



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ESTUDO DA VIABILIDADE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO MOÍDO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA

João Geraldo Molinari Peres¹; Renan Destefano Tavares²; Stella Quaglia Junqueira de Luca²,
Paulo Isac Barbosa², Izabela de Cássia Tacão²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da viabilidade da adição de vidro moído como agregado na produção de argamassa cimentícia. O estudo foi verificado através do preparo de corpos-de-prova e da submissão destes à ensaios de resistência à compressão simples, análise dimensional, ortogonalidade e de absorção de água por capilaridade e imersão. Os resultados mostraram que com 14 dias de secagem as peças praticamente estabilizaram-se, tempo menor que o encontrado para as testemunhas. A análise dimensional permitiu a constatação de que o material não apresenta grande dilatação ou retração em seu período de cura. Dos dez corpos-de-prova confeccionados para o ensaio ortogonal, seis apresentaram resultados certificados como adequados com base na norma técnica NBR 13818 da ABNT. O ensaio de absorção de água por capilaridade mostrou, através do corte transversal efetivado na peça ao final do experimento, que a altura de molhamento das peças chegou a 100%, desclassificando-as segundo a norma NBR 9779 da ABNT. Os percentuais de absorção de água por imersão dos corpos-de-prova selecionados para o ensaio foram de 13,5%, 8,9% e 10,8%, classificando-os como classe AIII e classe AIIb segundo a norma NBR 13818 da ABNT.

Palavras-chave: Vidro moído; Argamassa cimentícia; Corpos-de-prova.

FEASIBILITY STUDY OF ADDING MILLED WASTE GLASS IN THE CEMENT MORTAR PRODUCTION

ABSTRACT

The present work aimed to study the feasibility of adding milled glass as an aggregate in the cement mortar production. The study was verified through the preparation of specimens and their submission in compressive strength test, dimensional analysis, orthogonality and water absorption test by immersion and capillarity. The results showed that the pieces practically stabilized with 14 days of drying, shorter time than that found for the control. The dimensional analysis led to the confirmation that the material doesn't present large dilatation or shrinkage in its drying period. Six of the ten specimens prepared for orthogonal test, presented results certificates as appropriate based on the technical standard ABNT NBR 13818. The water absorption test by capillarity was made through the transversal cut effected in the piece at the end of the experiment and showed that the wetting height has reached 100%, declassifying the pieces according to ABNT NBR 9779. The percentage of water absorption through the immersion of the specimens selected for the test were 13.5%, 8.9% and 10.8%, classifying them as class AIII and class AIIb according to ABNT NBR 13818.

Keywords: Milled glass; Cement mortar; Specimens.

Trabalho recebido em 21/12/2011 e aceito para publicação em 29/07/2012.

¹ Professor do curso de Engenharia Ambiental do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - Unipinhal, Av. Hélio Vergueiro Leite, 1, Espírito Santo do Pinhal, SP, 13990-000, jgperes@uol.com.br.

² Alunos do curso de Engenharia Ambiental do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - Unipinhal, redestefano@hotmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O questionamento sobre a necessidade de se buscar meios de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, em uma sociedade que cresce em forte ritmo, vem sendo amplamente enfatizado devido à crescente preocupação sobre as questões ambientais e como elas interferem de modo imediato na vida do homem.

É de conhecimento de todos que entre os principais problemas ambientais que afligem a humanidade nas últimas décadas está o dos resíduos gerados pelas atividades antrópicas, cada vez mais abundante e difíceis de serem assimilados pelos mecanismos naturais (COSTA et al., 2009).

Deste modo, a necessidade de aperfeiçoamento e desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas sustentáveis ganha relevância, fazendo surgir estudos sobre a possibilidade da empregabilidade de resíduos como materiais que serão transformados em matéria-prima para a confecção de produtos alternativos, constituindo um importante instrumento de gestão ambiental capaz de diminuir surpreendentemente a quantidade dos detritos gerados pelas atividades do homem, que em grande parte são inadequadamente dispostos, e também reduzir a extração de recursos naturais.

O surgimento da reciclagem de qualquer material deve ser entendido sob um contexto de preservação ecológica, proporcionando equilíbrio entre as atividades produtivas e os ecossistemas que as abrigam. Como definição, reciclagem pode ser

conceituada como a reintrodução de resíduos ou rejeitos em um processo produtivo (BARDINI; MARCHIORO, 2007).

Especificamente com relação à reciclagem do vidro, pode-se afirmar que é uma atividade lucrativa e viável, visto que esse material é totalmente reciclável por ser constituído de minerais como areia, barrilha, calcário e feldspato. Entretanto, a reciclagem não tem se revelado uma resposta para as questões dos problemas de disposição dos resíduos sólidos, pois, o descarte em aterros e lixões ainda corresponde a altos índices, contribuindo para a crescente degradação ambiental.

Buscando alternativas para a minimização desse problema, diversos estudos estão sendo desenvolvidos para testar a viabilidade da adição de resíduos de vidro como material alternativo na produção de argamassa cimentícia, como uma apropriada alternativa para destinação desse detrito e diminuição da utilização do Cimento Portland na argamassa.

Deste modo, o presente estudo terá o objetivo de verificar a viabilidade da adição de vidro moído na produção de argamassa cimentícia como alternativa apropriada de destinação para este resíduo e obtenção de produtos com características adequadas para utilização na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A reciclagem do vidro

A descoberta do vidro é algo incerto, entretanto, registros do historiador romano Plínio atribuem esta descoberta aos navegadores fenícios que, casualmente, o descobriram ao acenderem fogueiras nas areias do Rio Belo. O que se tem certeza é que sírios, fenícios e babilônios já utilizavam vidro desde 7.000 a.C., mas foi no Egito antigo, por volta do ano 1.500 a.C., que o uso do vidro começou a crescer, sendo utilizado como adornos pessoais e embalagens (ABIVIDRO, 2008 *apud* BARDINI; MARCHIORO, 2007).

Desde então, as técnicas de produção do vidro foram sendo aperfeiçoadas e difundidas pelo mundo, assumindo um papel importante e definitivo para o homem, estando presente em incontáveis aplicações.

Segundo dados de 2010 do CEMPRE, o Brasil produz em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano e recicla cerca de 47% dessas embalagens, somando 470 mil ton/ano. Dos 53% restantes, parte é retornável ou reutilizada e grande quantidade é inadequadamente disposta causando impactos ambientais e ocupando áreas.

