

Propriedades mecânicas de concreto laterítico com metacaulim

Mechanical properties of a lateritic concrete with metakaolin

**Dênio Ramam Carvalho de Oliveira¹, Bernardo Borges Pompeu Neto²,
Roberto Tetsuo Fujiyama³, Mauricio de Pina Ferreira⁴**

¹Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA
e-mail: denio@ufpa.br

²Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA
e-mail: pompeu@ufpa.br

³Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA
e-mail: fujiyama@ufpa.br

⁴Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA
e-mail: mpinaf@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de metacaulim sobre as propriedades mecânicas do concreto laterítico. A pesquisa é de particular importância devido à abundância de concreções lateríticas e escassez de rochas mais resistentes, como o calcário, granito e seixo rolado, na Região Amazônica, no norte do Brasil. O concreto foi dosado de acordo com o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e foram elaborados três diferentes traços em massa com o teor de argamassa corrigido. Para o Traço 1 utilizou-se a proporção 1:1,45:2,35:0,48 e 0,8% de aditivo plastificante. Para o Traço 2, empregou-se a proporção 1: 1,45:2,35:0,40 e 2% de aditivo, além de 10% de metacaulim em substituição ao cimento. Para o Traço 3, adotou-se 1:1,45:2,35:0,38 e 0,75% de aditivo plastificante, e manteve-se a proporção de Metacaulim. Observou-se que os concretos analisados apresentaram comportamentos similares ao de concretos convencionais, com brita ou seixo rolado. A incorporação deste resíduo mineral melhorou as propriedades mecânicas do concreto laterítico.

ABSTRACT: The purpose of this research was to study the effect of metakaolin on the mechanical properties of the lateritic concrete. The research is of particular relevance once lateritic concretions are quite abundant in the north Brazilian Amazon instead granite, limestone and rolled pebble. The concrete was measured according to the ABCP method for normal strength concretes (Brazilian Association of Portland Cement), and then three different mixtures of concrete were prepared with the mortar percentage corrected. For the first mixture the proportion 1:1.45:2.35:0.48 in mass and 0.8% of plasticizer additive was used. The second mixture presented the proportion 1:1.45:2.35:0.40 with 2% of additive and 10% of metakaolin replacing the Portland cement. For the third mixture the proportion 1:1.45:2.35:0.38 with 0.75% of additive and the same percentage of metakaolin was adopted. It was observed that this type of concrete presents similar behavior of the normal strength ones. The addition of metakaolin strongly improved the mechanical properties of the lateritic concrete.

1. INTRODUÇÃO

Os agregados graúdos desempenham um papel relevante na produção de concretos, seja do ponto de vista econômico ou técnico, pois ocupam até 80% do volume do concreto, influenciando significativamente sua resistência mecânica, estabilidade dimensional e durabilidade. Assim, de acordo com HELENE e TERZIAN (1992) e

CALISTER (2002), o agregado graúdo é essencial para a confecção de concretos com baixo custo, já que o cimento é o constituinte mais caro dos mesmos. Para alguns estados da Região Norte a utilização da brita ou seixo rolado é impraticável devido à origem geológica das jazidas como, por exemplo, nos estados do Pará, Amazonas e Acre, onde a situação é mais crítica e tais agregados chegam a ser importados de Rondônia, do Peru e

da Bolívia, demandando de 15 a 40 dias para a entrega na obra, e a um preço exorbitante. Além dessa escassez de agregados resistentes, ainda existe o problema ambiental causado pela exploração do seixo rolado nos rios da Amazônia, provocando modificações severas em seus leitos, favorecendo o assoreamento e desestabilizando o ecossistema associado direta e indiretamente aos mesmos.

