, ou seja, o revestimento pigmentado, o secante e a mescla, e nas etapas de produção.

Para os ladrilhos hidráulicos com o emprego de resíduo de britagem basáltica, foram substituídos 15% da massa de areia lavada de rio pelo resíduo na camada intermediária, o secante. O traço em massa foi de 1 : 3 (figura 60).

Figura 60 – Substituição de 15% da massa de areia pelo resíduo de pó de britagem



Fonte: O autor, 2012.

O secante com pó de basalto apresentou bom resultado na produção do ladrilho, visto que por ser um filer, com alta superfície específica, foi eficiente na adsorção, agregando a substância líquida excessiva da calda pigmentada à superfície dos grãos, entretanto, quando comparado à trabalhabilidade no traço convencional do secante, este não obteve rendimento superior. Contudo, os aspectos visuais das peças produzidas com a incorporação do resíduo atenderam às especificações da norma (figura 61).

Figura 61 - Ladrilhos hidráulicos produzidos com a incorporação de pó de basalto



Fonte: o autor, 2012.

Nos ladrilhos hidráulicos com incorporação de areia de RCC reciclado, assim como, os com resíduos de basalto, foram substituídos 20% da massa de areia lavada de rio pelo resíduo para o emprego na camada intermediária, o secante. O traço em massa, deste ensaio, foi de 1: 3. A figura 62 apresenta a mistura.

Figura 62 - Mistura para o material secante com areia de resíduos da construção civil reciclados



Fonte: o autor, 2012.

O secante com substituição de 15% da massa de areia e pó de pedra, tradicionalmente utilizados, pela areia de RCC reciclado, não apresentou boas condições de trabalhabilidade. Foi verificado durante a produção das peças que a utilização deste resíduo diminui o tempo de conformação dos ladrilhos hidráulicos. Isto pelo fato de não ter apresentado as mesmas características de absorção da umidade da calda pigmentada encontrada no secante convencional, ou ainda, pelo efeito de adsorção do secante com resíduo de basalto. Entretanto, as peças foram produzidas e desformadas, apresentando bom aspecto (figura 63).

Figura 63 - Ladrilhos produzidos com areia de RCC reciclado



Fonte: O autor, 2012.

Foram produzidos ladrilhos com a incorporação de 7,5 % da massa de pó de pedra, do tardo das peças, por raspas de borracha de pneus, conforme mostra a mistura apresentada na figura 64. O traço ideal, apontado pelos ensaios anteriores com este tipo de resíduo foi de 1: 5 em massa.

Figura 64 - Mistura com raspas de borracha de pneus para composição da camada do tardo do ladrilho hidráulico



Fonte: O autor, 2012.

O umedecimento da mistura, homogeneizada a seco, se deu por meio da aspersão de água com uma brocha, utilizando o método tradicional, até que fosse constatado manualmente que a mistura atingiu a consistência ótima. Em seguida, o material foi lançado sobre o secante tradicionalmente utilizado na

produção dos ladrilhos hidráulicos. Em ensaios posteriores, a mescla com incorporação de raspas de borracha também foi lançada sobre os secantes com pó de basalto e areia de RCC. No entanto, em todos os ensaios no momento da prensagem foi verificado que a mistura não se consolidou com as demais camadas, gerando uma fissura horizontal na divisão das camadas, ou ainda desagregando no momento da desforma (figura 65).

Figura 65 - Desagregação do ladrilho com raspas de borracha no momento da desforma



Fonte: O autor, 2012.

Após esta verificação foi formulado um novo traço de secante com a incorporação de raspas de borracha, com traço mais rico em cimento de 1 : 2 em massa e substituição de 7,5 % da massa de areia e pó de pedra. Foi verificado já no momento de produção do ladrilho hidráulico falha na mistura, visto que o secante com raspas de borracha não absorveu de forma eficaz a umidade da calda pigmentada. Assim, como a utilização de raspas de pneus no tardo das peças não apresentou bons resultados, a utilização deste resíduo no secante não satisfaz os critérios encontrados na NBR 9457 em relação às características físicas das peças. Contudo, apesar das dificuldades de produção, algumas peças foram produzidas (figura 66).

Figura 66 - Ladrilhos hidráulicos com utilização de raspas de borracha de pneus em sua composição



Fonte: O autor, 2012.

4.5.1 Avaliação do Desempenho dos Ladrilhos Hidráulicos Produzidos

Os ladrilhos produzidos, respeitado o tempo de cura, foram encaminhados para o Laboratório de Materiais da Universidade Estadual de Londrina para serem submetidos a ensaios de avaliação de desempenho. Foram realizados os ensaios: dimensional, absorção de água e resistência à flexão.

Os ensaios dos ladrilhos hidráulicos experimentais e os ladrilhos testemunhas seguiram as recomendações encontradas na NBR 9754:1986 que estão dispostas na tabela 16.

Tabela 16 – Número de peças necessárias a um ensaio, retiradas da amostragem, em função do lote e das características do ensaio

Características		Tamanho da amostra
Ensaio não destrutivo	Dimensional	20
	Absorção de água	5
Ensaio destrutivo	Resistência à flexão	5

Fonte: NBR 9457:1986.