A reciclagem é uma forma muito atrativa de gerenciamento de resíduos, pois possibilita a empregabilidade de materiais previamente sem destinação como matéria-prima para a confecção de um novo produto,

poupando espaço em aterros sanitários, reduzindo o consumo de energia e contribuindo para a economia dos recursos naturais (ÂNGULO, 1998 *apud* BARDINI; MARCHIORO, 2007).

Do lixo gerado e depositado nos lixões e aterros do país, 2% são compostos por vidro. É difícil determinar o tempo de decomposição do vidro no meio ambiente, entretanto, existem literaturas que afirmam que o tempo estimado é de aproximadamente um milhão de anos, deste modo, estima-se que aproximadamente 70% dos aterros estarão com sua capacidade muito reduzida no próximo milênio (SANTOS, 1998 *apud* BARDINI; MARCHIORO, 2007).

Questões de custo, dificuldades com a pureza do resíduo e transporte para usinas de reciclagem que se situam em locais distantes são fatores que contribuem para ocorrer restrições para reciclagem primária, processo onde os resíduos são convertidos em produtos do mesmo tipo.

Já a reciclagem secundária é caracterizada como a reciclagem de um resíduo em outro processo produtivo que não aquele que o originou (BARDINI; MARCHIORO, 2007). Em outras palavras, na reciclagem secundária os resíduos são transformados em outro tipo de produto diferente do originalmente produzido.

2.2 Materiais alternativos na construção civil

Em meio a dados alarmantes que ferem o conceito de desenvolvimento sustentável, pesquisas com intuito de desenvolver novas tecnologias ambientalmente corretas vêm

sendo amplamente analisadas a fim de conter questões de poluição, destinação de resíduos e uso o racional de recursos naturais não renováveis.

O conceito clássico de material alternativo, como ferramenta de gestão ambiental, pode ser classificado como os materiais capazes de substituir determinado produto, os quais, além de contribuir para evitar a extração de recursos naturais renováveis ou não, também se constituem em uma importante alternativa de empregabilidade de resíduo quando a reciclagem primária não é viável.

A utilização de materiais alternativos na construção civil vem ganhando relevância, uma vez que, tal setor está em pleno crescimento e se constitui a maior consumidora de matéria-prima da economia. É estimado que tal atividade consuma entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta (SJÖSTRÖM, 1996 *apud* JOHN, 2000).

Um exemplo dessa técnica sustentável é a utilização de resíduos, que possuem características adequadas, na confecção de concreto e argamassas permitindo a geração de materiais com ótimas características técnicas e numerosas vantagens em se tratando de preservação ambiental.

Entretanto, a vantagem ambiental de um processo de reciclagem somente pode ser dada como certa após determinadas análises específicas como, por exemplo, o ciclo de vida do material. Um dos graves riscos da produção de novos materiais a partir de resíduos é a contaminação ambiental das construções que

irão utilizar dessa matéria (VAN DER ZWAN, 1991 *apud* JOHN, 2000).

Em suma, a reciclagem de resíduos como material de construção deve envolver a caracterização física, química e da microestrutura do resíduo, incluindo o seu risco ambiental; o estudo das possíveis aplicações na construção civil, considerando as características do resíduo; a análise de desempenho frente às diferentes necessidades dos usuários para cada aplicação específica e análise do impacto ambiental do novo produto, que necessariamente deve envolver a avaliação de riscos a saúde dos trabalhadores e usuários (JOHN, 1996 *apud* BARDINI; MARCHIORO, 2007).

2.2.1 Incorporação do vidro na produção de argamassa cimentícia

Uma ótima opção para a reciclagem de vidro é sua utilização como agregado ou adição ativa em concretos, visto que esse material tem como constituinte principal a sílica ou óxido de silício (SiO_2), a qual é usada em conjunto com argamassas e concretos no intuito de melhorar suas propriedades mecânicas e durabilidade (PAIVA, 2009). A Tabela 01 apresenta a composição química do vidro demonstrando a alta concentração de sílica.

Tabela 01. Composição do vidro

<i>Óxido</i>	<i>Composição nos vidros comuns</i>
Sílica - SiO ₂	74,0 %
Alumina - Al ₂ O ₃	2,0 %
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃	0,1 %
Cálcio – CaO	9,0 %
Magnésio – MgO	2,0 %
Sódio - Na ₂ O	12,0 %
Potássio - K ₂ O	1,0 %

Fonte: ABIVIDRO (2000).

O vidro é um material feito com uma massa de sílica em fusão, desse modo, ao final de seu processo de produção, o vidro apresenta-se como um material composto de sílica amorfa. A presença desse tipo de material em sua composição faz do vidro um material com potencialidade para promoção de pozolanicidade, quando apresenta alto grau de finura (PAIVA, 2009).

A pozolana é caracterizada como um material cimentício que contém sílica de forma ativa. Trata-se de um material silicoso que possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas quando finamente subdividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias (NEVILLE, 1997 *apud* PERUZZI, 2002).

López et al. (2003) propõem que existe uma tendência de aumento da tensão média de ruptura com o aumento da granulometria do material. Deste modo, o vidro moído e fino preenche os espaços vazios, principalmente entre a areia, aumentando a tensão média, ou seja, fazendo com que o material fique mais resistente.

Levando-se em conta o efeito pozolânico e a capacidade de preenchimento dos vazios pelo vidro moído, essa nova técnica vem sendo pesquisada a fim de incorporar tal resíduo na produção de argamassa cimentícia.

2.3 Cimento portland e algumas considerações

O cimento portland é um material fino composto de clínquer e adições, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes em presença de água. O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila e possui a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. As adições variam de um tipo de cimento para outro, incluem outras matérias-primas, tais como, gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos, as quais são misturadas ao clínquer na fase de moagem (ABCP, 2002).

O cimento é constituído por quatro compostos principais, sendo estes, o silicato dicálcico (C_2S), silicato tricálcico (C_3S), aluminato tricálcico (C_3A) e o ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF). Na química do cimento, utilizam-se as representações, S - SiO_2 ; A - Al_2O_3 ; F - Fe_2O_3 ; M - MgO ; S - SO_3 ; N - Na_2O ; K - K_2O ; C - CaO . Existem outros compostos secundários em menor percentagem em relação à massa de cimento como o MgO , TiO_2 , MnO_2 , K_2O e Na_2O (PAIVA, 2009).

