

# ANÁLISE DOS AGREGADOS MIÚDOS UTILIZADOS NA CIDADE DE SANTARÉM POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Fred Lucas Esquerdo<sup>1</sup>  
Moacir Carvalho de Sousa Júnior<sup>2</sup>  
Paulo Henrique Lobo Neves<sup>3</sup>  
Sarah Bueno de Castro<sup>4</sup>  
Anderson Sales Budelon<sup>1</sup>

## RESUMO

Os agregados para a construção civil são os insumos minerais mais utilizados no mundo. Entretanto, ainda há poucos estudos sobre as características dos agregados da cidade de Santarém, neste contexto, com intuito de obter mais informações acerca das características desses, a presente pesquisa surge da necessidade de identificar os minerais constituintes das areias utilizadas na confecção de materiais de construção. Dessa forma, foi abordada a caracterização, a identificação das áreas de exploração, a qualificação dos minerais por difração de raios X (DRX) e a investigação do potencial reativo dos agregados miúdos. De acordo com as análises de DRX, as amostras apresentaram predominância do mineral quartzo. Em três delas foi identificada a provável presença de caulinita. Constatou-se que 80% das amostras exibiram comportamento potencialmente inócuo, enquanto 20% mostraram-se potencialmente reativas.

**Palavras-chave:** Agregado. Reação Álcali-agregado. Difração de raios X.

## ANALYSIS OF THE SMALL AGGREGATES USED IN THE CITY OF SANTARÉM BY X-RAY DIFFERENCE

### ABSTRACT

Aggregates for civil construction are the most widely used mineral inputs in the world. However, there are still few studies on the characteristics of aggregates in the city of Santarém, in this context, in order to obtain more information about their characteristics, the present research arises from the need to identify the minerals that make up the sands used in the construction of construction materials. . Thus, the characterization, the identification of the exploration areas, the qualification of the minerals by X-ray diffraction (XRD) and the investigation of the reactive potential of the small aggregates were approached. According to XRD analyzes, the samples showed a predominance of the mineral quartz. In three of them, the probable presence of kaolinite was identified. It was found that 80% of the samples exhibited potentially innocuous behavior, while 20% were potentially reactive.

**Key-words:** Aggregate. Alkali-aggregate reaction. X-ray diffraction. Reactive potential.

Recebido em 27 de maio de 2020. Aprovado em 30 de junho de 2020.

<sup>1</sup> Centro Universitário Luterano de Santarém. E-mail: sarahcastro10@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE/UFPA). Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Santarém - CEULS/ULBRA (2016) e Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA (2018). Atualmente, é Engenheiro Civil da Prefeitura Municipal de Rurópolis/Pará.

<sup>3</sup> Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (1994); Engenheiro de Segurança no trabalho pela Universidade Estadual de Maringá (2012); Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Pará (2015).

<sup>4</sup> Graduação em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2019) e Técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Goiás (2013).

## INTRODUÇÃO

Os agregados para a construção civil são os insumos minerais mais utilizados no mercado. São usados para preenchimento ou para proporcionar rigidez em uma mistura. Nesse caso, a granulometria, a forma das partículas, densidade relativa e a composição mineralógica são parâmetros importantes. Segundo as dimensões dos grãos, podem ser divididos em duas categorias, sendo elas agregados graúdos e agregados miúdos. O estudo deste trabalho será voltado para a análise do agregado miúdo.

Nesse sentido, a areia é um material que tem uma idade inumerável, todavia que as rochas ígneas – das quais a areia é originada – só podem ter sido constituídas, sob uma alta pressão e a uma profundidade cerca de 9 a 24 quilômetros da crosta terrestre, onde foram transformadas em granito (Gonçalves, 2015).

A região da cidade de Santarém é privilegiada em relação à extração de agregado miúdo, porém faz-se necessário a busca por agregado graúdo em outros municípios distantes até 300 km ultrapassando (Neves, 2015).

Com intuito de conhecer mais sobre as características desses agregados, o presente trabalho surge da necessidade de identificar os minerais constituintes das areias utilizadas na construção civil da cidade de Santarém. Sabe-se que a mineralogia do agregado influencia na resistência à compressão, por exemplo, tanto do concreto, quanto da argamassa e alguns minerais podem reagir com o cimento que, na maioria das vezes, tornam-se nocivos. Esse fenômeno é conhecido como Reação Álcali-Agregado (RAA).