4.5.2 Variação Dimensional

O ensaio dimensional e visual analisou as peças saturadas com superfície seca, após desforma nas idades de 3 e 28 dias (figura 67).

Figura 67 - Peças submetidas à verificação em ensaio dimensional.



Fonte: O autor, 2012.

Os ladrilhos fornecidos pelas fábricas participantes da pesquisa (ladrilhos testemunhas) apresentaram bons resultados, assim como as peças experimentais com utilização dos resíduos de basalto e areia de RCC reciclado. No entanto, os ladrilhos com incorporação de raspas de borracha de pneus sofreram desagregação do material e alguns deles se romperam.

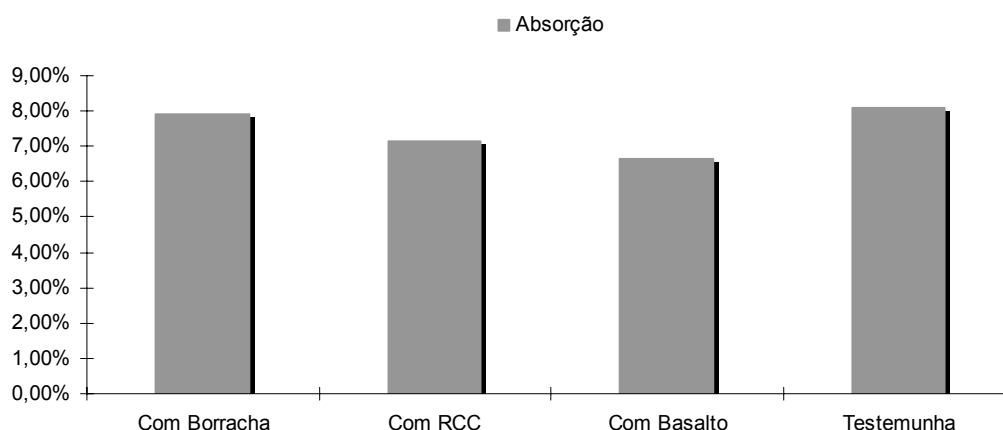
4.5.3 Absorção de Água

O resultado médio deste ensaio está na tabela 17 e figura 68.

Tabela 17 – Resultado médio do ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos

Ladrilhos Hidráulicos	Ensaio de Absorção		
	Seco	Saturado	Absorção
Com Borracha	1140 g	1230 g	7,895 %
Com RCC	1162 g	1245 g	7,143 %
Com Basalto	1172 g	1250 g	6,655 %
Testemunha	1295 g	1400 g	8,108 %

Fonte: O autor, 2012.

Figura 68 – Resultado médio do ensaio de absorção dos ladrilhos hidráulicos

Fonte: O autor, 2012.

4.5.4 Resistência à Flexão

A NBR 9754 especifica para o módulo de ruptura à flexão o valor médio da amostra de 5,0 MPa e valor individual de 4,6 MPa, ou seja, o valor individual mínimo deve ser de 1352,40 N. Para este ensaio, a norma também sugere cinco amostras para cada grupo, no entanto, a fim de se obter melhores resultados estatísticos, foram ensaiados 32 ladrilhos hidráulicos no total, divididos em quatro grupos, sendo oito ladrilhos testemunhas (ladrilhos obtidos como amostras das fábricas, produzidos pelo método padrão), oito ladrilhos com incorporação de pó de basalto, oito com raspas de borracha de pneus na mistura do tardo das peças e mais oito ladrilhos hidráulicos com adição de areia de RCC reciclado.

A tabela 18 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de ruptura à flexão desses ladrilhos hidráulicos, onde o tempo de ruptura foi fixado em 1 MPa por minuto, o deslocamento (flecha) em milímetros e a carga de ruptura à flexão dada em Newton.

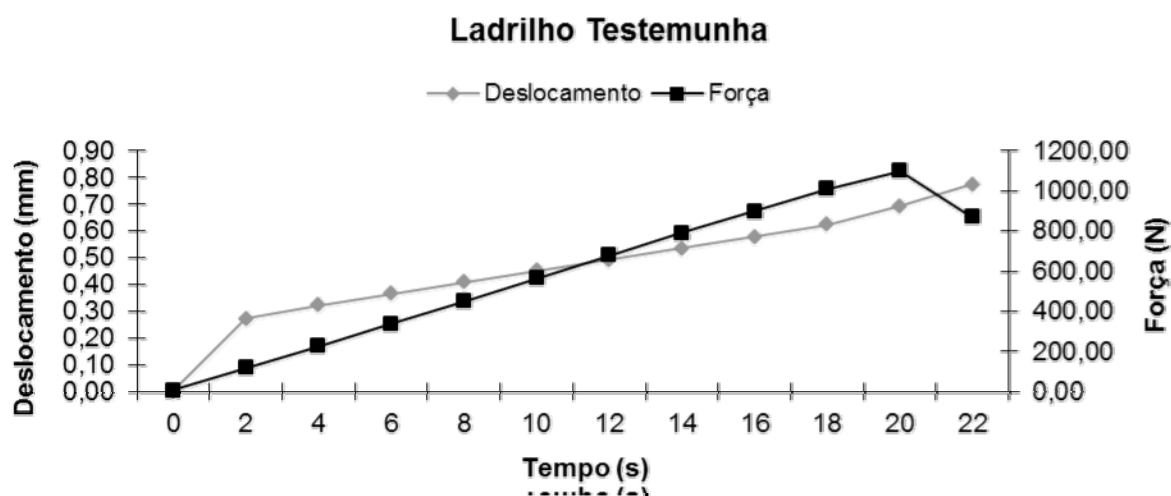
Tabela 18 – Resultados do ensaio de resistência à flexão de ladrilhos hidráulicos