A produção mundial de cimento é de 1,5 bilhão de toneladas ao ano, e, além de ser o responsável pela emissão de cerca de 7% de dióxido de carbono gerado no mundo, tal atividade necessita da utilização de grande quantidade de energia. Aproximadamente uma tonelada de dióxido de carbono é lançado na atmosfera pela a produção de uma tonelada de clínquer de cimento Portland. No Brasil a produção mensal é de 4,5 milhões de toneladas, o que significa que o Brasil contribui com emissão de cerca de 4,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CBIC, 2009 *apud* PAIVA, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi totalmente elaborado dentro das dependências do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - Unipinhal, em Espírito Santo do Pinhal, SP. Os ensaios relativos

ao estudo foram desempenhados no Laboratório de Solos, situado no Bloco E do centro acadêmico. O acesso ao local pode ser feito através da Avenida Antônio Costa, próximo ao início da Estrada Vicinal Olavo de Almeida, que liga o município à Jacutinga, MG.

O material utilizado como resíduo na confecção dos corpos-de-prova incluiu embalagens de maionese e azeite, garrafas não retornáveis, vidro de janelas quebradas e materiais não recicláveis como vidros de lâmpadas incandescentes queimadas e vidros temperados provenientes de utensílios domésticos, todos oriundos de descartes domésticos.

Limpos e com seus rótulos retirados, os resíduos foram manualmente triturados até sua conversão em pó.

O Quadro 01 apresenta uma relação dos materiais, equipamentos e utensílios utilizados na realização dos procedimentos.

O estudo da viabilidade da adição de pó de vidro na confecção dos corpos-de-prova durou o período de aproximadamente quatro meses e foi dividido em diferentes etapas, tais como: confecção de corpos-de-prova utilizando diferentes quantidades de resíduo; confecção de corpos-de-prova e testemunha submetidos a diferentes tempos de secagem; medição das propriedades de resistência das peças à compressão simples; ensaios dimensionais e confecção de corpos-de-prova para testes de absorção de água.

Quadro 01. Equipamentos, matérias e utensílios a serem utilizados

Materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Cimento Portland CII-32; • Areia média peneirada; • Água; • Óleo de máquina; • Silicone para vedação;
Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Balança eletrônica de precisão; • Paquímetro digital; • Prensa hidráulica manual com capacidade de 10 toneladas; • Estufa;
Utensílios	<ul style="list-style-type: none"> • Moldes cilíndricos em PVC - dimensões de 48 mm de diâmetro e 100 mm de altura e tampa desmontável; • Moldes de seção quadrada em metal com cantoneiras de ferro e chapa galvanizada com dimensões 100 x 100 x 20 mm; • Bacias plásticas; • Compactador manual de ferro; • Espátula de ferro;

3.1 Ensaio de resistência à compressão simples de acordo com a composição dos corpos-de-prova

Para a definição da quantidade, em gramas de pó de vidro, que seria utilizada na confecção das peças, foram realizados alguns testes de modo a determinar a composição que apresentava o produto mais resistente para assim dar seguimento ao trabalho. O procedimento consistiu na elaboração de doze peças contendo diferentes dosagens de resíduo.

Foram produzidas amostras contendo 30, 40, 50 e 60 gramas de pó de vidro, uma peça para cada dosagem, e amostras contendo 80 e 100 gramas, sendo quatro peças de cada.

Para cada amostra utilizou-se 100 gramas de Cimentos Portland CII-32, 300

gramas de areia peneirada e aproximadamente 40 ml de água, a qual foi sendo adicionada aos poucos até a obtenção de uma massa completamente uniforme e homogênea. O ponto ideal da mistura foi definido pelo tato, de modo que à compressão manual o produto apresentasse liga. Todo material foi mensurado em balança de precisão e misturado em bacia plástica.

Foram utilizados tubos de PVC cilíndricos com diâmetro de 48 mm e altura de 100 mm para a moldagem das amostras. Tal procedimento consistiu em realizar a lubrificação dos moldes com óleo de máquina visando facilitar o processo de desenforme. O material foi adensado manualmente nos tubos utilizando um compactador manual de ferro e permaneceu em repouso para secagem em um período de sete dias. A Figura 01 ilustra as peças moldadas.



Figura 1. Corpos-de-prova moldados.

Fonte: Arquivo Pessoal (2012).

Decorrido o tempo de cura, as peças foram desenformadas e procederam-se as pesagens em balança de precisão, as medições de altura e diâmetro feitas com paquímetro, a verificação da massa específica e o teste de resistência à compressão simples, realizado pelo seu rompimento em prensa hidráulica. A

Figura 02 apresenta o método de medição utilizado, sendo efetivadas três medidas para a determinação do diâmetro médio, e uma para a altura. A Figura 03 exhibe a prensa utilizada nos ensaios.

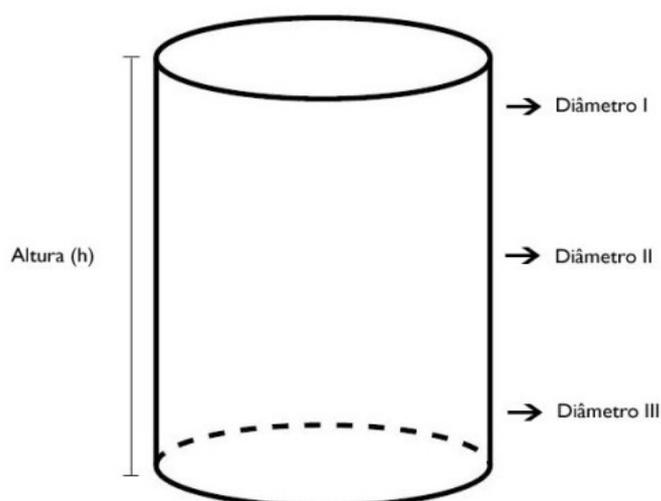


Figura 2. Esquema de medição utilizado no corpo cilíndrico.

Fonte: Arquivo Pessoal (2012).



Figura 3. Prensa hidráulica para teste de resistência à compressão.

Fonte: Arquivo pessoal (2012).

