CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ROCHA CALCÁRIA DE JOÃO PESSOA/PB

Geotechnical characterization of limestone from João Pessoa/PB

Nelci Rones Pereira de Sousa*
Anderson Borghetti Soares**

RESUMO – A rocha calcária é abundante no subsolo da região de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, favorecendo o uso como agregado, devido sua extração econômica e baixos custos de transporte. Entretanto, é uma rocha sedimentar, constituída de material solúvel quando exposto à presença de água. Este trabalho propõe caracterizar a rocha calcária daquela região, verificando a sua aplicação como agregado de concreto. Foram executados ensaios de densidade real dos grãos; de massa específica aparente seca; de absorção de água; testes de abrasão, de resistência à compressão simples e análise física, em situação seca e saturada; de microscopia eletrônica; de difração de raios-X; e ensaios de campo. Os resultados indicaram que ela é composta de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), com alto índice de absorção de água e baixa resistência à abrasão e à compressão simples, concluindo que o seu uso deve ser restrito a determinados tipos de construções.

SYNOPSIS – Limestone is abundant in the subsoil of the region of João Pessoa, capital of the State of Paraíba, favouring its use as aggregate, due to economic extraction and low transport costs. However, being a sedimentary rock, it is soluble when exposed to the presence of water. This paper proposes to characterize the limestone from that region, in order to assess its application as aggregate for concrete. The following tests were performed: grain real density; dry bulk density; water absorption; abrasion, compressive strength and physical analyses, in dry and saturated conditions; electron microscopy; X-ray diffraction; and field trials. The results indicated that it is composed of calcium carbonate ($CaCO_3$), with high water absorption rate and low abrasion and compressive resistance, concluding that its use should be restricted to certain types of constructions.

PALAVRAS CHAVE – Calcário, rocha, caracterização.

1 – INTRODUÇÃO

A construção civil hoje no Brasil é absolutamente dependente de rochas para seus processos construtivos, seja como agregados, como ornamentos ou como matéria prima de produtos industrializados. A dependência de produtos originários de rochas ainda deve perdurar por longo tempo, pois pesquisas que visam substituí-las por materiais alternativos estão sendo timidamente desenvolvidas. Deve-se registrar que a extração de rochas utilizadas como agregado de concreto por todo o território Brasileiro tem provocado destruição de boa parte da crosta terrestre, de acordo com Oliveira (2001).

As rochas mais utilizadas na engenharia são as graníticas, basálticas e gnaisses, que apresentam maior resistência às solicitações mecânicas e à corrosão química, conforme Sandrini e

* Engenheiro Civil, mestrando em Geotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. E-mail: rones2010@yahoo.com.br

** Professor, D.Sc. em Engenharia Civil, DEHA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. E-mail: borghetti@ufc.br

Caranassios (2007). Entretanto, por se tratar de produto de alto peso específico, o transporte dessas rochas torna-se inviável em determinadas regiões do país, onde há carência de jazidas. Em razão disso, em algumas regiões do Brasil, utilizam-se outros tipos de rochas, na maioria das vezes sem estudos detalhados que garantam se possuem características apropriadas para uso como material de construção.

O Estado da Paraíba, situado na região Nordeste do Brasil, não é pródigo em reservas de rochas com características típicas para a construção civil sobretudo na sua região leste. Por outro lado possui grandes reservas de materiais calcários, constituindo-se em um dos maiores produtores de mármores do Brasil. Segundo o Governo do Estado, a Paraíba é o segundo maior produtor de cimento do Nordeste, utilizando o calcário como matéria prima. Grandes jazidas de calcário sedimentar ocorrem na faixa litorânea do estado e viabilizam a instalação de inúmeras indústrias cimenteiras. Esta abundância facilita a sua extração, tornando-a econômica, e os baixos custos de transportes estimulam o uso em grande escala também como elemento estrutural de fundações de edificações de pequeno porte. Entretanto, a rocha calcária apresenta uma constituição básica de elementos de origem sedimentar de alta solubilidade com a presença da água, circunstância que pode lançar dúvida sobre a adequabilidade no uso como agregado de concretos para locais onde o teor de umidade é constantemente alto. Em razão disso, o seu uso como agregado de elementos de fundação deve ser investigado através da realização de ensaios de caracterização do material, visando garantir o seu uso sem contratempos nas construções em que ela for utilizada.

