

## **ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES DO CONCRETO ADICIONADO COM RESÍDUO DE COBRE, BORRACHA DE ETILENOPROPILENO E FIBRA DE BANANEIRA.**

### *COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF CONCRETE ADDED WITH COPPER RESIDUE, ETHYLENE PROPYLENE RUBBER AND BANANA FIBER.*

José Vitor Prachum Lima<sup>1</sup>,  
Marcio José Kloster<sup>2</sup>,  
Luiz Diego Marestoni<sup>3</sup>.

**Resumo:** Atualmente o concreto é um material amplamente utilizado e seu estudo apresenta grande interesse. No presente trabalho determinaram-se propriedades dos corpos de concreto com adição de fibra de bananeira, resíduos de cobre e elastômeros em comparativo com amostras do mesmo concreto sem adição (comum). As adições foram acrescentadas no concreto e após a cura de 90 dias, foram analisadas as amostras e feitas análises de compressão em uma Prensa Hidráulica. Pode-se concluir com o trabalho que apresentaram melhor resistência à compressão respectivamente o concreto com adição de cobre, concreto comum, concreto com borracha Etileno Propileno e concreto com Fibra de Bananeira. Desta maneira, ressalta-se a importância dos cuidados no preparo do concreto de maneira a não adição de materiais orgânicos na composição.

**Palavras Chave:** Concreto. Adição. Resistência.

**Abstract:** Currently the concrete is a widely used material and its study presents great interest. In this paper we determined properties of concrete bodies with the addition of banana fiber, copper waste and elastomers in comparison with the same concrete samples without addition (common). The additions were appended in the concrete and after 90 days of curing, the samples were analyzed and taken compression tests on a hydraulic press. We can be concluded that showed better compression resistance respectively concrete with addition of copper, common concrete, concrete with Ethylene Propylene rubber and concrete with Banana Fiber. Thus, we emphasize the importance of care in concrete preparation so that no addition of organic materials in the composition.

**Keywords:** Concrete. Addition. Resistance.

---

<sup>1</sup> Técnico em Mecânica. Instituto Federal do Paraná, Campus Telêmaco Borba, Grupo de Física. E-mail: prachuml@hotmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais. Instituto Federal do Paraná, Campus Telêmaco Borba, Grupo de Física. E-mail: marcio.kloster@ifpr.edu.br.

<sup>3</sup> Doutor em Química Analítica. Instituto Federal do Paraná, Campus Telêmaco Borba, Grupo de Física. E-mail: luiz.marestoni@ifpr.edu.br

# 1 INTRODUÇÃO

O concreto é uma mistura de areia, água, pedra e cimento. Areia é um conjunto de partículas desintegradas de rochas por erosão composta na maior parte de dióxido de silício. Pedra brita é derivada do basalto, de origem ígnea ou magmática facilmente encontrada em grande parte do planeta (VELASCO, 2002 e ABNT, 1990). Cimento é derivado do calcário, material cerâmico que em contato com a água produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal produto utilizado em construções civis (SILVA, 2010).

A resistência do concreto com adições de diferentes materiais pode ser alterada de acordo com o composto adicionado. De maneira a aumentar a resistência à compressão e comportamento de trincas do concreto adicionam-se materiais criando novos compósitos (CALLISTER JR, 2002). A utilização de materiais que são encontrados em grande escala e que podem ser reutilizados são de grande interesse, pela facilidade de trabalho com o mesmo, assim, o estudo da adição de diferentes materiais apresenta grande contribuição em conhecimento para a área.

O objetivo do trabalho foi a produção de três tipos de concreto, alternando o material adicionado (Cobre, borracha de Etileno Propileno (EPM) e fibra de bananeira) e análise da resistência a compressão dos compósitos.

O cobre ( $^{63,6}_{29}\text{Cu}$ ) é um elemento metálico, sua estrutura eletrônica possui um elétron orbital o que o torna um bom condutor elétrico. Apresenta-se como um material dúctil (propriedade que pode ser reparada através do recozimento) e maleável. É um elemento de fácil obtenção, amplamente empregados em sistemas elétricos (GOMES e BRESCIANI FILHO, 1987). Como se pode observar no trabalho de Shi *et al* (2008), existem diversos estudos onde se utiliza cobre como material de adição, tendo como finalidade o reaproveitamento desse material que seria descartado. Partindo dessa premissa decidiu-se quantificar o desempenho da adição de resíduos deste material no concreto em forma de filamento.