Tipos de Ladrilhos Ensaiaados	Deslocamento (mm)	Força (N)
Ladrilhos Testemunhas	0,607	245
	1,006	1070
	0,994	516
	0,774	1136
	0,701	661
	1,053	1050
	0,843	1072
	0,672	1113
Ladrilhos com Pó de Basalto	0,881	723
	0,962	718
	0,878	962
	0,865	791
	0,782	508
	0,843	957
	0,798	880
	0,871	905
Ladrilhos com Raspas de Borracha	1,077	408
	1,030	689
	0,810	845
	0,731	425
	0,930	502
	0,807	739
	1,025	601
	0,631	590
Ladrilhos com Areia de RCC	0,833	1169
	0,912	1252
	1,018	594
	0,863	492
	0,711	511
	0,898	1244
	0,823	1115
	0,808	1169

Fonte: O autor, 2012.

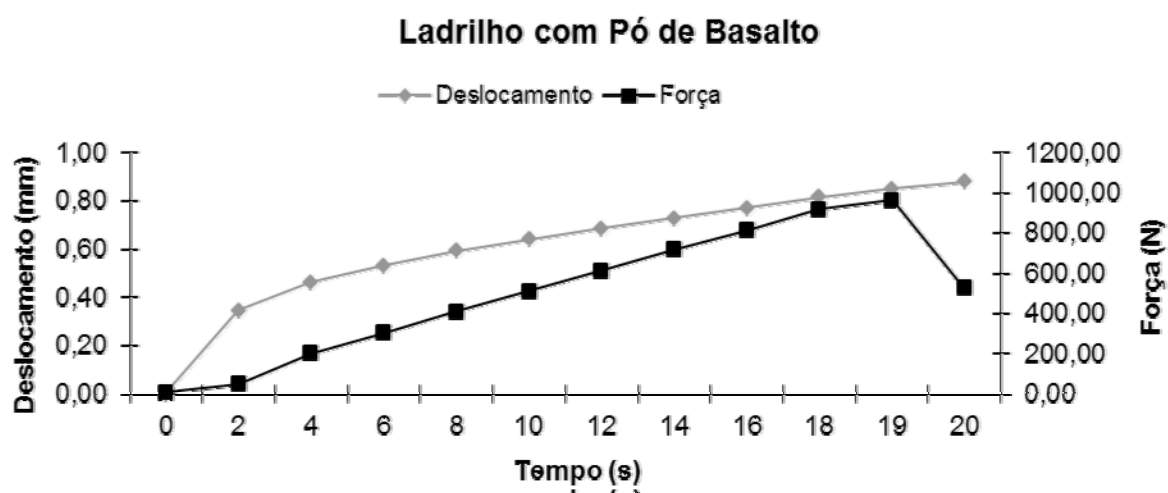
As figuras 69, 70, 71 e 72 mostram os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à flexão dos quatro grupos de ladrilhos com oito amostras em cada um deles.

Figura 69 - Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos testemunhas



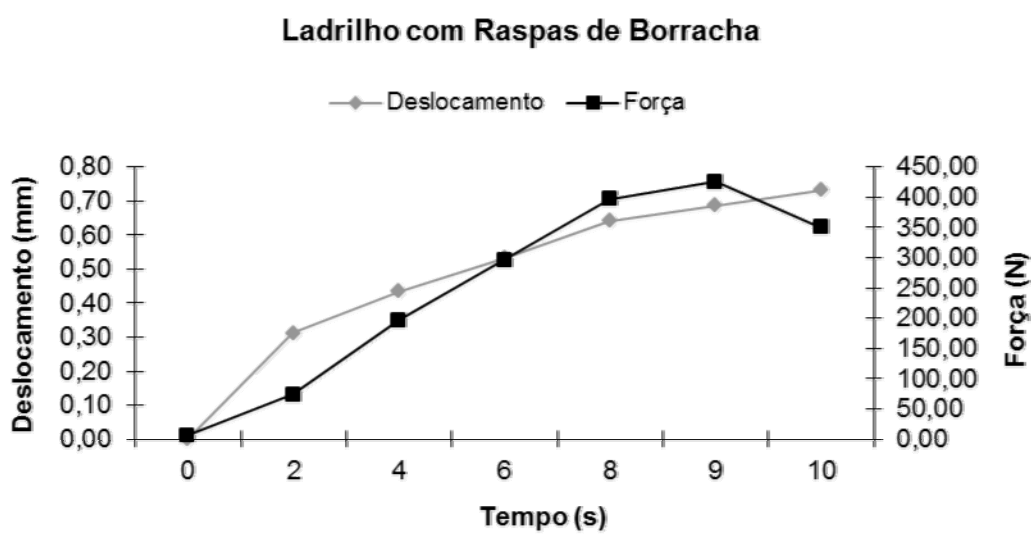
Fonte: O autor, 2012.