As rochas calcárias são carbonáticas e muito porosas, podendo gerar cavidades extremas nos maciços, devido às reações de dissolução do carbonato de cálcio pela infiltração e percolação de águas ácidas. Esta porosidade gerada pela corrosão química fragiliza consideravelmente o maciço, tornando-o menos resistente e paulatinamente mais permeável. Aliado a estes fatores, tem-se também que estas rochas são consideradas brandas na engenharia, visto que a composição carbonática se deve à presença de minerais moles, como calcitas e dolomitas (Barison, 1997). Diante disso, presume-se que tais rochas não são aconselháveis a serem utilizadas como matéria prima em estruturas de construções na engenharia, visto que não haveria capacidade de suporte. As obras civis apresentam uma grande variedade de problemas para as fundações em rocha. Casas, depósitos e outras estruturas de pequeno porte, raramente geram cargas que excedem a capacidade de carga das rochas. Mas cuidados especiais devem ser adotados, principalmente para rochas consideradas fracas (Goodman, 1989). Se a capacidade de carga da rocha é ultrapassada, pode provocar deformações significativas, particularmente quando a rocha de fundação é inerentemente fraca, como os calcários porosos, ou rochas intemperizadas, cársticas ou muito fraturadas. Assim, é importante avaliar o comportamento da rocha de fundação diante das solicitações exercidas pela obra.

As rochas calcárias são ricas em carbonato de cálcio e as águas de chuva levemente acidificadas, ao encontrar um maciço calcário fraturado, penetram pelas descontinuidades e vão, lentamente, dissolvendo a rocha, produzindo vazios que podem evoluir para grandes fendas, cavernas e canais por onde fluem águas em seus interiores. Estudos comprovam que os carbonatos de cálcio ($CaCO_3$) se dissolvem quando entram em contato com a água que contêm ácidos, provenientes de chuvas ácidas ou do dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera e da decomposição da matéria orgânica. Os ácidos presentes na água formam o ácido carbônico (H_2CO_3), conforme pode ser visto na equação 1.

$$H_2O + CO_2 \leftrightarrows H_2CO_3 \quad (1)$$

Num segundo momento, a água ácida penetrando pelas fendas do calcário ataca a rocha, produzindo o bicarbonato de cálcio $Ca(HCO_3)_2$ que é solúvel e facilmente transportado pela água (equação 2). Com a dissolução do bicarbonato de cálcio, as fendas vão-se alargando lentamente e formando as cavernas.

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \leftrightarrows Ca(HCO_3)_2 \quad (2)$$

A formação de cavernas pode gerar processos de subsidência, que correspondem a um movimento relativamente lento de afundamento de terrenos devido à deformação ou deslocamento de direção essencialmente vertical descendente, ou de colapso, que apresenta a mesma definição, porém refere-se a movimento brusco do terreno, como descrito por Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Os colapsos de terrenos são considerados os principais causadores de acidentes sérios em regiões cársticas, ocasionando mortes, até pelo desaparecimento súbito de pessoas tragadas pelo afundamento. Ambos podem causar prejuízos econômicos e mortes pelo desmoronamento total ou parcial de construções, consoante Nakazawa *et al.* (1995). Os processos de subsidência ou de colapso podem ocorrer: por processos naturais, causados principalmente pela dissolução de rochas como calcários, dolomitos, gipsita e sal; pela acomodação de camadas no substrato, devido ao seu peso ou a deslocamentos segundo planos de falhas; e pela ação antrópica, que pode modificar esse processo de dissolução, quando induz alteração das propriedades físico-químicas das águas (acidificação) e interferência na dinâmica das águas subterrâneas pelo bombeamento, conforme relatam Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998). Diversos casos de ocorrências de subsidências em regiões cársticas no Brasil e no estado da Paraíba são referenciados na literatura, em conformidade com Oliveira (2001), Oliveira (2010) e Santos (2011).