Entre os vários processos relacionados à deterioração do concreto, tem-se a RAA, um fenômeno complexo que é responsável por afetar diversas construções, principalmente aquelas em contato com a água, em geral as obras hidráulicas, como as barragens, fundações de pontes, entre outras. A reação entre os álcalis do cimento juntamente com minerais reativos dos agregados acarreta produtos expansivos capazes de microfissurar o concreto, causando a perda de elasticidade, resistência mecânica e durabilidade (Mehta; Monteiro, 2008).

Os agregados normalmente empregados na construção civil são de diferentes naturezas mineralógicas, tendo grande influência no desempenho destes. Na cidade de Santarém, segundo Neves (2015), “esses agregados não têm suas características conhecidas e não há um estudo comprovando sua eficiência na utilização de argamassas e concretos”.

Segundo Sbrighi (2000) e Neville (1997), alguns minerais como as sílicas não cristalinas, argilas e dolomitas podem reagir com o cimento, resultando em compostos expansivos e por isso são prejudiciais. Finalmente, a presença de matéria orgânica sempre é prejudicial à pega e ao endurecimento das argamassas e concretos.

Utilizar a técnica de difração de raios X (DRX) para a caracterização do agregado é bem vantajosa, pois se sobressai pela rapidez e simplicidade do método, a probabilidade de análise de materiais composto por uma mistura de fases, a confiabilidade dos resultados alcançados e uma análise quantitativa destas fases (Figueira, 2015).

A DRX é considerada uma técnica padrão na identificação e no estudo de minerais, não destrutiva e rápida, na qual feixes de raios X incidem em uma família de planos da amostra em um ângulo, e se a lei de Bragg for satisfeita, ocorre a difração (Glasser, 1992).

Halliday, Resnick e Krane (2012) afirmam que a difração de raios X é um método importante para o estudo da estrutura dos sólidos. Sendo assim, a técnica de DRX permite a caracterização mineral de forma eficiente.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral a caracterização dos agregados miúdos utilizados na confecção de concretos e argamassas na cidade de Santarém e a identificação dos minerais contidos nestes.

## METODOLOGIA

Para o método de obtenção do agregado para a análise, foram obtidos diretamente das áreas de exploração, nos barrancos na cidade de Santarém. Depois de coletados, os agregados foram selecionados e acondicionados, passando por procedimento de preparo adequado (como estocagem, secagem em estufa, moídos/pulverizados) e foram caracterizados.

As coletas das amostras foram realizadas em quatro locais, sendo que no barranco de Ponte Alta obtiveram-se duas amostras - areia média e areia grossa. Tais amostras foram nomeadas da seguinte forma: A1, A2, A3, A4 e A5.

Todas as amostras de agregados, coletadas nas diversas áreas de exploração, foram apresentados por local, georreferenciamento através de coordenadas UTM – Universal Transversa Mercator, distância média até o centro da cidade de Santarém.

As localizações das coletas estão descritas a seguir:

- Areia extraída do Barranco do Freitas, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude 750625.00 mE; Latitude 9727502.00 mS. Distante do Centro ~ 8,9 Km.
- Areia extraída do Barranco do Filipe, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude: 750046.00 mE; Latitude: 9727357.00mS. Distante do Centro ~ 8,6 Km.
- Areia extraída do Barranco da Matinha, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude: 750674.00 mE; Latitude: 9726405.00 mS. Distante do Centro ~ 9,7 Km.
- Areia extraída do Barranco da Tião – Área de exploração Ponte Alta, na zona periférica da cidade de Santarém, localização UTM: Zona 21M, Longitude: 746440.00 mE; Latitude: 9725759.00 mS. Distante do Centro ~ 12,2 Km.

Para a determinação da composição granulométrica do agregado miúdo, fundamentada na NBR 7211/2009, utilizou-se da série normal de peneiras e intermediária com as amostras secas. Na sequência, determinou-se o módulo de finura, a dimensão característica e o material pulverulento. O resultado adotado foi à média de três determinações.

Realizou-se a determinação da massa específica das amostras, com o uso de picnômetros, para elaboração de traços de concreto. Para tanto, usa-se o procedimento de ensaio proposto pela norma DNER – DPT – M 93-64. Determinou-se a massa unitária através do procedimento descrito na NBR NM 45:2006. O resultado adotado foi à média de três determinações.