Figura 70 - Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com resíduo de britagem de pedra basáltica



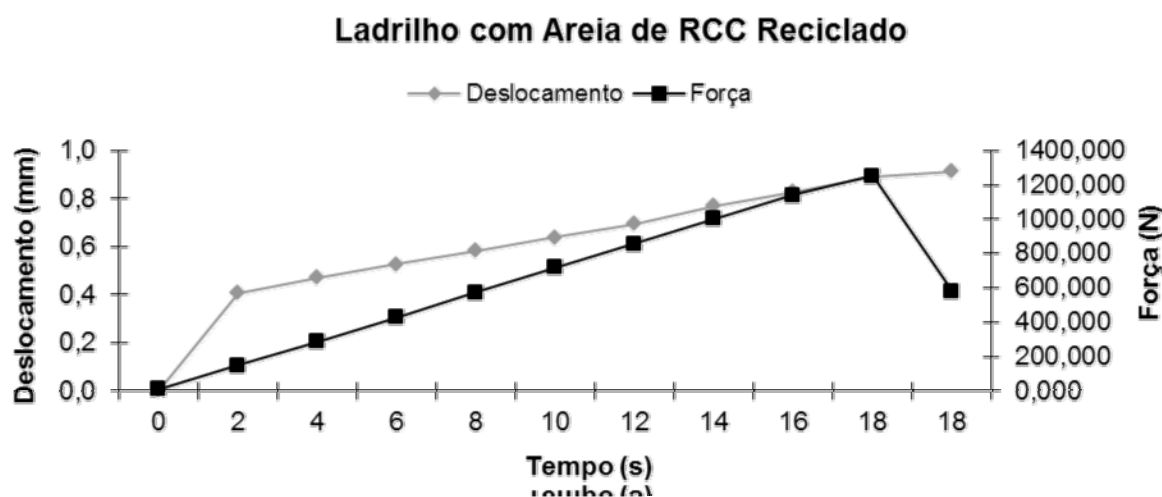
Fonte: O autor, 2012.

Figura 71 - Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com raspas de borracha de pneus



Fonte: O autor, 2012.

Figura 72 - Resistência à flexão em ladrilhos hidráulicos com areia de resíduos da construção civil

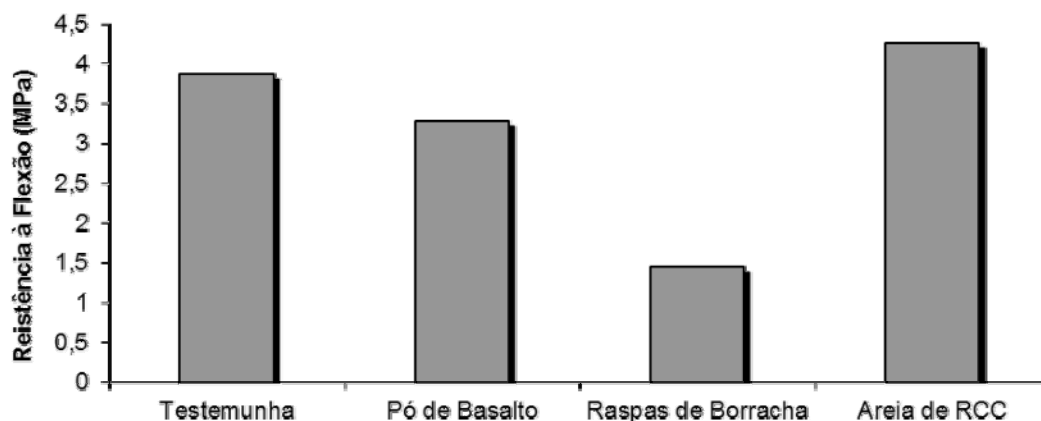


Fonte: O autor, 2012.

Todas as peças ensaiadas sofreram deslocamento mais abrupto no momento inicial e, depois, ao longo do ensaio até a ruptura, mantiveram uma reta ascendente. O ladrilho testemunho apresentou resistência máxima à flexão de 3,86 MPa. Os ladrilhos hidráulicos com incorporação de pó de basalto e areia de RCC reciclado apresentaram, respectivamente, resistência máxima à flexão de 3,27 MPa

e 4,25 MPa. Já as peças com incorporação de raspas de borracha de pneus apresentaram resistência à flexão na ordem de 1,44 MPa. A figura 73 demonstra estes resultados em gráfico de colunas.

Figura 73 - Média dos resultados obtidos das amostras no ensaio de resistência à flexão nos ladrilhos hidráulicos testemunhas e experimentais



Fonte: O autor, 2012.

A análise estatística do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos demonstrou que os ladrilhos com a incorporação de Pó de Basalto, Areia de RCC e os ladrilhos testemunhas não diferiram estatisticamente entre si, em relação ao tempo de ruptura nos ensaios à flexão, ou seja, do início da aplicação da carga à taxa constante até o instante de ruptura; o deslocamento sofrido (em milímetros) e a força (Newton). Contudo, o tratamento do ladrilho com Raspas de Borracha foi significativamente inferior em relação aos testes de tempo e força de resistência à flexão em relação aos demais tratamentos (tabela 19).