A borracha natural é uma matéria-prima agrícola importante, utilizada em indústrias como a pneumática, a de autopeças, e de produtos bélicos. É utilizada

também em artefatos leves como luvas cirúrgicas, preservativos, chupetas, solados e couro vegetal e, recentemente, como biomaterial para aplicação médica (DALL'ANTONIA *et al*, 2006). Durante a etapa de desenvolvimento de uma formulação elastomérica, a borracha submetida a uma determinada temperatura, passa por mudanças físicas e químicas que levam à alteração de suas propriedades, devido à formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas. Essas alterações se devem a fatores como: método de vulcanização, tipo de elastômero, presença de aditivos (ativadores, agentes de vulcanização), tempo e temperatura de vulcanização (OLIVEIRA *et al*, 2016). Tais fatos demonstram a amplitude da utilização de compostos elastoméricos atualmente. No entanto, os resíduos de borracha oriundos de pneus inservíveis tornaram-se um passivo ambiental de grande preocupação (COSTA *et al*, 2012).

A banana é uma planta tropical e amplamente disponível no Brasil e nos países que compõem este clima. Suas fibras apresentam uma coloração branca, são moles, finas, lustrosas, elásticas, multicelulares e possuem uma enorme aplicabilidade em diversas atividades de manufatura e artesanato, como por exemplo, fazer cordas, sacolas, jogos de mesa. É responsável pela renda de várias mulheres artesãs, pois ela é extraída diretamente da banana ou da própria bananeira assim sendo uma matéria prima de fácil obtenção (SILVA, 2004). Devido a estas características, aos cuidados que se deve ter com a introdução de material orgânico em concreto e pela escassez de trabalhos na literatura relacionados com essas fibras em matrizes cimentícias, decidiu-se utilizá-la.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram escolhidos três materiais distintos em sua classificação: polimérico (borracha de etileno propileno), orgânico (fibra de bananeira) e metálico (cobre).

A borracha de etileno propileno (EPM) é amplamente utilizada para vedação, como por exemplo, em geladeiras e carros. Esse material acaba não tendo destino certo após a vida útil de estes equipamentos terem acabado, desta maneira sua reutilização também é de preocupação ambiental. O material utilizado no trabalho foi adquirido em uma autopeça e apresentava originalmente na forma de anel de vedação. Sua produção se dá pela copolimerização do

Etileno e Propileno. Levando-se em consideração os trabalhos de Akasaki *et al* (2004) e Vasconcelos e Akasaki (2010) foram cortados pedaços de EPM com 10mm de comprimento 1mm de largura e 0.5mm de espessura para a adição aos corpos de prova.

O cobre foi escolhido por suas propriedades mecânicas de ser maleável e dúctil assim, o material tenderá a se deformar e absorverá desta maneira parte da energia aplicada resultando na necessidade de uma tensão maior para a ruptura do corpo de prova (MOURA *et al*, 2007). Foram utilizados fios elétricos cortados com 10mm de comprimento e 0,5mm<sup>2</sup> de área de secção para a adição aos corpos de prova.

A maior parte das pesquisas nos últimos anos sobre o uso de fibras naturais como reforço em matrizes cimentícias foi motivada pela grande quantidade de fibras disponíveis e pelo fato delas possuírem alta resistência mecânica (PUTERMAN *et al*, 1990). A fibra de bananeira foi escolhida como material a ser adicionado ao concreto pela necessidade de materiais leves e resistentes, apresenta resistência a tração de 529-754 Mpa, módulo de elasticidade de 7,7-20 GPa e densidade de 1350 kg/m<sup>3</sup> (CHAND, 1998). As fibras foram secas em 2 etapas na primeira foi deixada ao sol por 5h e logo em seguida colocada em um forno mufla digital microprocessado - Modelo SP-1200DRP7, preaquecido até atingir 100°C por 30 min. Foram cortados pedaços de 10mm para a adição aos corpos de prova.

Em todos os casos o controle das dimensões foi realizado utilizando-se uma guilhotina e um paquímetro.

O concreto comum foi produzido adicionando-se para cada quilograma de cimento, 5,4 kg de areia quartzíticas média com granulometria de 0,2 a 0,5 mm (LÓPEZ *et al*, 2005), 7,0 kg de pedra ferro composta por feldspato, calco-sódico e olivina (UNIVERSIDADE, 2016) (tipo pedrisco comercial - 9,5 a 2,4 mm (IUDICE, 2016)) e 1,2 litros de água. Onde cada corpo de prova foi homogeneizado manualmente por uma colher por 3 minutos.