Todos os ensaios de caracterização granulométrica foram no Laboratório de Edificações do Instituto Federal do Pará – IFPA, campus Santarém.

Outro ensaio em questão é a análise de difratometria por raios X que objetivou a identificação das fases cristalinas dos constituintes dos materiais, tais como componentes minerais dos agregados. O procedimento utilizado foi uma análise qualitativa pelo método do pó.

As análises de DRX foram utilizando o difratômetro de raios X marca Panalytical, modelo EMPYREAN, com detector X<sup>C</sup>elerator, tubo de cobre; Software para análise mineralógica qualitativa X'Pert Highscore Plus, marca PANalytical.

As amostras foram preparadas em almofariz de ágata, separadas em frascos, identificadas e posteriormente acondicionadas no amostrador do equipamento pela pressão manual com uma espátula.

No difratômetro de raios X foi utilizado o intervalo de faixa de varredura de 3 a 70° e velocidade de 1°/min. Na análise por difração foi possível determinar os compostos existentes nas amostras, pela interpretação dos diagramas de difração, também chamados de difratogramas, construídos a partir dos dados de intensidade x ângulo de difração.

Para os ensaios de reatividade potencial em barras de argamassa, faz-se o uso da ASTM C-1260/2007 para avaliar a potencialidade reativa de 5 amostras de agregados miúdos. O ensaio consistiu em preparar três barras de argamassas, sendo as dimensões adotadas de 40

mm x 40 mm x 16 mm, com relação água/cimento em 0,47 e proporção de 1:2,25 (cimento: agregado).

Após 24 horas de moldagem, as barras foram desmoldadas passando por um processo de cura de também 24 horas a uma temperatura de 80°C. Depois de curadas, estas foram retiradas uma a uma, fazendo-se a leitura do comprimento inicial e, acondicionadas em solução aquosa de NaOH a 1N, a temperatura de 80°C.

Foram realizadas medições de seus comprimentos periodicamente até atingir idade mínima de 16 dias, segundo a ASTM C-1260. Em relação ao cimento usado neste ensaio, foi utilizado o Cimento Portland Composto CP II-Z-32.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta apresentação dos resultados, estão representadas as curvas granulométricas, com as porcentagens retidas acumuladas das amostras das areias extraídas para análise, com o intuito de avaliar as características granulométricas. A Tabela 1 abaixo apresenta os módulos de finura e o diâmetro máximo (D<sub>máx</sub>) das respectivas areias extraídas para o ensaio granulométrico.

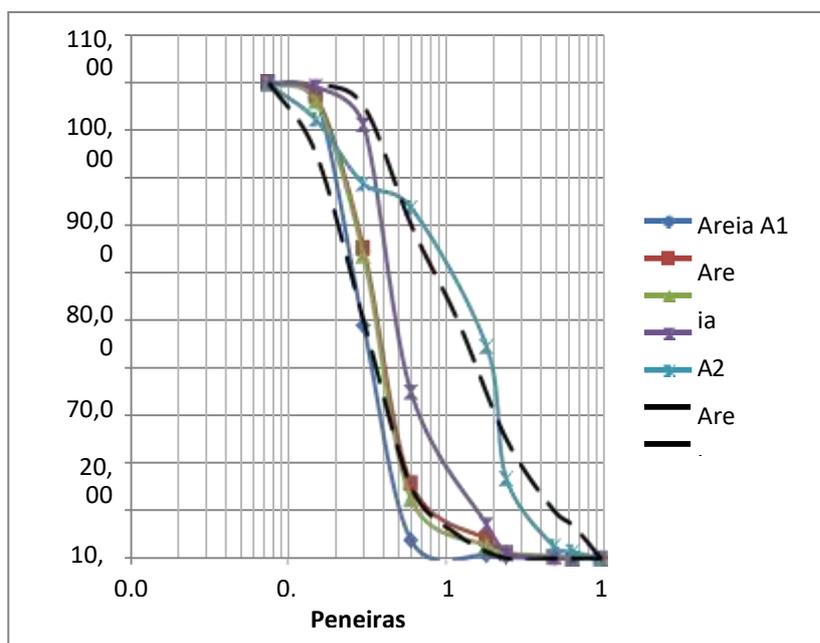
**Tabela 1** – Grandezas utilizadas na composição granulométrica.