Utilizando os dados obtidos, foram realizados cálculos visando à determinação da massa específica e da tensão de resistência de cada peça. Para tal, foram utilizadas as equações de nº 01 a 04. Ao final dos ensaios foi definida a composição que daria seguimento ao trabalho, sendo escolhida a elaborada com 100 gramas de pó de vidro.

$$S = \frac{\pi \cdot D_{m\u00e9dio}^2}{4} \quad (1)$$

$$v = S \cdot h \quad (2)$$

$$\mu = \frac{M}{v} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{Fr}{S \cdot 10} \quad (4)$$

Sendo S , a área da seção transversal da peça (cm²); $D_{m\u00e9dio}$, o diâmetro médio adotado (cm); v , o volume (cm³); h , a

altura (cm); M , a massa (g); μ , a massa específica (g/cm³); τ , a tensão de resistência (MPa) e Fr , a carga de rompimento (kgf).

3.1.1 Ensaio de resistência à compressão simples de acordo com o tempo de cura do corpos-de-prova

Após a determinação da composição que obteve melhores resultados, foi realizado o preparo de doze corpos-de-prova para avaliar a influência do tempo de secagem na resistência à compressão dos mesmos. O procedimento desempenhado para a elaboração das peças foi igual, sendo utilizados 100 gramas de pó de vidro para as mesmas quantidades de cimento,

areia e água descritas anteriormente. Os materiais foram também pesados em balança de precisão e misturados em bacia plástica.

Foram desenvolvidas, do mesmo modo, doze peças que serviram como testemunha, estas foram confeccionadas sem o emprego do resíduo, sendo utilizadas para desempenhar uma comparação entre as suas resistências à compressão e as dos corpos-de-prova.

As peças foram submetidas a períodos de secagem de 7, 14 e 28 dias, de modo a serem testados quatro corpos-de-prova e quatro testemunhas a cada intervalo. Para o teste procedeu-se o desenforme, as pesagens em balança de precisão, as medições de altura e diâmetro com a utilização de um paquímetro e as avaliações de resistência à compressão pelo rompimento das peças em prensa hidráulica.

3.2 Ensaio dimensional

O procedimento para a realização do ensaio dimensional consistiu no preparo de dez corpos-de-prova de seção quadrada moldados em fôrmas metálicas com cantoneiras de ferro.

Conhecendo o volume do molde cilíndrico, de aproximadamente 181 cm³, e do novo, de 200 cm³, realizou-se para o preparo da massa uma relação de proporcionalidade com cada quantidade de

material a fim de serem determinadas as novas medidas. Deste modo, para cada peça foram utilizados 110,5 gramas de pó de vidro, 110,5 gramas de cimento, 331,5 gramas de areia peneirada e aproximadamente 44,2 ml de água. Todos os materiais foram medidos em balança de precisão. O preparo e o ponto da mistura estabeleceram-se da mesma forma anteriormente mencionada.

O processo de moldagem foi efetuado manualmente. Com a utilização de uma espátula e de um compactador manual de ferro o material foi adensado uniformemente nas placas previamente untadas com óleo de máquina procurando-se desempenhar a máxima nivelção de sua superfície. Prontamente desmoldados, os corpos-de-prova mantiveram-se em repouso durante uma semana.

Decorrido o tempo, procedeu-se o ensaio dimensional das peças, tal procedimento consistiu em efetuar, utilizando um paquímetro, a medição dos comprimentos e larguras das peças, denominados A, A', B e B', e das espessuras, definidas por Ea, Ea1, Ea', Ea'1, Eb, Eb1, Eb' e Eb'1, desta forma, foram medidos para cada lado dois pontos de espessura com um espaçamento de aproximadamente dois centímetros da borda, conforme esboça a Figura 04.

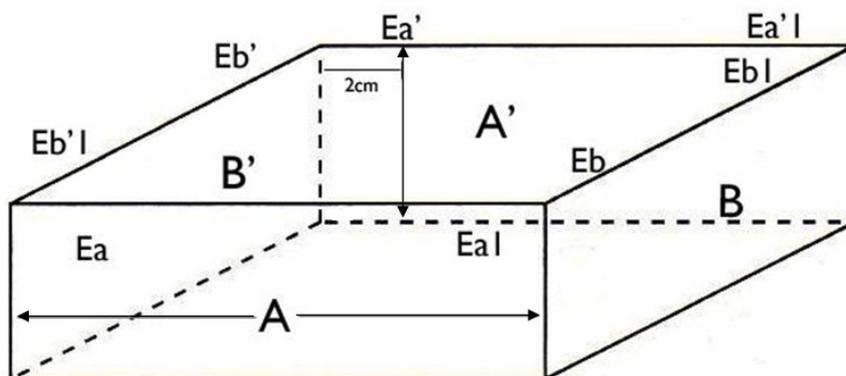


Figura 4. Esquema demonstrativo dos pontos de medição efetuados.

Fonte: Arquivo Pessoal (2012).

$$O_{Ai/Bi} = \frac{\text{Lado } A' - \text{Lado } B}{\text{Lado maior adjacente}} \cdot 100 \quad (8)$$

3.3 Teste de ortogonalidade

Através das medições obtidas por meio do dimensionamento dos corpos-de-prova de seção quadrada, foi desempenhado o ensaio ortogonal visando à certificação da perfeição geométrica das peças. Através dele foram calculadas as diferenças de comprimentos entre os lados opostos e adjacentes dos corpos-de-prova a fim de provar a perpendicularidade entre eles. Para tal, foram utilizadas as equações de nº 05 a 10.

Para lados opostos:

$$O_{Ai} = \frac{\text{Lado } A - \text{Lado } A'}{\text{Lado maior oposto}} \cdot 100 \quad (5)$$

$$O_{Bi} = \frac{\text{Lado } B - \text{Lado } B'}{\text{Lado maior oposto}} \cdot 100 \quad (6)$$

Para lados adjacentes:

$$O_{Ai/Bi} = \frac{\text{Lado } A - \text{Lado } B}{\text{Lado maior adjacente}} \cdot 100 \quad (7)$$

$$O_{Ai/Bi} = \frac{\text{Lado } A - \text{Lado } B'}{\text{Lado maior adjacente}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$O_{Ai/Bi} = \frac{\text{Lado } A' - \text{Lado } B'}{\text{Lado maior adjacente}} \cdot 100 \quad (10)$$

Onde, *Lado maior oposto* e *Lado maior adjacente* representam o maior valor entre os pares de lado testados em cada equação e *i*, a numeração de ordem do corpos-de-prova analisado.