De acordo com NETO et al. (1976), na região amazônica há grande abundância de rochas lateríticas e, ainda segundo este autor, nos estados do Acre e Amapá, devido à carência de brita e seixo rolado, foram construídas diversas obras civis, como casas, ruas e trechos de estradas, hospitais e escolas, com a utilização de laterita como agregado graúdo para concretos. A figura 1 mostra as principais áreas de ocorrência de laterita no Brasil. Em concretos de resistência normal (<40 MPa), as características do agregado graúdo raramente influenciam diretamente na resistência do concreto, exceto nos caso de alguns agregados altamente porosos e fracos. Isto acontece porque nas misturas típicas de concreto usual, a relação água/cimento corresponde a valores no intervalo de 0,4 a 0,7, de acordo com AITCIN e MEHTA (1990). Dentro dessa faixa de relação água/cimento, os componentes mais fracos do concreto são a pasta de cimento endurecida e a zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado graúdo, em vez do próprio agregado. Ainda segundo os autores, a introdução de adições minerais, como a sílica ativa e o metacaulim, traz vantagens técnicas não existentes nos concretos convencionais como uma melhor zona de transição, além de uma estrutura mais densa de uma forma geral, melhorando com isso as propriedades mecânicas do concreto.

O metacaulim é o resíduo do caulim, e que outrora era descartado nos rios pelas indústrias produtoras de papel, porcelana e pigmentos em geral. Ainda sob o ponto de vista ambiental, o acúmulo de grandes quantidades deste resíduo foi o causador de diversos acidentes ambientais na Amazônia, como o ocorrido em Barcarena (figura 2), no Pará, em 2007. Este vazamento teve repercussão nacional e causou danos sociais, pois diversas famílias ficaram impedidas de praticar a pesca nos rios contaminados. Uma solução para o aproveitamento do metacaulim em escala industrial foi apresentada às empresas da construção civil há aproximadamente 15 anos: a

utilização de metacaulim como adição para concreto. Esta solução é realmente de grande impacto para ajudar a sanear o meio ambiente, mas a utilização do resíduo como adição ainda é muito restrita devido a seu preço elevado. O metacaulim oferecido no mercado atualmente é beneficiado na Região Sudeste do Brasil, mas é proveniente da Região Amazônica. Ora, se o resíduo é gerado na Amazônia, seu beneficiamento na própria região poderia reduzir seu custo final e contribuir para o desenvolvimento sócio-econômico de sua população, desde que seu uso como adição para concretos seja incentivado.

O objetivo principal desta pesquisa foi analisar a viabilidade técnica da utilização da laterita como agregado graúdo com adição do rejeito mineral metacaulim em concretos convencionais. Logo, são apresentados os resultados experimentais para os ensaios de compressão axial e compressão diametral, de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 7222 (ABNT, 2010), respectivamente. O módulo de elasticidade foi estimado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003).



Figura 1 – Ocorrência de laterita no Brasil (Fonte: www.portaldetecnologia.com.br)



Figura 2 – Bacia de metacaulim e contaminação de um rio na Região Amazônica

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Visando investigar o efeito do metacaulim na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade do concreto laterítico, foram elaborados três diferentes traços. O Traço 1, com a proporção 1:1,45:2,35:0,48 em massa e 0,8% de aditivo plastificante/retardador de pega, de uso comum na construção civil, e sem metacaulim. Para o Traço 2, empregou-se a proporção 1: 1,45:2,35:0,40 e 2% de aditivo plastificante, além de 10% de metacaulim em substituição ao cimento e, para o Traço 3, adotou-se 1:1,45:2,35:0,38 e 0,75% de aditivo plastificante, mantendo-se a proporção de Metacaulim. Foram então moldados 36 corpos-de-prova (CP) cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, como mostrado na figura 3. A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida do laboratório de engenharia civil da Universidade Federal do Pará. Posteriormente, os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de compressão axial e compressão diametral, de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 7222 (ABNT, 2010), respectivamente, nas idades de 7, 14 e 28 dias, com o auxílio de uma prensa universal com capacidade para 200 toneladas força. O módulo de elasticidade foi estimado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2004).



Figura 3 – Moldagem dos corpos-de-prova

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CP II F-32, um cimento ordinário cujas características química, físicas e mecânicas preenchem os requisitos exigidos pela norma NBR 11578 (ABNT, 1991).