Foram construídos 32 corpos de prova cilíndricos (50mm de altura e 38,1mm de diâmetro) para comparação da resistência mecânica em relação ao concreto comum. A porcentagem de material adicionado nos corpos de prova foi de 10% e 20 % (ASTM, 1986) da massa total do corpo, divididos da seguinte

maneira: 4 corpos de prova de cada amostra com 10% (10:1) de material adicionado e 4 corpos de prova de cada amostra com 20% (10:2) de material adicionado (ABNT, 1994a). Para comparação da resistência foram produzidos 8 corpos de prova de concreto comum.

A cura do concreto foi realizada de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994b). Os moldes foram posicionados sobre uma superfície de granito. Durante as primeiras 24 h os corpos foram armazenados em local protegido de intempéries com filme polimérico. Após 24h os corpos foram desmoldados e identificados. Todos os corpos de prova ficaram intactos por 90 dias.

Para determinação da absorção de água os corpos foram secos ao ar por 90 dias, de maneira a garantir o tempo de cura do cimento. No segundo momento, os corpos foram pesados ainda secos, então imersos em água por duas horas e pesados novamente. A diferença entre as massas resultou na absorção de água pelos corpos de prova.

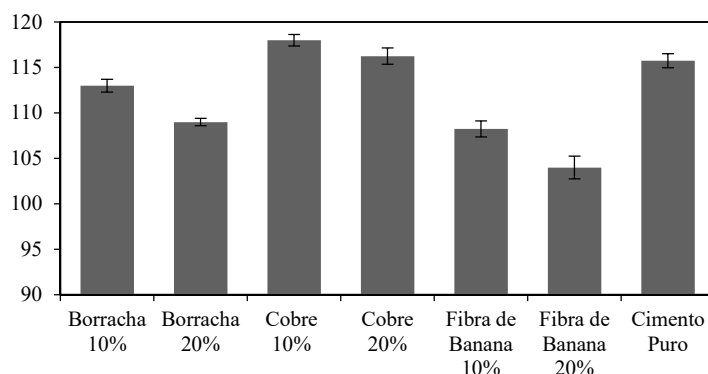
No terceiro momento os corpos foram expostos ao sol por 8 horas para retirada da água, de maneira a garantir que o concreto esteja exposto as condições normais de trabalho da construção civil. Desta maneira, foi possível a realização dos testes de resistência à compressão onde foram analisados separadamente em batelada no mesmo dia e nas mesmas condições de temperatura, umidade e pressão.

Os resultados dos ensaios foram compilados de maneira a indicar as resistências mecânicas à compressão em comparação ao concreto comum.

### **3 RESULTADOS**

Na figura 1 pode-se observar a massa final dos corpos de prova produzidos. Como esperado, corpos com adição de materiais metálicos apresentaram massas superiores aos outros e os corpos com materiais orgânicos apresentaram as menores massas.

**Figura 1** - Massa dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria.

De maneira a entender a composição do material, a absorção de água foi determinada pela relação entre as massas dos corpos secos e dos corpos molhados. Para isso, os corpos de prova foram pesados secos (90 dias de exposição à temperatura ambiente) e molhados (depois de imergidos em água por duas horas). A diferença entre as massas é diretamente proporcional à absorção de água dos corpos, ou seja, essa diferença indica o quanto de água foi aderida pelos poros dos corpos de prova. Na tabela 1 é apresentado o resultado da diferença de massa entre os corpos secos e molhados. Todos os testes foram realizados em triplicata e os resultados são apresentados com 95% de confiança.

**Tabela 1.** Diferença de massa entre os corpos de prova antes de depois de molhados.

| Corpo               | Diferença média (95% confiança) |
|---------------------|---------------------------------|
| Borracha 10%        | 1,5 ± 0,2                       |
| Borracha 20%        | 2,5 ± 0,2                       |
| Cobre 10%           | 1,3 ± 0,3                       |
| Cobre 20%           | 2,8 ± 0,1                       |
| Fibra bananeira 20% | 4,8 ± 0,1                       |
| Fibra bananeira 10% | 2,8 ± 0,3                       |
| Concreto Comum      | 2,1 ± 0,1                       |

Fonte: Autoria própria.

