

PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUO DE VIDRO TEMPERADO

Properties of concrete produced with tempered glass waste

Propiedades del hormigón producido con residuos de vidrio templado



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Dayane Vieira de Oliveira¹, Mateus Alexandre da Silva^{*2}, Marina Neves Merlo², Michael Silveira Thebaldi³

¹D'Coll Engenharia e Arquitetura e Centro Universitário de Formiga – MG, Formiga, Brasil.

²Departamento de Recursos Hídricos, Mestrando(a) em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

³Departamento de Recursos Hídricos, Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

**Correspondência: Departamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Caixa Postal 3037, Lavras, Minas Gerais, Brasil. CEP:37.200-900. e-mail mateus4lexandre@outlook.com*

Artigo recebido em 17/06/2020 aprovado em 03/02/2021 publicado em 17/03/2021.

RESUMO

Devido à degradação ambiental provocada pela construção civil, nota-se a preocupação em encontrar materiais alternativos, a fim de poupar recursos naturais e evitar a deposição desordenada de resíduos. Desta maneira, objetivou-se analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de vidro temperado em substituição ao agregado graúdo em concretos. As substituições em massa da brita pelo vidro seguiram as proporções de 0, 10, 20, 50, 70 e 100%. Analisou-se a granulometria do resíduo de vidro, a consistência do concreto em estado fresco e endurecido, a massa específica do concreto úmido e sua resistência a compressão com 28 dias. A granulometria do vidro se equiparou a da brita, enquanto a consistência do concreto diminuiu com o aumento da substituição da brita pelo resíduo de vidro. Os resultados de massa específica do concreto e a resistência a compressão não apresentaram variações significativas em relação ao concreto convencional. Portanto, a utilização deste resíduo como agregado graúdo no concreto alcançou resultados técnicos e ecológicos positivos. Contudo, é necessária uma maior compreensão de sua execução, sendo indicado, a priori, apenas para fins não estruturais.

Palavras-chave: agregado, sustentabilidade, viabilidade.

ABSTRACT

Due to the environmental degradation caused by civil construction, there is a concern with finding alternative materials, in order to save natural resources and avoid the disordered deposition of waste. Thus, the objective was to analyze the technical feasibility of using tempered glass waste to replace coarse aggregate in concrete. The mass substitutions of gravel for glass followed the proportions of 0, 10, 20, 50, 70 and 100%. The granulometry of the glass residue, the consistency of the concrete in a fresh and hardened state, the specific mass of the wet concrete and its resistance to compression after 28 days were analyzed. The granulometry of the glass is comparable to that of the gravel, while the consistency of the concrete decreased with the increase in the replacement of the gravel by the glass residue. The results of specific density of the concrete and the resistance to compression, did not present significant variations in relation to the conventional concrete. Therefore, the use of this residue as a coarse aggregate in concrete has achieved positive technical and ecological results. However, a greater understanding of its execution is necessary, being indicated, a priori, only for non-structural purposes.

Keywords: aggregate, sustainability, viability.

RESUMEN

Debido a la degradación ambiental causada por la construcción civil, existe la preocupación de encontrar materiales alternativos, a fin de ahorrar recursos naturales y evitar la deposición desordenada de desechos. Por lo tanto, el objetivo era analizar la viabilidad técnica del uso de residuos de vidrio templado para reemplazar el agregado grueso en el concreto. Las sustituciones en masa de grava para vidrio siguieron las proporciones de 0, 10, 20, 50, 70 y 100%. Se analizó la granulometría del residuo de vidrio, la consistencia del concreto en estado fresco y endurecido, la masa específica del concreto húmedo y su resistencia a la compresión después de 28 días. La granulometría del vidrio es comparable a la de la grava, mientras que la consistencia del concreto disminuyó con el aumento en la sustitución de la grava por el residuo de vidrio. Los resultados de la densidad específica del concreto y la resistencia a la compresión, no presentaron variaciones significativas en relación al concreto convencional. Por lo tanto, el uso de este residuo como agregado grueso en concreto ha logrado resultados técnicos y ecológicos positivos. Sin embargo, es necesaria una mayor comprensión de su ejecución, indicando, a priori, solo para fines no estructurales.

Descriptor: agregado, sustentabilidade, viabilidad.