Tabela 19 – Ensaio de resistência à flexão de ladrilhos hidráulicos

Tratamento	Tempo (s)	Deformação	Força (N)
Ladrilho Testemunha	15,5 a*	0,868	845,6 a
Ladrilho com Pó de Basalto	16,3 a	0,896	798,2 a
Ladrilho com Raspa de Borracha	8,8 b	0,942	505,9 b
Ladrilho com Areia de RCC	12,8 a	0,875	712,0 a
C.V.	22,51	8,94	33,35
Prob.>F	0,01**	n.s.**	0,05**

* Média seguida de mesma letra não difere pelo teste Scott-Knott a 5%.

** Dados não transformados.

Fonte: Adaptado de CANTERI et al, 2001.

Os baixos resultados obtidos de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos com incorporação de raspas de borracha, quando comparado aos demais ladrilhos ensaiados, ou ainda, quando relacionados aos resultados obtidos nos ensaios dos concretos com a incorporação desse resíduo, possivelmente se deve pela ausência de plasticidade da mistura que compôs o tardo ou a camada intermediária dos ladrilhos hidráulicos. Visto que, no momento da conformação destes ladrilhos, quando prensados, muitas peças apresentaram fissura horizontal ou o tardo sofreu desagregação como pode ser visto na figura 74.

Figura 74 - Desagregação do material após a prensagem do ladrilho hidráulico com incorporação de raspas de borracha de pneus



Fonte: O autor, 2012.

Na figura 75 apresentam-se os detalhes das peças de ladrilhos hidráulicos submetidas à flexão e a ruptura da peça no terço central permitindo a validação dos ensaios, representando a correta solicitação do ladrilho.

Figura 75 - Ladrilhos após a realização dos ensaios de flexão



Fonte: O autor, 2012.

5 CONCLUSÕES

As normas sugeridas na NBR 9457 - Ladrilho Hidráulico, com exceção da NBR 9459 – Ladrilho Hidráulico – Formatos e Dimensões – Padronização, foram canceladas e substituídas.

O texto da NBR 9457 é bastante controverso e tão limitado quanto o da NBR 9459.

Ao longo dos estudos realizados não se encontrou na literatura e nas fábricas visitadas qualquer referência ao uso de agregados graúdos, ainda que brita 0, na produção dos ladrilhos hidráulicos. Desta forma, causou certa estranheza a referência, no item 1.3 da NBR 9457, a ladrilho hidráulico como sendo uma placa de concreto de alta resistência. Da mesma maneira, o conceito de concreto de alta resistência não apresenta parâmetros limites para compressão axial, mas apenas estabelece o valor limite do módulo de ruptura à flexão no item 5.1- C, igual a 5,0 MPa.

Outro aspecto questionável da norma mencionada é sua referência a pigmentos inorgânicos, indicando no item 4.1.1 – D, a NBR 5734, a qual diz respeito a peneiras de ensaios.

Apesar das faltas referentes à NBR 9457 e da escassez de literatura nacional e internacional sobre o processo de produção de ladrilhos hidráulicos, o objetivo maior desta pesquisa em identificar o processo e registrá-lo foi concluído, por meio das visitas técnicas às fábricas de ladrilhos, da análise de seus históricos familiares e da crítica bibliográfica sobre temas semelhantes, como os mosaicos, que forneceram subsídios para identificar o processo de produção de ladrilhos hidráulicos.

Da mesma maneira, também foi concluído o objetivo de realizar as adequações e as proporções dos componentes utilizados na produção de ladrilhos hidráulicos.

A luz da sustentabilidade foram caracterizados e avaliados o desempenho das raspas de borracha de pneus, dos agregados miúdos de RCC misto e dos resíduos de britagem basáltica, que foram incorporados como matéria prima para a produção de ladrilhos hidráulicos.

Os resultados destes estudos, no entanto, não foram plenamente satisfatórios, em razão de que as raspas de pneus não ofereceram boa aderência

quando incorporadas à mistura utilizada no tardo dos ladrilhos hidráulicos e, ainda, apresentando resistências na ordem de 1,5 MPa.

A incorporação dos resíduos de britagem basáltica ao material secante foi favorável à hipótese, pois a mistura favorece a absorção de água da calda pigmentada, melhorando o processo de produção dos ladrilhos hidráulicos. E dentre os quatro grupos de estudos, apresentou os melhores resultados no ensaio de absorção de água na ordem de 6,65%, lembrando que a NBR 9457 determina valor máximo de 8,0%.

Em razão da pesquisa, pode-se afirmar, ainda, que o uso de agregado miúdo de resíduos da construção civil (RCC) misto na produção dos ladrilhos hidráulicos melhora a sua resistência mecânica à flexão. Os ladrilhos hidráulicos com secante a base deste resíduo apresentaram os melhores resultados de resistência na ordem de 4,25 MPa, superiores aos dos ladrilhos testemunhas.

A pesquisa demonstra que a incorporação dos resíduos de britagem basáltica e os de RCC reciclado, dentro das faixas granulométricas estudadas, apesar de diminuir a trabalhabilidade na conformação das peças, é viável a sua incorporação, já que em todos os ensaios realizados os ladrilhos experimentais com incorporação destes resíduos apresentaram resultados superiores àqueles dos ladrilhos testemunhas. Entretanto, este é um fator preocupante, pois em nenhum dos casos estudados os valores de resistência à ruptura à flexão atenderam ao valor mínimo de resistência prescrito na NBR 9457.