3.4 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade iniciou-se pela separação de três corpos-de-prova de seção quadrada, os quais foram pesados e destinados à estufa para secagem a uma temperatura de 105 °C. Em um total de 72 horas, foram determinados intervalos de 24 para a verificação da variação da massa através de pesagem em balança de precisão.

Depois de resfriadas ao ar livre, as peças tiveram suas laterais revestidas com silicone de modo a proporcionar contato com a água somente na sua face inferior.

O procedimento consistiu em realizar a imersão dos corpos-de-prova em uma bacia plástica contendo água. Foram inseridas placas metálicas com intuito de evitar o apoio direto das peças no fundo da bacia. O nível da água foi mantido a uma altura de 5,0 mm acima da sua face inferior.

Para a medição da massa foram determinados intervalos de 0, 3, 6, 9, 12, 24 e 48 horas.

Decorrido o período, com a utilização de uma serra elétrica circular os corpos-de-prova saturados foram partidos ao meio visando à verificação da altura de molhamento.

A absorção de água por capilaridade pôde ser determinada pela razão das massas seca e saturada em função da área molhada da peça, conforme a equação de nº 11.

$$C = \frac{A-B}{S} \quad (11)$$

Onde, C é a absorção de água por capilaridade (g/cm^2), A é a massa do corpos-de-prova saturado (g), B a massa do corpos-de-prova seco (g) e S a área da placa em contato com a água (cm^2).

3.5 Ensaio de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão consistiu em realizar, da mesma forma anteriormente descrita, a secagem de três corpos-de-prova de seção quadrada em estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$, pesando sua massa inicialmente e a intervalos de 24 horas em um total de 72.

Decorrido o tempo, os corpos-de-prova, resfriados ao ar livre, foram submersos em uma bacia contendo água, sendo procedidas pesagens dos mesmos em balança de precisão em intervalos de 0, 3, 6, 9, 12, 24 e 48 horas.

Através da equação de nº 12 foi determinada a absorção de água por imersão.

$$\frac{B-A}{A} \cdot 100 \% \quad (12)$$

Onde, A é a massa do corpo-de-prova seco em estufa (g) e B a massa da amostra saturada (g).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio de resistência à compressão simples

5.1.1 De acordo com a composição dos corpos-de-prova

Realizados os procedimentos experimentais, deu-se início às análises dos

resultados, comparando as características das peças de cimento nas diferentes quantidades de resíduo a fim de verificar entre as composições a que apresentava maior resistência e assim definir qual delas seria utilizada para dar seguimento ao estudo.

A Tabela 02 apresenta os resultados obtidos a partir dos cálculos feitos através das equações de nº 01 a 04 e medições efetuadas para os corpos-de-prova confeccionados com 30, 40, 50 e 60 gramas do resíduo de vidro moído.

Tabela 2. Caracterização dos corpos-de-prova nas diferentes proporções de resíduo

<i>Quant. resíduo (g)</i>	<i>Corpos-de-prova</i>	<i>D (cm)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>S (cm²)</i>	<i>M (g)</i>	<i>μ (g/cm³)</i>	<i>Fr (kg)</i>	<i>τ (MPa)</i>
30	1	4,75	10,14	17,730	392	2,18	1000	5,64
40	2	4,74	9,976	17,653	354	2,01	1000	5,66
50	3	4,73	10,17	17,580	376	2,10	1100	6,26
60	4	4,72	9,912	17,530	365	2,10	1600	9,13

Para as amostras elaboradas com 80 e 100 gramas de pó de vidro procedeu-se somente o teste de resistência à compressão simples em prensa hidráulica, não sendo efetuadas as medidas do corpo, visto que, como é possível notar na Tabela 02, as dimensões e massas específicas não

apresentaram variações consideráveis com base na alteração da quantidade de resíduo.

A Tabela 03 expõe os valores da medição da força de resistência à compressão efetuada nos corpos-de-prova confeccionados com 80 e 100 gramas de resíduo.

Tabela 3. Resistência à compressão simples dos corpos-de-prova

<i>Quantidade de resíduo (g)</i>	<i>Corpos-de-prova</i>	<i>Carga de Rompimento - Fr (kg)</i>
80	5	1600
	6	2100
	7	1800
	8	1800
100	9	1600
	10	2100
	11	2100
	12	900

Apesar do corpo-de-prova de número 12 ter apresentado uma força de resistência baixa, provavelmente devido a algum erro na compactação da massa, foi decidido prosseguir os estudos utilizando a quantidade de 100 gramas de pó de vidro, levando em conta os bons resultados das três outras análises e a preferência por utilizar o máximo possível de resíduo de vidro moído na elaboração das peças - 100% em relação à massa do cimento.

5.1.2 De acordo com o tempo de cura

Depois de produzidos, os doze corpos-de-prova e as doze testemunhas receberam os mesmos tratamentos efetuados para as peças feitas nas demais dosagens de resíduo, com diferença no tempo de secagem da peça. A Tabela 04 traz os dados obtidos por meio das análises e cálculos, equações de nº 01 a 04, realizados nos corpos-de-prova confeccionados. As propriedades das testemunhas estão apresentadas na Tabela 05.