INTRODUÇÃO

O concreto é um material fundamental na construção civil, sendo, em geral, composto basicamente da mistura de aglomerante, agregados, água, além de outros materiais eventuais, os aditivos. O cimento, material aglomerante, ao ser hidratado, forma uma pasta que se adere aos fragmentos de areia e brita, que são os agregados miúdos e graúdos, respectivamente, formando uma mistura de fácil modelagem. Essa mistura quando endurecida, forma um bloco monolítico de alta resistência à compressão (Neville, 2016).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), dentre os constituintes do concreto, têm-se os agregados miúdos, que são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Já os grãos dos agregados graúdos, passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Porém, Santos (2007) relata que o impacto ambiental gerado para se retirar estes do meio ambiente, para posteriormente aplicá-los na construção civil é muito grande. Segundo Bacci *et al.* (2006) e Veira e Viana (2016), podem ser citados impactos como: alteração da paisagem, vibrações e sobrepressão do ar ocasionadas pelas explosões, poluição sonora causada devido às

máquinas, equipamentos e explosivos e poluição da atmosfera.

Neste sentido, a utilização de produtos advindos de resíduos em substituição às matérias primas comuns do concreto tem como vantagem evitar o impacto ambiental gerado, principalmente, pela destinação incorreta destes resíduos, e, reduzir a exploração de novos recursos naturais das jazidas cada vez mais escassas (Gonçalves, 2001).

Muitos tipos de resíduos já foram avaliados quanto à sua eficiência e eficácia como material a ser incorporado ao concreto, como substituto a algum material ou aditivo, como na dissertação de Tenório (2007), onde o mesmo fez uso de agregados reciclados de construções e demolições; Gomes Filho (2007) que fez testes com borracha; Modro (2008) que fez experiências com grânulos de PET; ou mesmo Righi *et al.* (2008) que fizeram uso do pó do vidro, e, a partir destas experiências que se desenvolveu a ideia de reutilizar os resíduos gerados pela fabricação de vidro temperado para se produzir concreto.

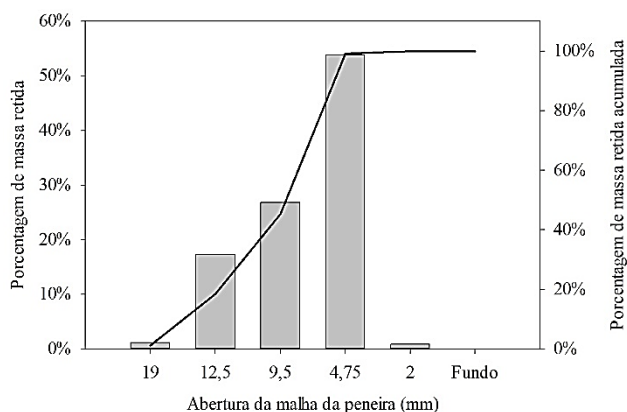
Com base nessas premissas, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos provenientes da fabricação de vidro temperado como componente substitutivo do agregado graúdo em concretos, ao avaliar a trabalhabilidade e a resistência à compressão do

concreto produzido com diferentes porcentagens de substituição do agregado graúdo convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A granulometria dos resíduos de vidro temperado foi caracterizada seguindo os preceitos apresentados pela NBR 7217 (ABNT, 2005), por meio do método de peneiramento. Foram utilizadas peneiras com abertura de malha de 19; 12,5; 9,5; 4,75 e 2 mm, sobrepostas, em ordem decrescente do topo para a base, agitando mecanicamente 500 g do resíduo de vidro por um período de um minuto. O resíduo peneirado foi separado, pesado e posteriormente calculou-se a porcentagem retida em cada uma das peneiras, seguindo o preconizado pela NBR 7211 (ABNT, 2005) obteve-se a granulometria característica do vidro temperado. Os resultados encontrados na caracterização do resíduo são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição granulométrica do resíduo de vidro temperado.



Fonte: Os autores.

O traço utilizado para a produção dos corpos de prova foi 1:2:2 (cimento, areia e agregado graúdo, respectivamente), com fator água cimento de 0,55, traço que se manteve constante em todos os tratamentos, variando apenas a porcentagem do

agregado graúdo de brita em substituição por resíduos de vidro temperado.

Foram produzidos seis tratamentos, sendo o primeiro o tratamento controle, onde não houve adição de resíduo de vidro temperado, e quatro tratamentos com substituição de 10, 20, 50, 70 e 100% em massa de brita por resíduo de vidro temperado conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Traço de concreto de cada tratamento experimental avaliado, com diferentes porcentagens de substituição de brita número zero por resíduo de vidro temperado.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Vidro (kg)	Água (kg)
0%	4,7	9,3	11,7	0	2,6
10%	4,7	9,3	10,5	1,2	2,6
20%	4,7	9,3	9,3	2,3	2,6
50%	4,7	9,3	5,8	5,8	2,6
70%	4,7	9,3	3,5	8,2	2,6
100%	4,7	9,3	0	11,7	2,6

Fonte: Os autores.