2.1.2 Metacaulim

O resíduo metacaulim utilizado como adição para concreto é proveniente da própria região amazônica, mas beneficiado na região sudeste do Brasil. É encontrado facilmente no mercado sob forma de pó branco. Suas principais características físicas são as seguintes: massa específica de 2,60 kg/dm³, massa unitária de 0,55 kg/dm³ e área específica igual a 18.000 cm²/g.

2.1.3 Agregado miúdo

Foi utilizada uma areia proveniente do Estado do Acre, com massa específica 2,63 kg/dm³ e massa unitária de 1,61 kg/dm³, determinadas de acordo com a MB 2643 (ABNT, 1986), NM 45 (ABNT, 2006) e MB 1733 (ABNT, 1983). A composição granulométrica foi definida atendendo as recomendações da MB 7 (ABNT, 1987). A figura 4 mostra a curva granulométrica da areia.

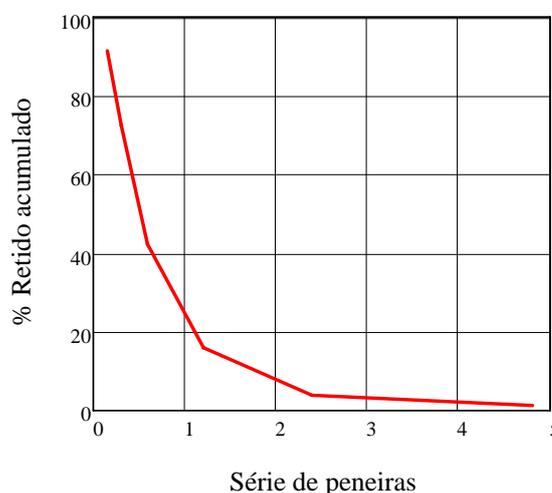


Figura 4 – Curva granulométrica da areia

2.1.4 Agregado Graúdo

Foram utilizados agregados graúdos provenientes do Estado do Acre, de uma concreção localizada a 20 km da capital Rio Branco. A caracterização destes agregados consta da tabela 1. A dimensão máxima característica (DMC) foi de 19,1 mm, e a massa específica, 2,82 kg/dm³, absorção de 2,85% e a massa unitária de 1,65

kg/dm³, foram calculados de acordo com a NM 53 (ABNT, 2009) e NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente. O índice de materiais pulverulentos, 0,35%, e a perda de massa por abrasão “Los Angeles”, 28,73%, foram determinados de acordo com as normas MB 9 (ABNT, 1987) e NM 51 (ABNT, 2001).

Tabela 1 – Composição granulométrica da laterita utilizada

Composição Granulométrica-Laterita (MB 7)			
		Amostra: 10 kg	
		Porcentagem (%)	
Peneira (mm)	Massa retida (g)	Massa retida	Retida acumulada
25,40	0	0,00	
19,10	2271	22,71	22,71
12,50	4817	48,17	70,88
9,50	2237	22,37	93,25
4,80	608	6,08	99,33
2,40			100,00
1,20			100,00
0,60			100,00
0,30			100,00
0,15			100,00
Total			786,17
Módulo de finura		7,86	
DMC (mm)		19,1	

2.1.5 Aditivo Plastificante

Foi utilizado um aditivo do tipo PR (plastificante/retardador) de uso comum na construção civil, denominado Glenium 51, de acordo com o manual do fabricante.

2.2. Ensaios

2.2.1 Resistência à compressão

A realização deste ensaio procedeu-se de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), e a figura 5 mostra o aspecto do corpo-de-prova após a realização do ensaio. Em todos os casos foram ensaiados dois corpos-de-prova para se obter o valor médio da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de idade.

2.2.2 Resistência à tração

Nesse ensaio, um corpo-de-prova cilíndrico de 150 mm x 300 mm, semelhante ao utilizado no ensaio de compressão axial, é colocado com o eixo na horizontal entre os pratos da prensa, aplicando-se carga até a ruptura por tração indireta, na forma

de fendilhamento segundo o plano diametral vertical. Também foram rompidos dois corpos-de-prova para se determinar o valor médio da resistência à tração nas idades de 7, 14, e 28 dias. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2010). A figura 6 mostra o aspecto do corpo-de-prova após a realização do ensaio.