Amostra	Módulo de Finura	D <sub>máx</sub> (mm)
A1	1,51	0,60
A2	1,83	1,18
A3	1,76	1,18
A4	2,33	2,40
A5	3,08	4,80

O Gráfico 1 simula um comparativo da distribuição granulométrica dos agregados miúdos empregados na pesquisa. É visivelmente notável a diferença no traçado das curvas. A areia A1 e A3, por exemplo, apresenta um percentual de material retido acumulado nas peneiras menos espessas (150 µm e 300 µm) maior que a areia A5.

Segundo a NBR 7211/2009, a distribuição granulométrica determinada pela NBR NM 248, deve-se atender os limites estabelecidos.

**Gráfico 1** – Limite utilizável inferior e limite utilizável superior, conforme a NBR 7211.



O Gráfico 1 representa que todas as areias utilizadas apresentaram uma distribuição granulométrica inserida entre os limites da zona utilizável, no entanto as areias A1 e A5 apresentaram pontos fora do limite inferior e superior. Em contrapartida, todas as areias utilizadas apresentaram uma distribuição granulométrica fora dos limites da zona ótima. Essas limitações têm diversas razões, as mais importantes são a sua influência na trabalhabilidade e no custo do concreto.

Desse modo, a trabalhabilidade do concreto sofre a influência direta dos limites granulométricos e das dimensões máxima dos agregados. Neste contexto, é importante a consignação desses parâmetros (SBRIGHI NETO, 2011).

A Tabela 3 apresenta alguns parâmetros físicos - dos agregados - necessários para elaboração de dosagem de argamassas e concretos, como também o teor de materiais finos.

De acordo com as normas estabelecidas e informadas na Tabela 2, observou-se que as massas específicas das areias analisadas correspondem o limite instituído por norma.

Em relação à massa unitária, também estabelecida por norma, observou-se que apenas a amostra A5 não correspondeu ao limite estabelecido, as demais cumprem com o normatizado.

Por fim, o teor de materiais finos, que corresponde à porcentagem passante na peneira 0,075 mm da série intermediária, encontrou-se dentro do limite aplicado por norma.

**Tabela 2** – Resultado dos ensaios de Massa Específica Real e Massa Unitária.

<b>Amostra</b>	<b>Massa Específica Real (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Material Pulverulento (%)</b>
Especificação	NBR-6458 // DNER-ME 195/97	NBR 7251	NBR 7220
A1	2,63	1,47	0,40
A2	2,62	1,50	0,13
A3	2,61	1,50	0,40
A4	2,61	1,58	0,20
A5	2,61	1,75	0,47
Limites	2,55 a 2,65	1,40 a 1,65	≤ 5%

Nos resultados das análises de DRX, os difratogramas das amostras das areias identificaram minerais como: quartzo e provável presença de caulinita. Nas amostras A1 e A4, identificou-se apenas a presença de quartzo. Todas as amostras apresentaram predominância do mineral quartzo. A caulinita, apresentada nos difratogramas nas regiões  $2\theta = 12,30$  e  $2\theta = 25,00$ , é um argilomineral de alumínio hidratado, para a confirmação da presença da caulinita é necessário realizar um tratamento específico para caracterização de argilominerais.

Nesse sentido, a areia é um conjunto de grãos, essencialmente de quartzo, resultado da desagregação ou decomposição das rochas em que entra a sílica (GUERRA, 1978). O quartzo é um mineral frequente na natureza e mais estável, no entanto, pode apresentar feições texturais capazes de tornar o agregado potencialmente reativo.

A potencialidade reativa do quartzo, de modo geral, pode ser correlacionada com a intencidade do ângulo de extinção ondulante e deformação na sua estrutura cristalina, embora haja exceções (POOLE, 1992; KIHARA, 1986 apud COUTO, 2008).

Os resultados dos comportamentos expansivos das barras de argamassa preparadas com os agregados em estudo demonstraram-se semelhantes.

O Gráfico 2 demonstra um comparativo das médias das expansões de cada amostra. Apesar das expansões das barras em individual exibirem diferenças no traçado, a média dessas mostrou-se similares.