O ensaio de *slump test*, também conhecido como determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, foi realizado segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O molde em formato de tronco de cone foi posicionado com a base maior voltada para baixo, apoiado sobre uma placa metálica preenchendo-o em 3 camadas de concreto, seguidas por 25 golpes com a haste de apiloamento. Posteriormente o molde foi suspenso e retirado lentamente, sendo colocado ao lado do concreto para servir como referência. Em seguida, a haste de apiloamento foi posicionada sobre centro do molde e o centro do concreto e, com a ajuda de uma

régua, fez-se a medição da diferença de altura entre ambos, obtendo-se desta forma, o abatimento do concreto em mm.

Os corpos de prova foram confeccionados sob dimensões padronizadas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, em moldes de tubo de PVC previamente identificados, preenchidos em duas camadas de concreto e adensados manualmente com 12 golpes em cada camada, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram executados 18 corpos de prova ao todo, sendo três para cada tratamento. Após a produção, os corpos de prova passaram pelo processo de cura imersos em tanque com solução de água e cal, em ambiente úmido a uma temperatura de 23 °C durante 28 dias, seguindo as instruções da NBR 9479 (ABNT, 1994).

Após 24 horas fora do tanque com solução de água e cal, os corpos de prova passaram por pesagem individual e, posteriormente tiveram seus volumes calculados (Equação 1), realizando também, o cálculo da massa específica (Equação 2).

$$V = h \times \pi \times r^2 \quad (1)$$

Em que:

V = volume do corpo de prova, dm³;
h = altura do corpo de prova, dm; e
r = raio do corpo de prova, dm.

$$\gamma = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Em que:

γ = massa específica do corpo de prova, kg/m³;
M = massa do corpo de prova, kg; e
V = volume do corpo de prova, m³.

O ensaio de compressão dos corpos de prova foi realizado em máquina universal de ensaios modelo

WAW-1000 da marca SOLOCAP, seguindo os preceitos da NBR 5739 (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram individualmente posicionados ao centro da máquina, e o carregamento executado de forma contínua e sem choques. Ao fim do processo, em posse dos resultados obtidos, realizou-se o cálculo da resistência à compressão pela Equação 3.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (3)$$

Em que:

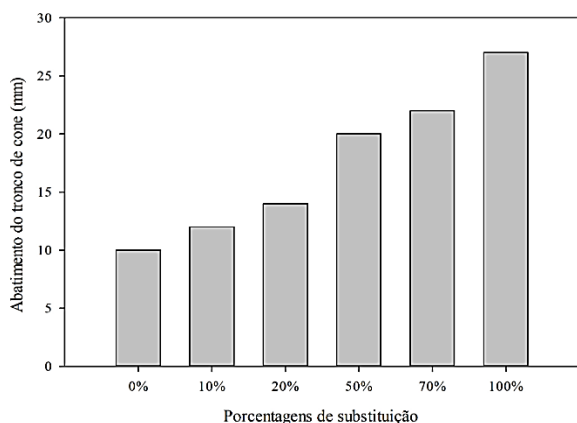
f_c = resistência a compressão, Mpa;
F = força máxima alcançada, N; e
D = diâmetro do corpo de prova, mm.

Para fins de análise estatística, montou-se um experimento em delineamento inteiramente casualizado, sendo a fonte de variação a porcentagem de substituição em massa da brita número zero pelo resíduo de vidro temperado (seis níveis: 0, 10, 20, 50, 70 e 100%) em três repetições. As variáveis respostas foram a massa específica úmida e a resistência do concreto à compressão, que foram comparadas pelo teste F a 5% de significância. As análises foram realizadas com o uso do software Agroestat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015). Para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos, foram criados gráficos de *box-plot* para cada um dos tratamentos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados por meio do *slump test* são apresentados no Figura 2.

Figura 2 - Abatimento do tronco de cone obtido nos diferentes tratamentos estudados de substituição de brita número zero por resíduo de vidro temperado na fabricação de concreto.



Fonte: Os autores.