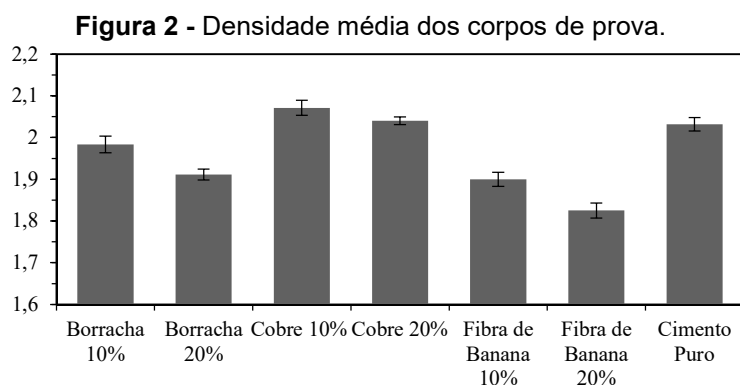
A diferença de massa encontrada devido ao preenchimento dos poros pela água mostra que o concreto com a adição da fibra de bananeira teve a maior diferença de massa. A razão disso é provavelmente devido a maior quantidade de poros gerados pela má adesão do material adicionado, assim criando

espaços nos interstícios entre a matriz e a fibra. Trabalhos futuros deverão ser realizados a fim de comprovar esta possibilidade. Outro ponto importante é o fato de a fibra se desidratar durante os 90 dias de cura do concreto, o que resulta em uma capacidade de absorção de fluido maior. Em relação ao compósito com cobre e a borracha a diferença de massa foi baixa devido à boa adesão dos dois materiais. Desta maneira, espera-se que o concreto com fibra de bananeira prejudique a resistência mecânica do material.

Outra característica física analisada foi a densidade dos corpos de provas, determinadas através da equação 1.

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde,  $d$  é a densidade do corpo,  $m$  é a massa e  $V$  o volume. Na figura 2 podem-se observar os resultados obtidos.

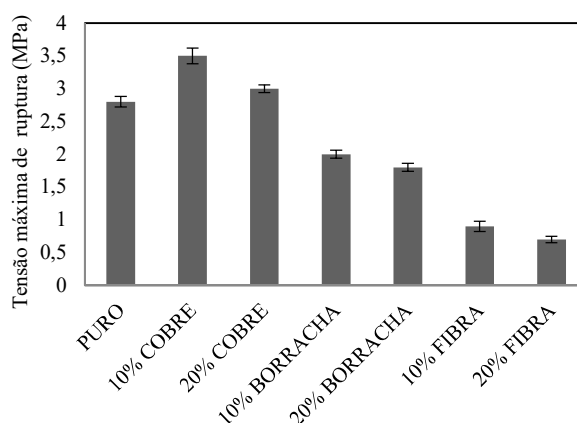


**Fonte:** Autoria própria.

Com base no gráfico nota-se que a densidade do compósito contendo a adição de cobre possui um valor maior enquanto os outros apresentaram um valor menor, isso acontece devido à própria densidade do material adicionado (Cu = 3,87 (AKASAKI *et al*, 2004), borracha = 0,88 (CAETANO, 2016) e Fibra de banana = 1,35 g/cm<sup>3</sup> ( FIBRAS, 2016)).

Por fim, analisou-se a resistência média a compressão, conforme apresentado na figura 3. As medidas foram realizadas em quadruplicada e os resultados são apresentados com 98% de confiança.

**Figura 3** - Resistencia dos corpos de prova à compressão.



**Fonte:** Autoria própria.

Pode-se observar que o compósito com adição de cobre apresentou resistência à compressão maior do que o concreto puro. Isto é devido à boa aderência entre os materiais e a criação de vários interstícios entre o cobre e o concreto os quais quando a força aplicada os encontra, muda seu sentido e perde intensidade, conforme previsto por (MOURA, 2000). No entanto, quando ocorreu o incremento na quantidade de material a resistência diminuiu, isto se deve a aglomeração do próprio material.

O concreto com EPM apresentou uma resistência média inferior ao concreto comum e ao compósito com cobre, e uma resistência superior à fibra de bananeira. Tal resultado foi devido a aglomeração de dois ou mais pedaços de borracha em uma parte do corpo de prova o que como consequência a deixou mais frágil (SANTOS, 2005), o que pode ser comprovado devido a diminuição na resistência dos corpos com o incremento do material.

Como esperado pelo resultado da porosidade, o compósito com adição de fibra de bananeira apresentou a menor resistência média, isto se deve à má aderência da fibra com o concreto. Neste caso também o incremento no material adicionado resultou em uma menor resistência mecânica.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar com o presente trabalho a importância dos cuidados que se devem tomar ao se preparar o concreto. A adição de materiais alteram suas propriedades, o que pode ser positivo ou negativo. No trabalho verificou-se que os corpos com adição de cobre apresentaram o melhor desempenho dentre os demais, tendo uma resistência à compressão superior ao concreto comum. Os resultados inferiores dos compósitos com adição de fibra de bananeira são característicos da má adesão dos mesmos ao concreto, que provém da falta de um aglomerante para que os materiais possam criar uma liga mais resistente. Análises de microtomografia deverão ser realizadas como sequencia do trabalho para comprovar as interações com e sem adição de aglomerante.