Figura 5 – Aspecto dos corpos-de-prova após o ensaio de compressão axial



Figura 6 – Aspecto dos corpos-de-prova após o ensaio de compressão diametral

2.2.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade para cada amostra, nas idades de 7, 14 e 28 dias foi estimado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003) e são apresentados na tabela 11. Segundo esta norma, o módulo de deformação longitudinal depende da resistência à compressão do concreto (f_c), e pode ser estimado satisfatoriamente pela equação 1.

$$E_c = 5.600 \cdot \sqrt{f_c} \quad (\text{Eq. 01})$$

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Propriedades físicas do agregado graúdo

Os resultados encontrados para a composição granulométrica dos agregados graúdos permitem concluir que os mesmos estão dentro dos limites especificados pela NBR 7211 (ABNT, 1983) para utilização em concretos convencionais, com diâmetro máximo inferior a 50 mm e superior a 4,8 mm. Os valores obtidos para a massa específica e massa unitária dos agregados lateríticos são

compatíveis com os apresentados pelo granito britado e seixo rolado, enquanto sua absorção assemelha-se à apresentada pelos agregados leves. A porcentagem de perda de material no ensaio de desgaste Los Angeles é inferior ao máximo permitido pela NM 51 (ABNT, 2001), ou seja, 50%. O teor de material pulverulento também está dentro do limite especificado pela MB 9 (ABNT, 1987), que recomenda o valor máximo de 1,5%.

3.2 Propriedades mecânicas do concreto

3.2.1 Resistência à compressão

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão axial dos corpos-de-prova de concreto laterítico para os traços 1, 2 e 3, nas idades de 7, 14 e 28 dias, sem e com adição de metacaulim, respectivamente. Observa-se que a resistência aumentou com a adição de metacaulim. Isto possivelmente ocorreu porque o metacaulim altera significativamente as propriedades mecânicas do concreto pela ação física das finas partículas do metacaulim, muito mais finas que as do cimento Portland, reduzindo a porosidade da pasta, bem como pela ação química resultante da atividade pozolânica e a atuação conjunta destas duas ações.

Na figura 7 pode-se observar claramente o aumento da resistência à compressão com o aumento de tempo de cura para todos os traços utilizados, como ocorre quando se utiliza brita ou seixo rolado como agregado graúdo. Isto se justifica pelo aumento da resistência da argamassa, devido a um tempo maior de hidratação do cimento. O valor máximo de 36,1 MPa foi observado para o traço 2, aos 28 dias. Tal resistência possivelmente se foi conseqüência da adição de 2% de aditivo plastificante, que tornou a mistura mais trabalhável e, conseqüentemente, melhorando as propriedades do concreto endurecido.

3.2.2 Resistência à tração

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral dos corpos-de-prova cilíndricos. Os resultados mostram que, quando o metacaulim foi adicionado às misturas, ocorreu um ligeiro aumento da resistência à tração por compressão diametral, que pode ser justificado pela redução da porosidade da

matriz e da zona de transição dos concretos lateríticos. Este aumento na resistência à tração corrobora os resultados de diversos autores que afirmam que tais melhorias estão, em grande parte, relacionadas à atividade pozolânica, enquanto a resistência a compressão está relacionada ao efeito *filler*. A figura 8 mostra graficamente o desempenho dos concretos durante os ensaios de compressão diametral.

Tabela 2 – Resultados para a resistência à compressão

Compressão Axial: Traço 1				
CP	Área (mm ²)	7 dias (MPa)	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
1	7.854	14,27	15,03	20,64
2		14,65	16,18	20,38
Média Aritmética		14,46	15,61	20,51
Desvio Padrão		0,3	0,8	0,2
Coefficiente de Variação		1,9%	5,2%	0,9%
Compressão Axial: Traço 2				
1	7.854	17,8	26,7	37,8
2		24,9	25,1	34,4
Média Aritmética		21,4	25,9	36,1
Desvio Padrão		5,0	1,2	2,4
Coefficiente de Variação		23,6%	4,5%	6,7%
Compressão Axial: Traço 3				
1	7.854	20,0	22,6	34,5
2		20,0	24,8	33,4
Média Aritmética		20,0	23,7	33,9
Desvio Padrão		0,0	1,6	0,8
Coefficiente de Variação		0,0%	6,8%	2,4%