Por meio da análise da Figura 2, é possível observar que a consistência do concreto é inversamente proporcional a quantidade de resíduo de vidro temperado adicionada. Isso se deve porque o vidro temperado não absorve a água como a brita, o que acarreta um concreto mais trabalhável que o convencional, fato também constatado por Silva (2015). Resultados diferentes foram obtidos por López, Azevedo e Barbosa Neto *et al.* (2005), em um experimento realizado com vidro cominuído em substituição ao agregado miúdo, no qual constataram que uma maior proporção de vidro cominuído adicionado leva a uma diminuição da relação água/cimento utilizada, consequentemente, reduzindo a trabalhabilidade do concreto.

A consistência obtida com a adição de vidro temperado em substituição à brita se torna favorável em dois pontos: pode-se manter o traço a fim de se obter maior trabalhabilidade com o concreto na execução da obra, ou pode-se diminuir a quantidade de água, reduzindo o consumo deste recurso natural. A maior trabalhabilidade que o concreto com vidro temperado alcançou, facilitou o preenchimento dos moldes e obteve visualmente melhor adensamento.

Os resultados das análises de variância realizadas para massa específica do concreto úmido e resistência à compressão a um nível de confiança de 95% são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de variância para massa específica e resistência à compressão do concreto úmido com substituição de brita número zero por resíduo de vidro temperado à 95% de confiança.

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		Resistência (MPa)	Massa específica (kg/m ³)
%	5	8,403112 ^{ns}	1986,867897 ^{ns}
Substituição	12	2,729888	793,817698
Total	17		
Média geral		15,77	2097,87
CV (%)		10,48	1,34

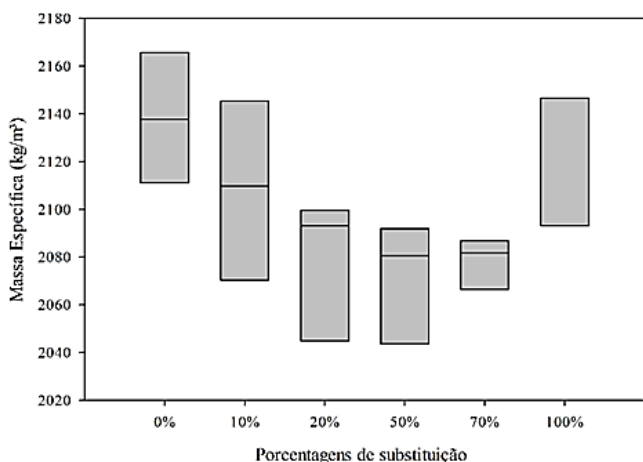
Nota: CV: coeficiente de variação; GL: grau de liberdade; ns: não significativo.

Fonte: Os autores.

Para melhor interpretação do apresentado na Tabela 2, na Figura 3 pode ser visto o gráfico *box-plot* dos valores obtidos das massas específicas dos diferentes tratamentos.

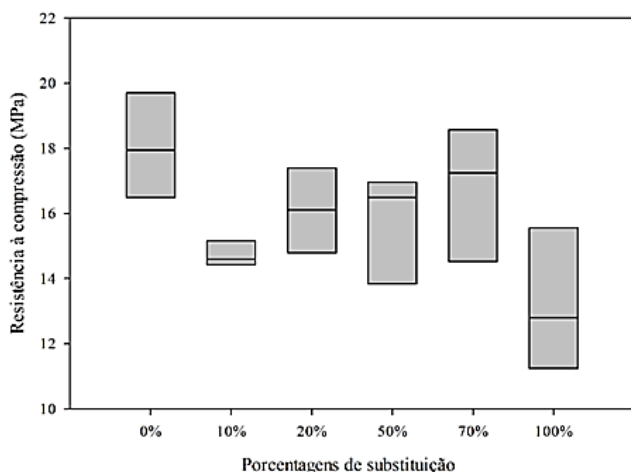
Os tratamentos analisados não apresentaram diferença significativa para a variável massa específica. Porém, todos tiveram grande amplitude de valores, sendo que o tratamento com 70% de resíduo de vidro temperado apresentou menor amplitude. A pequena diferença em média das massas específicas do concreto úmido obtidas deve-se ao fato de que a massa específica da brita e do vidro temperado muito se assemelham 2,7 kg/m³ e 2,5 kg/m³, respectivamente, valores encontrados também por Silva (2015) em seu trabalho. A Figura 4, apresenta o resultado da análise das resistências a compressão.

Figura 3 - *Box-plot* das massas específicas do concreto úmido com substituição de brita número zero por resíduo de vidro temperado.



Fonte: Os autores.