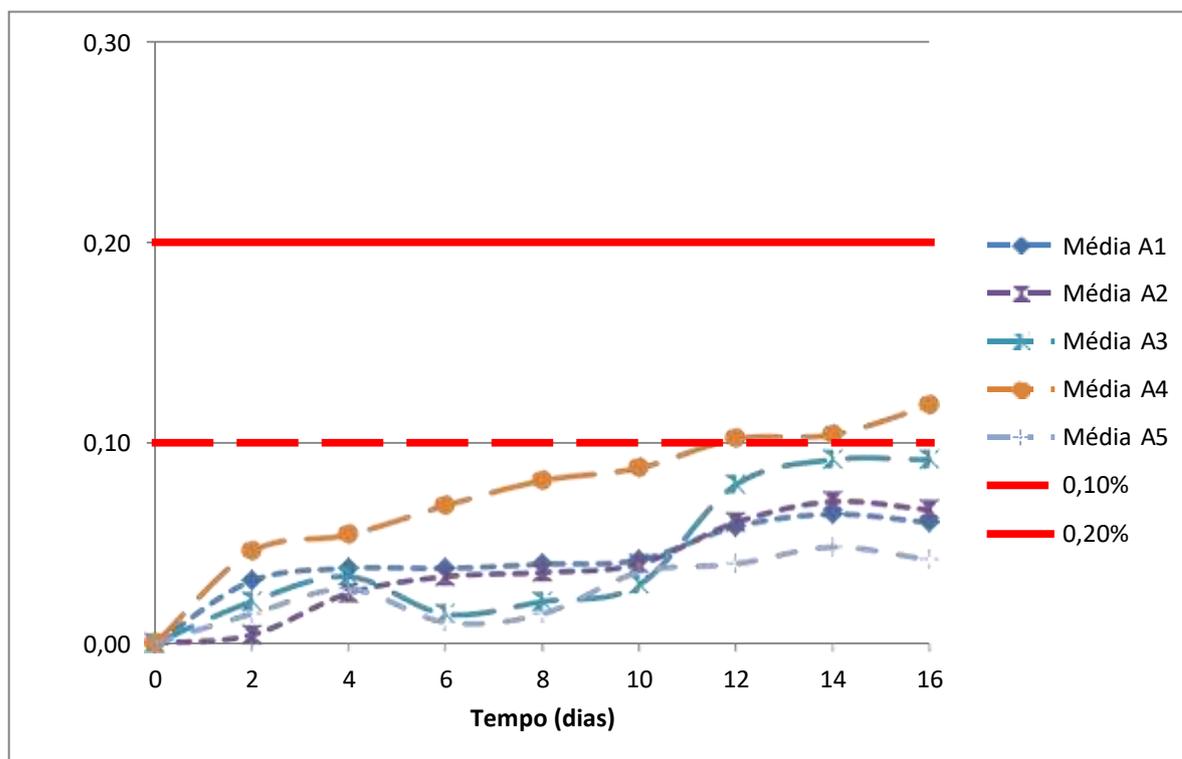
O Gráfico 2 e a Tabela 3 expressam os resultados médios dos agregados ensaiados.

Dessa forma, pode-se concluir que as amostras de areia A1, A2, A3 e A5 apresentaram comportamento potencialmente inócuo com expansões médias inferiores a 0,10%. A amostra A4, no entanto, teve expansão média de 0,12%, ou seja, expôs comportamento potencialmente reativo do agregado de acordo com os limites estabelecidos pela norma americana ASTM C-1260/2007.

**Tabela 3** – Comparativo das médias das barras.

Tempo (dias)	A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)	A4 (%)	A5 (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,03	0,00	0,02	0,05	0,01
4	0,04	0,02	0,03	0,05	0,03
6	0,04	0,03	0,01	0,07	0,01
8	0,04	0,04	0,02	0,08	0,01
10	0,04	0,04	0,03	0,09	0,04
12	0,06	0,06	0,08	0,10	0,04
14	0,06	0,07	0,09	0,10	0,05
16	0,06	0,07	0,09	0,12	0,04

**Gráfico 2** – Comparativo das médias das amostras.



## CONCLUSÃO

A referente pesquisa objetivou a caracterização do agregado miúdo da cidade de Santarém, onde foram realizadas as análises de Difração de Raios X para identificação dos minerais, bem como a investigação do potencial reativo álcali- agregado.