Na região escolhida neste trabalho, as rochas calcárias são muito utilizadas na forma de concreto ciclópico ou fundo de rocha argamassada, como é conhecido em algumas aplicações, que nada mais é do que a incorporação de rochas denominadas "rochas de mão" ao concreto pronto. A rocha de mão é um material de diâmetro de grãos variável (entre 10 e 40cm). A técnica construtiva das fundações superficiais é feita da seguinte forma: escavação de valas em terra (0,4m de largura por 0,5m de profundidade); lançamento das rochas na cava, sendo posteriormente quebradas com marreta até atingir aproximadamente 20cm de diâmetro; e preenchimento dos vazios com uma mistura de cimento + areia (1:8) com jatos de água para percolação por gravidade.

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar a rocha calcária existente em toda a região metropolitana da grande João Pessoa, extraída para atender a construção civil, objetivando aquilatar o seu grau de adequabilidade ao uso como agregado de concreto em fundações superficiais, como suporte para fundações e em obras geotécnicas em geral. Avaliará, com isso, a possibilidade da existência de problemas na durabilidade dessas rochas quando expostas à presença constante ou eventual de água.

Objetiva ainda verificar a adequação da rocha calcária no uso da técnica descrita para a execução de fundações superficiais - muito utilizadas em campo no estado da Paraíba - e, na ausência de estudos mais aprofundados sobre o assunto, se os imóveis construídos com este tipo de fundação não poderão ter problemas no futuro. Analisará ainda se existe a necessidade de soluções ou adaptações mais apropriadas para o uso dessas rochas calcárias nesta etapa importante das construções.

O trabalho consiste da execução de ensaios tecnológicos nas rochas calcárias de densidade real dos grãos, ensaios de massa específica aparente e seca, ensaios de absorção de água, testes de abrasão, e investigações mineralógicas, através de microscopia eletrônica (MEV) e difração de raios-X, ensaios químicos e experimentos destinados a observar a reação dos componentes calcários com a água, tais como ensaios periódicos de compressão simples e análises físicas, para observar o efeito da saturação sobre os corpos de prova durante o prazo de 270 dias. Para isto serão extraídos 28 corpos de prova, tipos testemunhos, retirados de maciços rochosos usados em minas em operação na região da Grande João Pessoa, que serão mergulhados em água para serem utilizados da seguinte forma: 4 corpos serão rompidos depois de secados à temperatura ambiente por 24 horas; em 90 dias, serão retirados da água 8 corpos de prova, sendo 4 corpos para serem rompidos após secagem em 24 horas e os outros 4 para serem rompidos após 180 dias de secagem; em 180 dias serão retirados mais 8 corpos de prova, sendo 4 para serem rompidos após 24 horas de

secagem e os outros 4 para serem rompidos após 90 dias de secagem; em 270 dias seriam retirados da água os últimos 8 corpos de prova para serem, após 24 horas de secagem ao ar livre, rompidos para avaliar a resistência; serão rompidos ainda com 270 dias os 8 corpos de prova que foram retirados da água com 90 e 180 dias e ficaram secando por 180 e 90 dias, para verificação da possível recuperação da resistência após terem sido afetados pela presença da água. Todos os corpos imediatamente antes do rompimento deverão ser medidos e pesados para análise da sua situação física em cada época. Serão ainda feitos ensaios de campo para investigação "in loco" das fundações efetuadas pelos métodos usuais ao longo do tempo, visando diagnosticar os problemas ocorridos. Pretende-se analisar fundações com idade de construção de 5, 10, 15, 20, 25 e com mais de 30 anos, implantadas em locais úmidos, com a medição da altura do lençol freático e avaliando o estado de degeneração em que se encontram.

2 – ÁREA DE ESTUDO

A jazida de rocha calcária estudada situa-se no estado da Paraíba, que pertence à região Nordeste do Brasil. A área tem abrangência na parte das folhas topográficas de Cabedelo da SUDENE (1974a) e João Pessoa, SUDENE (1974b), e está geograficamente situada entre os paralelos 6º58' a 7º14' S e meridianos 34º47' a 35º00' WGR, incorporando em seus limites áreas de quatro municípios, entre eles, João Pessoa, Bayeux, Cabedelo, Santa Rita e limitando a leste com a fronteira marítima do Oceano Atlântico. A área de estudo, mostrada na Fig. 1, localiza-se na zona litorânea do Estado da Paraíba e está inserida na zona fisiográfica da Mata Paraibana (ou Meso Região Canavieira), compondo o espaço territorial da Micro Região Homogênea da cidade de João Pessoa.