Figura 4 - *Box-plot* das resistências à compressão do concreto úmido com substituição de brita número zero por resíduo de vidro temperado.



Fonte: Os autores.

Conforme apresentado, somente os corpos de prova com porcentagem de substituição de 10% não apresentaram grandes oscilações para resistência à compressão. No entanto, como observado na Tabela 2, não houve diferença significativa entre as médias obtidas nos tratamentos.

Vale apontar que até mesmo a maneira com que os corpos de prova com 100% de vidro temperado se romperam, não foi diferente da visualizada para o

traço convencional (controle), sendo de um dos modos que NBR 5739 (ABNT, 2007) apresenta, o do tipo E cisalhada, com ruptura a 45°.

A resistência à compressão dos tratamentos produzidos com resíduo de vidro temperado em substituição parcial e total à brita, muito se assemelhou à resistência do tratamento controle, que não possuía adição do resíduo. Fato este que se opõe ao relatado por Pereira (2016), onde o autor obteve um acréscimo de resistência em substituição de 20% do agregado graúdo por vidro, ocasionado pela obtenção de um menor índice de vazios, já que o vidro possuía menor porosidade em relação à brita, e um decréscimo na substituição de 100%. O autor indicou que este fato é provocado pela textura de superfície do vidro que diferentemente da brita, é liso, provocando assim, uma ruptura por deslizamento do agregado.

Já Silva (2015), em seu trabalho, relata que com a substituição de 100% em massa do agregado graúdo por cacos de vidro temperado, houve um decréscimo de 1,6% na resistência a compressão, fato possivelmente ocasionado pelo aumento da relação água/cimento, uma vez que o vidro apresenta pouca ou nenhuma absorção de água.

CONCLUSÃO

O vidro temperado possui granulometria característica similar à granulometria da brita zero, detendo ainda a vantagem de reter menos água e propiciar um concreto mais trabalhável que o convencional.

Este resíduo de vidro temperado em substituição parcial e total ao agregado graúdo, não apresentou variações significativas na massa específica do concreto úmido e tão pouco na resistência à compressão dos corpos de prova testados.

Assim, pode-se concluir que o uso do resíduo de vidro temperado em substituição ao agregado graúdo na fabricação de concreto alcançou resultados positivos, tanto técnicos quanto econômicos e ecológicos, independente da porcentagem substituída. No entanto, muito ainda precisa ser explorado sobre sua exequibilidade, não sendo indicado para fins estruturais.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 1994. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.
- BACCI, D. de L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**. V.48, n.3, p. 47-54, 2006.
- BARBOSA NETO, E.; LOPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. de. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**. v. 51, n. 320, p. 318-324, 2005.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. FCAV/UNESP, Jaboticabal, versão 1.0.694 (2011).
- GOMES FILHO, C. V. Levantamento do potencial de resíduos de borracha no Brasil e avaliação de sua utilização na indústria da construção civil. Curitiba, PR. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná; 2007.
- GONÇALVES, R. D. C. Agregados reciclados de resíduo de concreto: um novo material para dosagens estruturais. São Carlos, SP. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos -USP; 2001.
- MODRO, N. L. R. Desenvolvimento e caracterização de concreto de cimento Portland contendo resíduos poliméricos de PET. Joinville, SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade da Região de Joinville; 2008.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5. ed., Porto Alegre, Bookman; 2016.
- PEREIRA, A. H. Avaliação da utilização de vidro comum como pozolana e avaliação da utilização de sucata de vidro temperado como agregado graúdo em concretos. Campo Mourão, PR. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2016.
- RIGHI, D.; KÖHLER, L.; TABARELLI, A.; KIRCHHOF, L.; LIMA, R. Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos à elevadas temperaturas. In. JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 35, Rio de Janeiro, **Anais**. ASAE. 2016.
- SANTOS, E. C. G. Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. São Carlos, SP. **Dissertação de Mestrado**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP; 2007.
- SILVA, J. G. S. Produção de concreto cimentício com agregado de resíduos de vidro plano temperado. Campina Grande, PB. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Campina Grande; 2015.
- TENÓRIO, J. J. L. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações

estruturais. Maceió, AL. **Dissertação de Mestrado**.
Universidade Federal de Alagoas; 2007.

VIEIRA, C. I. de P.; VIANA, B. A. da S. Áreas de
Extração Mineral para Construção Civil em Teresina-

PI: aspectos físicos e seus impactos socioambientais.
Revista Equador. v. 5, n.3, p. 99-119, 2016.