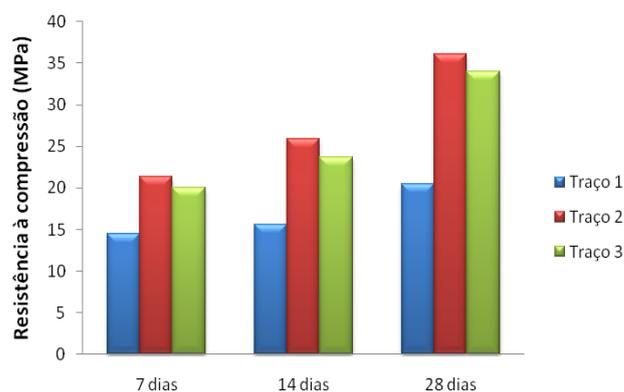


Figura 7 – Comparação entre as resistências à compressão

Tabela 3 – Resultados para a resistência à tração

Compressão Diametral: Traço 1				
CP	Área (mm ²)	7 dias (MPa)	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
1	3.140	2,1	2,3	3,2
2		2,1	1,7	2,9
Média Aritmética		2,1	1,9	3,1
Desvio Padrão		0,0	0,4	0,2
Coefficiente de Variação		1,1%	20,5%	5,9%
Compressão Diametral: Traço 2				
1	3.140	1,8	2,2	2,9
2		2,7	3,5	3,0
Média Aritmética		2,3	2,9	2,9
Desvio Padrão		0,7	0,9	0,1
Coefficiente de Variação		29,1%	32,0%	2,3%
Compressão Diametral: Traço 3				
1	3.140	3,3	2,4	3,7
2		2,3	3,2	3,2
Média Aritmética		2,8	2,8	3,5
Desvio Padrão		0,7	0,6	0,4
Coefficiente de Variação		26,4%	20,4%	11,1%

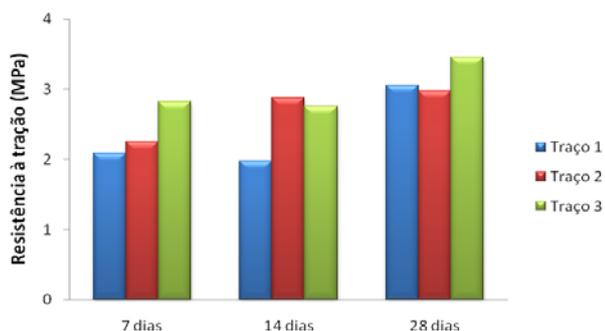


Figura 8 – Comparação entre as resistências à tração

3.2.3 Módulo de elasticidade

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o módulo de elasticidade, estimados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003). Os maiores valores foram obtidos com os traços 2 e 3. Uma comparação destes resultados pode ser melhor observada na figura 9. Como esperado, os resultados acompanharam a tendência dos resultados para a resistência à compressão dos concretos.

Tabela 4 – Resultados para o módulo de elasticidade

Módulo de elasticidade: Traço 1				
CP	7 dias (MPa)	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)	
1	21.152,5	21.711,7	25.439,6	
2	21.433,9	22.524,4	25.282,1	
Média Aritmética		21.293,2	22.118,1	25.360,8
Desvio Padrão		199,0	574,7	111,4
Coefficiente de Variação		0,9%	2,6%	0,4%
Módulo de elasticidade: Traço 2				
1	23.649,2	28.964,2	34.445,4	
2	27.982,1	28.053,4	32.842,4	
Média Aritmética		25.815,7	28.508,8	33.643,9
Desvio Padrão		3.063,8	644,1	1133,5
Coefficiente de Variação		11,9%	2,3%	3,4%
Módulo de elasticidade: Traço 3				
1	25.043,9	26.591,3	32903,1	
2	25.043,9	27.910,6	32352,2	
Média Aritmética		25.043,9	27.251,0	32627,6
Desvio Padrão		0,0	932,9	389,6
Coefficiente de Variação		0,0%	3,4%	1,2%