Tabela 4. Caracterização dos corpos-de-prova nos diferentes tempos de secagem

<i>Tempo de cura</i>	<i>Corpos-de-prova</i>	<i>D (cm)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>S (cm²)</i>	<i>M (g)</i>	<i>μ (g/cm³)</i>	<i>Fr (kg)</i>	<i>τ (MPa)</i>
7 dias	1	4,7	10,5	17,3	386	2,1	1600	9,2
	2	4,7	9,95	17,3	378	2,2	2300	13,3
	3	4,7	10,2	17,3	400	2,3	2800	16,2
	4	4,8	10,3	18,1	399	2,1	1200	6,6
14 dias	5	4,7	10,1	17,3	373	2,1	2500	14,5
	6	4,7	10,2	17,3	380	2,1	2100	12,1
	7	4,7	10,4	17,3	375	2,1	2400	13,9
	8	4,7	9,95	17,3	357	2,1	2500	14,5
28 dias	9	4,8	10,1	18,1	387	2,1	2200	12,2
	10	4,7	10,1	17,3	374	2,1	2300	13,3
	11	4,7	10,2	17,3	369	2,1	2400	13,9
	12	4,7	10,1	17,3	350	2,0	2200	12,7

Tabela 5. Caracterização das testemunhas nos diferentes tempos de secagem

<i>Tempo de cura</i>	<i>Testemunha</i>	<i>D (cm)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>S (cm²)</i>	<i>Fr (kg)</i>	<i>τ (MPa)</i>
7 dias	1	4,7	10,0	17,3	2300	13,3
	2	4,7	9,9	17,3	2500	14,5
	3	4,7	10,1	17,3	1800	10,4
	4	4,7	10,1	17,3	1200	6,9
14 dias	5	4,7	10,2	17,3	1200	6,9
	6	4,7	9,9	17,3	2500	14,5
	7	4,7	10,5	17,3	2300	13,3
	8	4,7	10,0	17,3	1000	5,8
28 dias	9	4,7	10,1	17,3	2400	13,9
	10	4,7	10,0	17,3	2300	13,3
	11	4,7	10,1	17,3	3000	17,3
	12	4,8	10,9	18,1	2300	12,7

Observa-se que as testemunhas apresentaram, no que diz respeito à resistência à compressão da peça, certa estabilidade aos 28 dias, nesta idade as cargas de rompimento e conseqüentemente as tensões diferiram pouco. Já nos corpos-de-prova elaborados com pó de vidro, notou-se que de 14 para 28 dias não houveram grandes variações na força de resistência, ou seja, com 14 dias de secagem o material já havia estabilizado-se. Desde modo, conclui-se que ao contrário da testemunha, não há necessidade de se esperar 28 dias para a sua utilização.

Realizando uma comparação entre os valores de carga e de tensão obtidos é possível relacionar o tempo de 28 dias das

testemunhas ao de 14 dias dos corpos-de-prova, o que aponta para a vantagem de se trabalhar com o resíduo estudado, visto que este necessita, conforme mostram os ensaios, de um tempo menor para alcançar a estabilidade e apresentar bons índices de resistência.

5.2 Ensaio Dimensional

O ensaio dimensional das peças, através da leitura das medições feitas com paquímetro, permitiu a verificação dos comprimentos, larguras e espessuras dos corpos-de-prova e possibilitou a realização do teste de ortogonalidade. As Tabelas 06 e 07 trazem os dados obtidos no ensaio.

Tabela 6. Dimensões dos corpos-de-prova (CP) de número 01 a 05

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>
	(mm)				
A	100,97	101,65	101,35	100,96	101,23
A'	101,14	101,36	101,65	101,50	101,60
B	101,96	101,66	101,06	101,89	102,30
B'	101,40	101,05	101,11	101,71	103,05
Média	101,37	101,43	101,30	101,51	102,05

Tabela 7. Dimensões dos corpos-de-prova (CP) de número 06 a 10

	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP8</i>	<i>CP9</i>	<i>CP10</i>
	(mm)				
A	102,83	101,05	102,95	104,23	101,32
A'	101,45	101,12	102,28	102,91	101,77
B	100,98	101,65	100,17	100,60	101,20
B'	101,54	101,44	99,91	100,80	101,33
Média	101,32	101,32	101,33	102,14	101,41

Analisando as médias referentes ao comprimento e largura obtidos para cada corpo-de-prova observa-se que não houveram variações consideráveis em relação às medidas do molde (100 x 100 mm), deste modo, é possível afirmar que o material não apresentou grande dilatação ou retração em seu período de cura.

As medidas das espessuras, lidas em dois pontos de cada lado da peça, conforme é ilustrado na Figura 3, estão apresentadas nas Tabelas 08 e 09.

Tabela 8. Determinação das espessuras dos corpos-de-prova (CP) de nº 01 a 05

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>
	(mm)				
Ea	22,95	20,73	21,56	21,81	22,49
Ea1	22,55	20,30	22,13	-	22,72
Ea'	23,25	21,03	21,60	21,82	23,15
Ea'1	23,30	21,00	21,68	22,97	23,33
Eb	23,16	20,33	21,76	22,19	22,86
Eb1	23,63	20,79	21,50	22,12	23,09
Eb'	22,90	20,66	22,09	22,92	23,49
Eb'1	22,35	20,90	22,20	-	22,67
$E_{m\acute{e}dia}$	23,01	20,72	21,82	22,31	22,98

Tabela 9. Determinação das espessuras dos corpos-de-prova (CP) de nº 06 a 10

	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP8</i>	<i>CP9</i>	<i>CP10</i>
	(mm)				
Ea	21,28	21,95	21,41	18,90	22,23
Ea1	20,58	22,35	22,18	19,00	22,34
Ea'	20,63	22,18	22,76	19,38	22,47
Ea'1	20,66	22,28	20,84	18,97	22,07
Eb	20,60	22,52	21,58	18,38	22,10
Eb1	20,72	21,95	22,05	19,19	22,21
Eb'	20,95	22,25	21,59	18,53	22,37
Eb'1	20,32	21,67	22,08	18,34	22,37
$E_{m\acute{e}dia}$	20,71	22,14	21,81	18,84	22,27

Pela análise nota-se que as espessuras variaram pouco. Através da

Tabela 10, que traz as espessuras máximas e mínimas de cada corpo-de-prova e a diferença entre elas, é possível perceber que a variação máxima se deu no corpo-de-prova de nº 08 e foi de 1,92 mm e

a mínima de 0,4 mm, no corpo-de-prova de nº 10. Esta irregularidade se deve provavelmente a algum erro experimental no momento da compactação do material no molde.

Tabela 10. Análise das espessuras máximas e mínimas de cada corpos-de-prova (CP)

	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP8</i>	<i>CP9</i>	<i>CP10</i>
$E_{m\acute{a}x}$ (mm)	23,63	21,03	22,20	22,97	23,49	21,28	22,52	22,76	19,38	22,47
$E_{m\acute{i}n}$ (mm)	22,35	20,30	21,50	21,81	22,49	20,32	21,67	20,84	18,34	22,07
\neq (mm)	1,28	0,73	0,70	1,16	1,00	0,96	0,85	1,92	1,04	0,40

$E_{m\acute{a}x}$ = Espessura máxima encontrada.