A produção das peças com resíduos sólidos urbanos, em especial os resíduos de britagem basáltica e os resíduos de RCC reciclado, atingiu seu fim quanto à produção de produto ecoeficiente, uma vez que proporciona a retirada de materiais que seriam depositados no meio ambiente, podendo degradá-lo, causando parte de sua destruição, mas, apesar disso, não seriam produtos sustentáveis.

Para estudos posteriores, sugere-se a realização de ensaios de resistência à abrasão. E, visando melhores resultados de resistência à flexão, a realização de estudos relacionados à camada pigmentada dos ladrilhos hidráulicos.

REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M.; PINHEIRO, L.M. **Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras**. 42º Congresso Brasileiro do Concreto. Fortaleza - CE, 2000.

AITCIN, P. C.; NEVILLE, A. 120 MPa sem mistério. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 3, n. 19, p. 29-33, nov/dez. 1995.

ALBUQUERQUE, A.C., et al. **Concreto com borracha de pneu: uma revisão bibliográfica**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte - MG, 2002.

ALMEIDA, I. R. Influência dos agregados na qualidade dos concretos de alto desempenho. **Revista Ibracon**, Rio de Janeiro, ano IV, n.9, ago/set. 1994.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 167 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli, et al. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos**. In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável. **Anais...**São Paulo: 2004. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 6467**: agregados - determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

_____. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

_____. **NBR 7215**: cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

_____. **NBR 7218**: agregados - determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

_____. **NBR 7682**: calda de cimento para injeção – determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro, 1983. 4 p.

_____. **NBR 8953**: concretos para fins estruturais – classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

_____. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004. 97 p.

_____. **NBR 9457**: ladrilho hidráulico. Rio de Janeiro, 1986. 4 p.

_____. **NBR 9458**: assentamento de ladrilho hidráulico. Rio de Janeiro, 1986. 2 p.

_____. **NBR 9459**: ladrilho hidráulico – formatos e dimensões. Rio de Janeiro, 1986. 2 p.

_____. **NBR 9935**: agregados – terminologia. Rio de Janeiro, 2005. 12 p.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica - Método de ensaio agregados – terminologia. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

_____. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

_____. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

_____. **NBR 12041**: argamassa de alta resistência mecânica para pisos – determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 1992. 8 p.

_____. **NBR 12042**: materiais inorgânicos - determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **NBR 12653**: materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992. 3 p.

_____. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997. 72 p.

_____. **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro. 2011. 11p.

_____. **NBR ISO 14020**: rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro. 2002. 5 p.

_____. **NBR NM 23**: cimento portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 5 p.

_____. **NBR NM 26**: agregados - amostragem. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

_____. **NBR NM 43**: cimento portland – determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

_____. **NBR NM 45**: agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

_____. **NBR NM 46**: agregados - determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 52**: agregado miúdo - determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 65**: cimento portland - determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

_____. **NBR NM 76**: cimento portland – determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998. 12 p.

_____. **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **ANIP em Números**. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 10 dezembro 2010.

BLUMENSCHNEIN, R; SPOSTO, R. M. **Projeto de gerenciamento de resíduos sólidos**: programa de gestão de materiais. Cartilha, publicação UnB, CBIC, Sinduscon-DF, Sinduscon-GO e Prefeitura de Goiânia. Brasília, 2003. snp.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Ed. Humanitas FFLCH/USP, 2003. 346 p.

CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM - **Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan**. Revista Brasileira de Agrocomputação, V.1, N.2,p.18-24. 2001.

CARVALHO, Luciana. **Ladrilhos hidráulicos de Corumbá**. IPHAN, CNFCP. Rio de Janeiro, 2008. 36 p. il. – (Sala do Artista Popular ; n. 146).

CASABO, Juan. **Fabricacion de Mosaicos y Baldosas de Cemento**. Libreria y Editorial Nigar, S. R. L. Buenos Aires, Argentina 1958.

CATOIA, Thiago; CATOIA, Bruna; LIBÓRIO, Jefferson Benedicto Libardi. **Ladrilhos hidráulicos de alto desempenho**. In: 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. CD-ROM.

CATOIA, Thiago. **Ladrilhos e revestimentos hidráulicos de alto desempenho**. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAVALCANTE, J. R.; CHERIAF, M. **Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados**. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, p. 31-37, 1996.

CAVALCANTI, Diogo J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CAVALLI, Angelina Franciele; VALDUGA, Laila. **Ladrilhos hidráulicos: reconstituição e caracterização**. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, p.4042-4050, 2006.

CHIARAVALLLOTI, Rafael Morais. **Sustentabilidade**: uma ideia boa, mas não uma tarefa fácil. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/artigos>>. Acesso em: 19 julho 2011.

CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável**. Tradução de: Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication 237. EDUSP-USP, São Paulo, 2000. 131 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Resolução n. 307**, de 5 de julho de 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Impõe obrigações às empresas fabricantes e às importadoras de pneumáticos e dá providências correlatas. **Resolução n. 258**, de 26 de agosto de 1999 (texto modificado em 21 de março de 2002 pela Resolução n. 301).