## REFERÊNCIAS

- AKASAKI, J. L.; SERNAROS, P.; REYES, B.; TRIGO, A. P. M. (2004); Avaliação do Concreto com Borracha de Pneu com Relação ao Concreto Convencional. Anais do 45o Congresso Brasileiro do Concreto.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS – (ABNT). **NBR 5738** - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS – (ABNT). **NBR 5739** - Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova-cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - (ABNT). **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 1990.
- ASTM C 496 (1986) **Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of the Cylindrical Concrete Specimens**. West Conshohocken, PA, USA.
- CAETANO, M.J.L. **Borracha de Etileno Propileno (EPM)**. Disponível em: <[http://ctborracha.com/?page\\_id=5279](http://ctborracha.com/?page_id=5279)>. Acesso em 29 de março de 2016.
- CALLISTER JR, W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2002.

CHAND, N; TIWARY, R.K; ROHATGI, P.K. Resource Structure Properties of Natural Cellulosic Fibers - An Annotated-Bibliography. **Journal of Materials Science**, v. 23, p. 381-387, 1988.

COSTA, H.M; RAMOS, V.D; SILVA, W.S; SIRQUEIRA, A.Silva. Otimização de propriedades mecânicas de misturas ternárias de polipropileno (PP)/borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM)/pó de pneus (SRT) sob tração e impacto usando a metodologia da superfície de resposta (MSR). **Polímeros**, v. 22, n. 1, fev. 2012.

DALL'ANTONIA, A.C; MARTINS, M.A; MORENO, R.M.B; MATTOSO, L.H.C; JOB, A.E; FERREIRA, F.C; GONÇALVES, P.S; Avaliação de Clones de Borracha Natural Crua por Ensaio Padrão e Análise Dinâmico-Mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 239-245, 2006.

FIBRAS Naturais. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5271/5271\\_3.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5271/5271_3.PDF)>. Acesso em 29 de março de 2016.

GOMES, M.R; BRESCIANI FILHO, E. **Propriedades e Usos de Metais Não-ferrosos**. São Paulo: editora ABM, 1987.

IUDICE Mineração Ltda. **Informações técnicas**. Disponível em: <[http://www.iudice.com.br/info\\_tec.html](http://www.iudice.com.br/info_tec.html)>. Acesso em 20 de março de 2016.

LÓPEZ, D.A.R; AZEVEDO, C.A.P; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, v.51, n.320, 2005.

MOURA, W. A., GONÇALVES, J. P., LEITE, M. B. Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 2226-2230, 2007.

MOURA, W.A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. 2000. f. 207, Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OLIVEIRA, M.A.S; CASSU, S.N; MELLO, S.A.C; DUTRA, J.C.N; Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural. **Polímeros**, v.26, jan. 2016.

PUTERMAN, A; BENTUR, A.M; SOROKA, I. Improved Adhesion Properties of Polymer-Modified and Non-Modified Stucco. In: 6TH INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMERS IN CONCRETE ( ICPIC ), 1990. Tongji Univ, Shanghai, China. **POLYMERS IN CONCRETE: PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONGRESS**. Int Academic Publ, Beijing. Set. 1990, p. 288-291.

SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obritada a partida da reciclagem de pneus com aplicação em**

**placas pré-moldadas.** 2005. f. 116, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SHIA, C; MEYERB, C; BEHNOODC, A. Utilization of copper slag in cement and concrete. **Conservation and Recycling.** v. 52, n. 10, p. 1115–1120, out. 2008.

SILVA, A.R., **Estudos térmicos e de materiais na construção de casas populares com blocos confeccionados a partir de um composto a base de cimento, gesso, eps e raspa de pneu.** 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica).Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

SILVA, F.A. **Tenacidade de materiais compósitos não convencionais.** 2004. 234 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Materiais de Construção: Engenharia Civil.** Disponível em:  
<<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~guilherme/rochas%20naturais.pdf>  
>. Acesso em: 20 de março de 2016.

VASCONCELOS, A.R.B; AKASAKI, J.L. Análise da durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de cinza de casca de arroz e borracha de pneu. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 77-90, jan./mar. 2010.

VELASCO, R.V. **Concreto de Alto Desempenho Reforçado com Fibras de Polipropileno e Sisal Submetido a Altas Temperaturas.** 2002. f. 132, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

Enviado em: 07 jan. 2016  
Aceito em: 24 abr. 2016

Editores responsáveis: Mateus Gomes e Hermelinda P. P. Martins