$E_{m\acute{i}n}$ = Espessura mínima encontrada.

\neq = Diferença entre as espessuras máxima e mínima.

5.3 Teste de ortogonalidade

Com os resultados do ensaio dimensional dos corpos-de-prova, foi realizado o teste de ortogonalidade para os

lados opostos e adjacentes das faces laterais de cada peça.

As Tabelas de nº 11 a 15 exibem os valores encontrados através dos cálculos.

Tabela 11. Ensaio de ortogonalidade dos corpos-de-prova 01 e 02

	<i>CP1</i>				<i>CP2</i>				
	(mm)	Oai	Obi		Oai/bi	(mm)	Oai	Obi	Oai/bi
		%			%				
A-A'	0,17	0,17			A-A'	0,29	0,29		
B-B'	0,56		0,55		B-B'	0,61	0,60		
A-B	0,99			0,97	A-B	0,01		0,01	
A'-B	0,82			0,80	A'-B	0,30		0,30	
A-B'	0,43			0,42	A-B'	0,60		0,59	
A'-B'	0,26			0,26	A'-B'	0,31		0,31	

Tabela 12. Ensaio de ortogonalidade dos corpos-de-prova 03 e 04

	<i>CP3</i>				<i>CP4</i>				
	(mm)	Oai	Obi		Oai/bi	(mm)	Oai	Obi	Oai/bi
		%			%				
A-A'	0,30	0,30			A-A'	0,54	0,53		
B-B'	0,05		0,05		B-B'	0,18	0,18		
A-B	0,29			0,29	A-B	0,93		0,91	
A'-B	0,59			0,58	A'-B	0,39		0,38	
A-B'	0,24			0,24	A-B'	0,75		0,74	
A'-B'	0,54			0,53	A'-B'	0,21		0,21	

Tabela 13. Ensaio de ortogonalidade dos corpos-de-prova 05 e 06

	<i>CP5</i>					<i>CP6</i>			
	(mm)	Oai	Obi	Oai/bi		(mm)	Oai	Obi	Oai/bi
		%					%		
A-A'	0,37	0,36			A-A'	1,38	1,34		
B-B'	0,75		0,73		B-B'	0,56	0,55		
A-B	1,07			1,05	A-B	1,85		1,80	
A'-B	0,70			0,68	A'-B	0,47		0,46	
A-B'	1,82			1,76	A-B'	1,29		1,25	
A'-B'	1,45			1,41	A'-B'	0,09		0,09	

Tabela 14. Ensaio de ortogonalidade dos corpos-de-prova 07 e 08

	<i>CP7</i>					<i>CP8</i>			
	(mm)	Oai	Obi	Oai/bi		(mm)	Oai	Obi	Oai/bi
		%					%		
A-A'	0,07	0,07			A-A'	0,67	0,65		
B-B'	0,21		0,21		B-B'	0,26	0,26		
A-B	0,60			0,59	A-B	2,78		2,70	
A'-B	0,53			0,52	A'-B	2,11		2,06	
A-B'	0,39			0,38	A-B'	3,04		2,95	
A'-B'	0,32			0,32	A'-B'	2,37		2,32	

Tabela 15. Ensaio de ortogonalidade dos corpos-de-prova 09 e 10

	<i>CP9</i>					<i>CP10</i>			
	(mm)	Oai	Obi	Oai/bi		(mm)	Oai	Obi	Oai/bi
		%					%		
A-A'	1,32	1,26			A-A'	0,45	0,44		
B-B'	0,20		0,20		B-B'	0,13	0,13		
A-B	3,63			3,48	A-B	0,12		0,12	
A'-B	2,31			2,24	A'-B	0,57		0,56	
A-B'	3,43			3,29	A-B'	0,01		0,01	
A'-B'	2,11			2,05	A'-B'	0,44		0,43	

A norma brasileira NBR 13818 (ABNT,1997 *apud* PERES, 2004) determina que peças confeccionadas manualmente devem ter uma variação limite de $\pm 1,00\%$ na ortogonalidade. Nota-se que para lados opostos os corpos-de-prova de número 06 e 09 apresentaram valores em desacordo com a referida norma, e para lados adjacentes as peças de número 05, 06, 08 e 09 também não se classificaram.

5.4 Ensaio de absorção de água por capilaridade

As peças escolhidas para o ensaio de determinação de absorção de água por capilaridade, depois de serem secas em estufa e passarem pelas pesagens nos horários predeterminados, como esperado, apresentaram um decréscimo em suas massas. A Tabela 16 traz os valores obtidos através da pesagem dos corpos.

Tabela 16. Massa dos corpos-de-prova secos em estufa nos períodos predeterminados.

<i>Corpos-de-prova</i>	<i>Massa (g)</i>			
	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
1	447,8	437,7	436,5	435,5
2	382,2	375,2	374,4	372,9
6	380,6	372,5	371,7	369,7

Resfriadas em temperatura ambiente e devidamente preparadas com silicone para o ensaio de absorção de água por capilaridade, os corpos-de-prova

tiveram suas massas verificadas nos períodos predeterminados conforme apresenta a Tabela 17.

Tabela 17. Massa dos corpos-de-prova submetidos ao teste de absorção de água

<i>Corpos-de-prova</i>	<i>Massa (g)</i>						
	0 h	03 h	06 h	09 h	12 h	24 h	48 h
1	440	495	498	499	499	501	503
2	377	430	434	436	436	438	439
6	375	421	427	428	429	430	430

Com os valores das massas foi calculada, através da equação de nº 11, a

absorção de água por capilaridade. A área da peça em contato com a água utilizada

na fórmula foi definida com base nas médias encontradas no ensaio dimensional

das faces laterais dos corpos. A Tabela 18 exibe os valores de absorção encontrados.

Tabela 18. Absorção de água por capilaridade dos corpos-de-prova

<i>Corpos-de-prova</i>	<i>C (g/cm²)</i>					
	03 h	06 h	09 h	12 h	24 h	48 h
1	0,535	0,564	0,574	0,574	0,594	0,613
2	0,515	0,554	0,573	0,573	0,593	0,603
6	0,448	0,507	0,516	0,526	0,536	0,536

É possível notar que as maiores variações ocorreram no intervalo entre 03 e 06 horas de ensaio, o que pressupõe que após este período os corpos já se encontravam bastante saturados. Percebe-se também, analisando os valores, que com três horas de submersão as peças já haviam absorvido uma quantidade de água maior que a esperada.