DEPONTIL, C; ALMEIDA, J. **Indicadores para avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local**. Disponível em: <<http://biblioteca.planejamento.gov.br/biblioteca-tematica-1/textos/desenvolvimento-agrario/texto-31-indicadores-para-avaliacao-da-sustentabilidade-em-contextos-de-desenvolvimento-rural-local.pdf>>. Acesso em: 20 julho 2011.

EL-GAMMAL, A, et al. Compressive Strength of Concrete Utilizing Waste Tire Rubber. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**. Egypt, 2010.

FÁBRICA de mosaicos. Disponível em: <<http://www.fabricademosaicos.com.br>>. Acesso em: 20 março 2011.

FILLA, J. C. **Desenvolvimento de cimento mitigador da reação álcali-sílica utilizando finos de britagem de rocha basáltica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Centro de Tecnologia e Urbanismo, Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

GRUPPI, Annelise Gamonal Nogueira. **O processo criativo em mosaicistas**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2007.

GS-40 – **Resíduos sólidos**: passivo ambiental [...] 2006 (E) Jouliana Jordan Nohara [et. al.] THESIS, São Paulo, ano I, v .3 , p. 21-57, 2º Semestre, 2005.

HASWANI, Mariângela. **A comunicação do Estado Democrático de Direito na mobilização para a sustentabilidade.** Disponível em <http://www.abrapcorp.org.br/anais2008/gt6_furlan.pdf>. Acesso em: 14 julho 2011.

INFOESCOLA Navegando e aprendendo. Disponível em: <<http://www.infoescola.com>>. Acesso em: 18 março 2011.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 p. Tese (Livre docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M; ÂNGULO, S. C. **Metodologia para o desenvolvimento de reciclagem de resíduos.** In: ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley M. Coletânea Habitar – Utilização de resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, v.4, p.8-71, 2003.

JÚNIOR, Nelson Boechat Cunha (coord.). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil.** SINDUSCON – MG, 2005. 38 p.

LADRILHOS hidráulicos: processos sustentáveis. Disponível em: <<http://www.ornatos.com.br>>. Acesso em 23 maio 2011.

LANXESS. Bayferrox 732. Informações técnicas do produto. Elaboração: Arlete M. Ulerik. Código:18365332, rev.03, 3f., 2003.

LEVY, S. **Sustentabilidade na construção civil:** a contribuição do concreto. In: ISAIA, G C. Concreto: ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

LISBOA, E. M.; **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

LUND, H. F. **The McGraw Hill Recycling Handbook.** New York, 2001.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensável reforçados com fibras de aço.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. PINI, 1. ed., São Paulo, 1994.

MENOSSE, Rômulo T. **Utilização de pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP, 2004.

MURPHY, Carolina Cabral. **A importância do investimento ambiental integrado e sustentável.** Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/artigos>>. Acesso em: 19 julho 2011.

NIRSCHL, G.C., FIORITI, C. F., AKASAKI, J. L. **Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de concreto.** 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte - MG, 2002.

NOVAIS, Ieda. **Ser ou não ser sustentável, eis a questão.** Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/artigos>>. Acesso em: 19 julho 2011.

PASTORALIS. Disponível em: <<http://www.pastoralis.com.br>>. Acesso em: 18 março 2011.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999, 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RAM NIDUMOLU, C. K.; PRAHALAD, M.R. Rangaswami. **Why sustainability is now the key driver of innovation.** Disponível em: <<http://hbr.org/product/why-sustainability-is-now-the-key-driver-of-innova/an/R0909E-PDF-ENG?Ntt=nidumolu>>. Acesso em: 20 julho 2011.

REIS, Alessandra Savazzini. **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil.** 2008. 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

RIBEIRO, F.C.V., BOLORINO, H., FERNANDES, S. A. **Análise da influência da adição de pneu na deformabilidade do concreto.** 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte - MG, 2002.

ROCHA, E. G. de A.; SPOSTO, R. M. **Quantificação e caracterização dos resíduos da construção civil da cidade de Brasília. Anais...:** In: IV SIBRAGEQ – I ELAGEC Porto Alegre, 24 a 26 de novembro, 2005. 10 p.

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento.** 1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, UNICAMP, Campinas - SP, 1999.

SOUZA, U. E. L. **Como reduzir perdas nos canteiros:** manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. Ed. PINI, São Paulo, 2005. 128 p.

TOUTANJI, H. A. **The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates:** cement and concrete composites, v.18, n.2, p.135-139. University of Puerto Rico. Puerto Rico, 1999.

Script do ensaio de ruptura à flexão realizado nos ladrilhos hidráulicos testemunhas e experimentais realizados em Máquina Universal de Ensaios EMIC DL 300000, com célula de carga para 500 kg.