A disposição dos calcários na área metropolitana de João Pessoa apresenta estratificação sub-horizontal, não muito pronunciada, grosseira, em bancos ou então formando massas compactas, que apresentam fraturamentos e dissolução subterrânea, de acordo com Lummertz (1977). Integram a Formação Gramame e alcançam 20km de extensão no sentido de leste a oeste da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, também denominada Grupo Paraíba. Sua abrangência contempla amplamente a área de estudo, sendo base para um dos maiores pontos de extração de calcário da Paraíba. As informações sobre a geologia e tectônica do terreno da área metropolitana de João Pessoa serviram como base inicial para levantamento desta hipótese, tendo em vista as características litológicas e geotectônicas da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, onde se encontra a Formação Gramame, e sobreposta a ela, a Formação Barreiras, capeadora desta bacia.

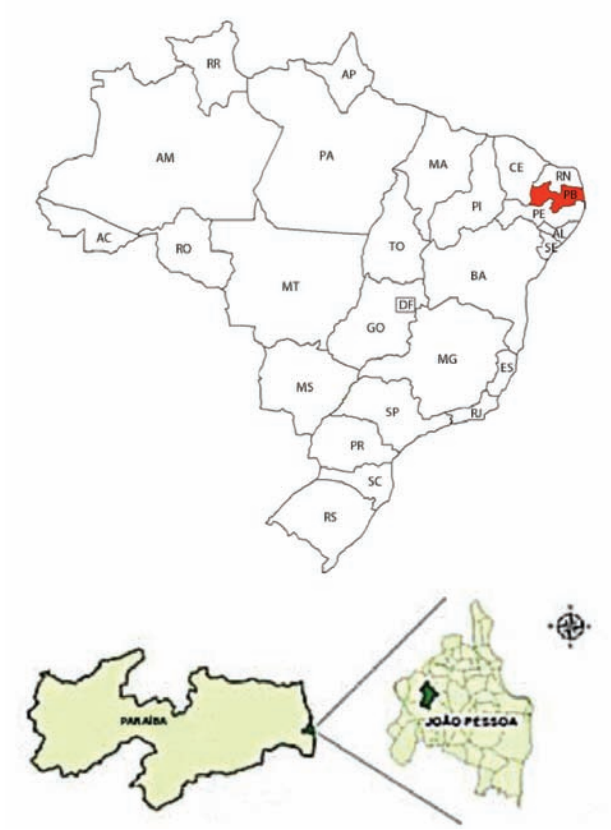

Fig. 1 – Mapa da área de estudo e localização do estado da Paraíba no Brasil (SUDENE, 1974b).

2.1 – Grupo Paraíba

A região estudada é parte integrante do compartimento da Província Costeira (Dantas *et al.*, 1982), representando a bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba (Grupo Paraíba) de Mabesoone e Alheiros (1988).

Também segundo Soares (2011), regionalmente, a área de estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, que ocupa uma extensa faixa ao longo do litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. As principais unidades geológicas presentes na região de João Pessoa são constituídas, basicamente, de sedimentos inconsolidados recentes de origem fluvial e marinha e de rochas sedimentares brandas, abrangendo os períodos geológicos Holoceno a Cretáceo (Mabesoone e Alheiros, 1988; Borges, 2004).

A Bacia Pernambuco-Paraíba (Fig. 2), segundo Santos, Ferreira e Silva Jr. (2002), representa uma sedimentação estuarina e lagunar, passando a plataformal, no intervalo entre o Santoniano e Maastrichtiano, ligada à abertura do Oceano Atlântico sul. Após a formação dessa bacia, o subsolo paraibano passou a se comportar como uma plataforma estável, havendo apenas a formação de coberturas continentais interiores e costeiras e a deposição de formações superficiais, relacionadas com eventos de denudação das cadeias pré-cambrianas.