Através do corte transversal feito na peça com a serra elétrica circular no final do ensaio, observou-se que a altura de molhamento chegou a 100%, o que

segundo a norma NBR 9779 (ABNT, 1995 *apud* PERES, 2004) desclassifica os corpos-de-prova.

5.5 Ensaio de absorção de água por imersão

Depois de selecionados, os corpos-de-prova foram destinados à estufa onde permaneceram durante 72 horas, sendo retirados apenas para a medição das massas nos horários predeterminados. A Tabela 19 mostra as pesagens realizadas em cada intervalo.

Tabela 19. Massa dos corpos-de-prova secos em estufa nos períodos predeterminados

<i>Corpos-de-prova</i>	<i>Massa (g)</i>			
	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas
7	406,7	398,3	396,7	396,2
8	443,6	434,0	432,8	432,2
10	438,5	428,9	427,7	426,7

Com as peças resfriadas em temperatura ambiente deu-se início ao teste de absorção de água por imersão, realizando a pesagem dos corpos-de-prova

saturados nos intervalos previamente definidos. A Tabela 20 traz as massas das peças medidas durante o ensaio.

Tabela 20. Massa dos corpos-de-prova durante teste de absorção de água por imersão

<i>Corpos-de-prova</i>	<i>Massa (g)</i>						
	0 h	03 h	06 h	09 h	12 h	24 h	48 h
7	400	442	446	447	448	449	450
8	437	467	469	470	470	471	471
10	431	466	469	470	470	472	473

A partir das medições das massas das peças saturadas nos períodos variados foi determinado o valor de absorção de água por imersão através da equação de nº 12.

Os percentuais de absorção de água por imersão foram de 13,5%, 8,9% e 10,8% para as peças de nº 07, 08 e 10, respectivamente. O que segundo a norma NBR 13818 (ABNT, 1997 *apud* PERES, 2004) classifica as peças 07 e 10 como classe AIII e a peça 08 como classe AIIb.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o estudo exploratório da viabilidade da adição de resíduos de vidro moído na produção de argamassa cimentícia, na busca por produtos sustentáveis e que ofereçam uma alternativa de destinação desse detrito, respeitando e atendendo as normatizações divulgadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem as seguintes conclusões:

- Com relação ao teste de resistência à compressão simples, os corpos-de-

prova portando 100 gramas de resíduo obtiveram melhores resultados quando comparados com as peças produzidas com menores teores e testemunha; levando-se em conta que o objetivo principal do presente estudo é a utilização do máximo de resíduo possível na elaboração das peças, é possível afirmar que a utilização do pó de vidro se constitui exequível do ponto de vista técnico e ambiental.

- O aumento da granulometria do material contribui com o aumento da tensão média de ruptura. Deste modo, o vidro moído e fino preenche os espaços vazios, principalmente entre a areia, sendo este um dos principais fatores para o aumento significativo da resistência à compressão.
- Com a análise do tempo de cura pôde-se verificar vantagens na utilização da peça portando o pó de vidro, visto que este alcançou a estabilidade em um tempo menor em comparação com a testemunha.
- Pôde ser observado que a altura de molhamento das peças escolhidas para o ensaio de determinação de absorção de água por capilaridade chegou a

100%, portanto, segundo a norma NBR 9779 (ABNT, 1995 *apud* PERES, 2004) tais corpos-de-prova foram desclassificados.

A implantação de novas tecnologias sustentáveis se institui de uma ação multidisciplinar e exige estudos criteriosos a fim de que realmente se constituam em alternativas viáveis e utilizáveis para a sociedade e meio ambiente, evitando mais impactos ambientais e produtos de baixo desempenho que oferecem riscos ao homem.

O estudo da utilização de resíduo de vidro moído na produção de argamassa cimentícia deve ser visto com grande otimismo devido às significativas vantagens advindas desta técnica.

REFERÊNCIAS

- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28 p.
- ABIVIDRO - ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. **História do Vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/18>>. Acesso em: 22 de maio de 2012.
- ABIVIDRO - ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO. **Curiosidades sobre a composição do vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/19>>. Acesso em: 22 de maio de 2012.
- BARDINI, I.S.; MARCHIORO, T.B. **Um Estudo Exploratório do Uso de Vidro Reciclado como Agregado de Concretos**. Tubarão: UNISUL, 2007. 42 p.
- BIDONE, F.R.A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização**. Porto Alegre: Prosab, 2001. 218 p.
- CEMPRE. **Vidros: o mercado para reciclagem**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php>. Acesso em: 22 de maio de 2012.
- CESAR, A.P.; PAULA, D. A.; KROM, V. **Importância da Reciclagem do Vidro**. 2004. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC6-17.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2012.
- COSTA, V.; GALVÃO, J.; SANTOS, M. **Análise do Gerenciamento dos Materiais Recicláveis na Embrapa Meio-Norte de Teresina – PI**. Piauí: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, 2009. 7 p.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese de Livre Docência. São Paulo: USP, 2000. 113 p.
- JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. Escola Politécnica da USP (PCC USP). Disponível em:

- <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm>. Acesso em: 22 de maio de 2012.
- LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. **Avaliação da utilização de vidro cominuído como material agregado ao concreto**. UNISC: Santa Cruz do Sul; ULBRA: Canoas, 2003. 6 p.
- MANSOR, M. T. C.; CAMARÃO, T. C. R. C.; CAPELINI, M.; KOVACS, A.; FILET, M.; SANTOS, G. A.; SILVA, A. B. **Resíduos Sólidos**. Cadernos de Educação Ambiental, 6. São Paulo: SMA, 2010. 147 p.
- PAIVA, O. A. **Resíduo Industrial de Vidro Moído em Argamassa de Cimento Portland**. Manaus: UFAM, 2009. 208 p.
- PERES, J. G. M. **Viabilidade de utilização da serragem de couro para fins de obtenção de um material alternativo de construção**. Campinas: UNICAMP, 2004. 123 p.
- PERUZZI, A.P. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. São Carlos: EESC, 2002. 111 p.