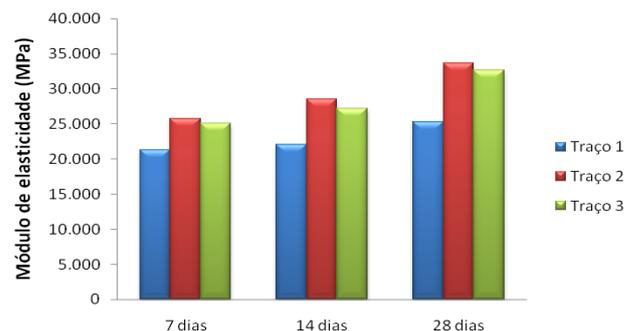


Figura 9 – Comparação entre os módulos de elasticidade

4. CONCLUSÕES

A incorporação do metaculim no concreto melhorou tanto a resistência à compressão como a resistência à tração por compressão diametral do concreto laterítico. Os efeitos benéficos do metaculim foram evidentes nos concretos preparados com agregados lateríticos. Assim, a introdução de adições minerais, como o metaculim, pode ser tecnicamente e economicamente viável em situações onde a boa qualidade dos agregados não está disponível. De modo geral, os concretos lateríticos apresentaram características mecânicas compatíveis com os concretos dosados com os agregados tradicionalmente empregados, quando comparados os resultados dos ensaios desta pesquisa. Apesar

de satisfatórios, os resultados apresentados devem ser complementados com análises rigorosas do comportamento de concretos lateríticos sob esforços elevados ao longo do tempo, o que contribui significativamente para o emprego desta tecnologia e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da Região Norte do Brasil, onde este agregado é abundante e de baixo custo. Os resultados ratificam o bom desempenho que os concretos lateríticos vêm apresentando em diversas edificações de pequeno porte e trechos de rodovias há mais de 30 anos. O uso conjunto de laterita e metacaulim e concretos de baixo custo, além de contribuir sócio-economicamente com a população regional, ajudam a sanear o meio ambiente, sem causar os bem conhecidos danos ambientais provenientes da exploração dos outros agregados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES FAPESPA e ao ITEGAM pelo apoio financeiro a esta e outras pesquisas desta natureza realizadas na Região Norte do Brasil.

REFERÊNCIAS

1. Aitchin, P.C.; Mehta, P.K. – *Effect of coarse-aggregate characteristics on mechanical properties of high-strength concrete*. ACI Material Journal, No. 87, p.103-107, August, 1990.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Agregado para concreto (NBR 7211)*. Rio de Janeiro, 2009.
3. _____. *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico (NBR 5739)*. Rio de Janeiro, 2007.
4. _____. *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (NBR 6118)*. Rio de Janeiro, 2003.
5. _____. *Agregados – Determinação da composição granulométrica (MB 7)*. Rio de Janeiro, 1987.
6. _____. *Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos (MB 9)*. Rio de Janeiro, 1997.
7. _____. *Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária (MB 1733)*. Rio de Janeiro, 1983.
8. _____. *Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (MB 2643)*. Rio de Janeiro, 1987.
9. _____. *Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos (NBR 7222)*. Rio de Janeiro, 2010.
10. _____. *Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles” (NM 51)*. Rio de Janeiro, 2001.
11. _____. *Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (NM 53)*. Rio de Janeiro, 2009.
12. _____. *Agregados – Determinação da massa unitária e do volume vazios (NM 45)*. Rio de Janeiro, 2006.
13. Calister, W.D. *Ciência e Engenharia dos materiais: Uma introdução*. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 2002. 589 pp.
14. Helene, P.; Terziam, P.. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. PINI / SENAI. São Paulo, 1992. 189 pp.
15. Neto, B.B.P.. *Um estudo sobre as propriedades de resistência mecânica de concreto laterítico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1976. 132 pp.
16. Portal de tecnologia. Acessado www.portaldetecnologia.com.br, em 15 de Novembro de 2010.