Para a caracterização do agregado miúdo, em relação a sua composição

granulométrica, deve-se levar em consideração o módulo de finura, diâmetro máximo e traçado da curva granulométrica. Dessa forma, pode-se concluir que as areias analisadas apresentaram traçado incluso nos limites estabelecidos pela NBR 7211/2009 de zona utilizável, porém as areias A1 e A5 apresentaram pontos fora da zona.

Observou-se, ainda, que a areia A5 foi a única que não teve a maior quantidade porcentual de material retido entre as peneiras menos espessas (150  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$ ), as demais tiveram. Já em relação aos limites de zona ótima, também estabelecida pela NBR 7211, conclui-se que todas as areias apresentaram uma distribuição granulométrica fora destes.

De acordo com os dados levantados sobre as propriedades físicas estudadas na pesquisa, onde também apresentam os limites estabelecidos por norma de cada uma dessas propriedades, observou-se que as massas específicas das areias analisadas corresponderam aos limites instituídos por norma.

Em relação à massa unitária, notou-se que apenas a amostra A5 não correspondeu ao limite estabelecido, as demais cumprem com o normatizado. Por fim, o teor de materiais finos, que corresponde à porcentagem passante na peneira 0,075 mm da série intermediária, encontrou-se dentro dos limites colocado por norma.

Como proposto no objetivo geral, foi realizada a análise por difração de raios X, a mesma foi aplicada em cada amostra de areia. Vale ressaltar que o quartzo foi o mineral identificado em todas as areias e, também, a provável presença de caulinita, entretanto, conforme citado anteriormente, ainda precisa-se de um tratamento específico para tal confirmação, pois a caulinita é um argilomineral.

De acordo com os autores citados no trabalho, não foi constatado nenhum mineral constituinte de agregado considerado potencialmente reativo pelas análises de DRX, além do quartzo. Este, segundo tais autores, pode acarretar a reação álcali- agregado, porém alguns fatores devem ser levados em consideração, como a deformação da sua estrutura cristalina.

Assim, para investigar se o quartzo apresenta estrutura deformada, é necessária a realização da análise petrográfica dos agregados miúdos apresentados nesta pesquisa.

É importante destacar ainda que a maioria dos locais de exploração de areia se encontram equidistantes de aproximadamente 3 km, sendo que, apenas o de Ponte Alta apresenta distância considerável de aproximadamente 7,5 km entre estas localidades. No entanto, as areias coletadas nesses locais apresentaram composição mineralógica semelhante.

Ademais, as expansões medidas no ensaio acelerado confirmaram o comportamento potencialmente inócuo de quatro amostras de agregado miúdo. Apenas a amostra A4 apresentou comportamento potencialmente reativo aos 16 dias de idade, caso as leituras prosseguissem além da idade estabelecida, provavelmente haveria maiores expansões. Dessa forma, o método empregado se mostrou relevante para pesquisa em questão.

## REFERÊNCIAS

American society for testing and materials. **ASTM C - 1260**: standard test method for potential alkali reactivity of aggregates – mortar-bar method. Philadelphia, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15577-1**. Reatividade álcali-agregado – parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15577-2**. Reatividade álcali-agregado – parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 6458**. Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7211**. Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7220**. Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7251**. Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 45**. Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos S/A, 1995, p.529.

COUTO, T. A. **Reação Álcali-Agregado: Estudo do Fenômeno em Rochas Silicosas**. 2008. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, **DNER-ME 093**. Solos: Determinação da Densidade Real – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

FIGUEIRA, B. **Técnicas de caracterização de materiais**. Santarém: UFOPA, 2015. 30 slides: color; 10 cm x 10cm.

GLASSER, F.P. **Chemistry of the alkali-aggregate reaction**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992, p.53.

GONÇALVES, S. P. **Gênese e Formação da areia**. Disponível em <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>>. Acesso em: 15 de abril de 2015.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 5.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

HALLIDAY, D.; KRANE, K.; RESNICK, R. **FÍSICA 4** .5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012, v.4.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3.ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

NEVES, P. H. L. **Caracterização dos agregados da região do baixo amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural**. 2015. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará Centro, Belém, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1997, p.828.

SBRIGGHI Neto, C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassa e concretos: Areia e brita**. n.12. São Paulo: PINI, 2000. p. 8-26.