>>>> Programa Tesc - Esboço de Script

>>>> Método NBR 9457-Ladrilho Hidráulico

1 ***Variáveis de entrada

2 CP -> "CP", "", Ent, Res, Rel, Edi

3 b -> "b", 200.000 mm, Ent, Edi

4 h -> "h", 14.50 mm, Ent, Res, Rel, Edi

5 TxIncTensão -> "Taxa de Incremento de Tensão", 1.000 MPa/min

6 TensaoRupPrev -> "fc0 prev", 5.000 MPa, Edi

7 comp. base -> "compr. base", 0.00 cm, Edi

8

9 ***Variáveis atribuíveis

10 Área -> "Área", cm2

11 Fmax -> "Força->Máxima", kgf, Res, Rel

12 Resistêncai à compressão paralela -> "fc0", MPa

13 T10% -> "Tensão ->em 10% da Carga ->Prevista", MPa

14 T50% -> "Tensão ->em 50% da Carga ->Prevista", MPa

15 Def10% -> "Deformação ->em 10% da Carga ->Prevista", %

16 Def50% -> "Deformação ->em 50% da Carga ->Prevista", %

17 Modulo de Elasticidade na compressão paralela -> "Ec0", MPa

18 F10% -> "F10%", N

19 F50% -> "F50%", N

20 F70% -> "F70%", N

21 F 15% -> "F15%", N

22 f 45% -> " F 45 %", N

23 TAdm -> "",

24 T -> "Tensão", MPa

25 F -> "Força", N

26 FAdm -> "",

27 TxIncForça -> "Taxa de Incremento de Força", N/min
 28 RupPrev -> "Força de Ruptura Prevista", N
 29 flx10% -> "Flx10%", mm
 30 flx50% -> "Flx50%", mm
 31 def max -> "def max", mm, Res, Rel
 32
 33 ***Reta
 34 Reta Sec -> ""
 35
 36 ***Eventos
 37 @Rup -> ""
 38 @Máx -> "", Vis
 39 @Marca1 -> "", Vis
 40 @Marca2 -> "", Vis
 41 @10% -> ""
 42 @50% -> ""
 43 @70% -> ""
 44 @45% -> ""
 45 @15% -> ""
 46
 47 ***Atribuições
 48 SIS_COMPR_BASE = COMPR_BASE_EQV_FLEX_4PTS_1/2(h; 180.0 mm)
 49 Área = MULTIPL(b; h; ***, ***, ***)
 50 SIS_ÁREA = CÓPIA(Área)
 51 RupPrev = <FORÇA>(TensaoRupPrev)
 52 @Marca1 = @MARCA(1.000)
 53 @Marca2 = @MARCA(2.000)
 54 @Rup = @COLAPSO(10.00 %), Usar(...)
 55 @Máx = @FORÇA_MAX()
 56 Fmax = FORÇA(@Máx)
 57 Resistêncai à compressão paralela = TENSÃO(@Máx)
 58 F10% = AX+B(RupPrev; 10.00 %; ***)
 59 F50% = AX+B(RupPrev; 50.00 %; ***)
 60 F70% = AX+B(RupPrev; 70.00 %; ***)

61 F 15% = AX+B(RupPrev; 15.00 %; ***)
 62 f 45% = AX+B(RupPrev; 45.00 %; ***)
 63 @45% = @FORÇA(f 45%)
 64 @15% = @FORÇA(F 15%)
 65 @10% = @FORÇA(F10%), Usar(...)
 66 @50% = @FORÇA(F50%), Usar(...)
 67 @70% = @FORÇA(F70%), Usar(...)
 68 T10% = TENSÃO(@10%)
 69 T50% = TENSÃO(@50%)
 70 Def10% = DEF_ESPEC(@10%)
 71 Def50% = DEF_ESPEC(@50%)
 72 Reta Sec = RETA_INICIAL(@Marca1; @Marca2)
 73 Modulo de Elasticidade na compressão paralela = MÓDULO(Reta Sec)
 74 TAdm = CÓPIA_ADIMENSIONAL(TxIncTensão)
 75 T = CÓPIA_ADIMENSIONAL(TAdm)
 76 F = <FORÇA>(T)
 77 FAdm = CÓPIA_ADIMENSIONAL(F)
 78 TxIncForça = CÓPIA_ADIMENSIONAL(FAdm)
 79 flx10% = DEFORM(@Marca1)
 80 flx50% = DEFORM(@Marca2)
 81 def max = DEFORM(@Máx)
 82
 83 ***Mensagens
 84 Fim de Curso -> FIM DE CURSO ATINGIDO ...
 85 Fim de Ensaio -> FIM DE ENSAIO 86 Lim de Carga -> LIMITE DE CARGA
 ATINGIDO ...
 87 Ret Ext -> RETIRAR O EXTENSÔMETRO E APERTAR A TECL...
 88
 89 ***Comandos 90 SALVAR_POSIÇÃO_INICIAL()
 91
 92 ***1º Ciclo
 93 ATIVAR_DET_RUPTURA(0.0000)
 94 ATIVAR_LIMITE_FORÇA(450.0 kgf)
 95 MOV_ATÉ____A____(450.0 kgf; TxIncForça)

96 AGUARDAR_CHEGADA()
97
98 EM_RUPTURA/COLAPSO()
99 PARAR_ABRUPTAMENTE()
100 DISPARAR_MENSAGEM(Fim de Ensaio; 0.0000 s)
101 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(500.0 mm/min)
102
103 EM_LIMITE_FORÇA()
104 PARAR_ABRUPTAMENTE()
105 DISPARAR_MENSAGEM(Lim de Carga; 0.0000 s)
106 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(100.0 mm/min)
107 FINALIZAR_ENSAIO()
108