Conforme Assis (1985), esta área encontra-se coberta por uma sequência sedimentar cenozoica, constituída por litologias do terciário, representado pelo Grupo Barreiras, e do quaternário, por aluviões e sedimentos de praia.

A sedimentação forma um ciclo onde se destacam basicamente duas fácies principais: fácies continental – arenitos com intercalações subordinadas de argilitos e folhelhos; e fácies marinha – calcários e margas (calcário com alto teor de argila), com arenitos carbonáticos e fosforitos da Formação Gramame (Projeto Radambrasil, 1981). Essa faixa sedimentar é recoberta por sedimentos do Grupo Barreiras, em discordância erosiva.

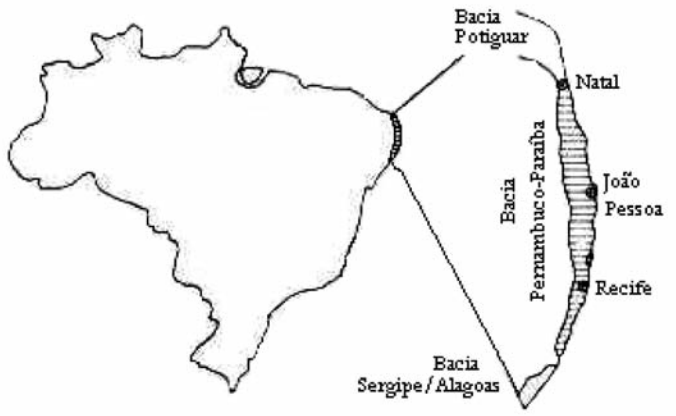

Fig. 2 – Localização da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba (Mabesoone e Alheiros, 1988).

Estudos desenvolvidos por Tuma (2004) concluíram que nas unidades litoestratigráficas mapeadas incluem-se os calcários calcíticos e dolomíticos da Formação Gramame, as intercalações de siltitos, arenitos e cascalhos do Grupo Barreiras e os sedimentos arenosos e argilosos de deposição recente. A área possui natural vocação para materiais de construção, mas a prática da atividade ilegal da mineração para extração de rochas calcárias vem contribuindo para a degradação ambiental nessa região.

A região costeira paraibana é integralmente recoberta por esses sedimentos modelados na forma de baixos planaltos (tabuleiro) e que, ao longo do litoral, constituem vertentes abruptas elaboradas por ação marinha (falésias). Ocorrem geralmente até 50-60km do litoral, recobrindo a oeste as rochas do embasamento cristalino, para depois, mais a leste, sobrepor-se às camadas da Bacia Sedimentar Paraíba. Toda a base dessa formação repousa, através de uma discordância erosiva, sobre as rochas sotopostas.

Araújo (2012) mostra que a Bacia Sedimentar Paraíba é constituída por três camadas ou unidades estratigráficas distintas em termos de litologia e/ou conteúdo fossilífero. As camadas litológicas dessa bacia têm comportamento inclinado em ângulo constante para leste, e são constituídas a partir da base por três formações geológicas denominadas de Beberibe/Itamaracá, Gramame e Maria Farinha como pode ser visto na Fig. 3. Na literatura geológica esse conjunto de formações é comumente referenciado como Grupo Paraíba.

Da mesma forma como estudado por outros autores, Tuma (2004) também levantou que a área de trabalho encontra-se inserida na província geomorfológica da Planície Costeira, e também faz parte integrante da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, caracterizadas pelas seguintes unidades litoestratigráficas: a Formação Gramame (ocupa 1% da área), que faz parte do Grupo Paraíba, do Cretáceo, representada por calcários argilosos depositados em ambiente marinho raso; o Grupo Barreiras (representa 70% da área total), do Cenozóico, constituído predominantemente por siltitos, argilitos, arenitos argilosos e cascalhos depositados em ambiente continental; e os depósitos do Quaternário (abrangem 29% da região) representados por coberturas inconsolidadas de colúvio, aluviões, areias de praia, sedimentos de mangue, bancos de areia, restingas, e a presença dos recifes alinhados à linha de costa.

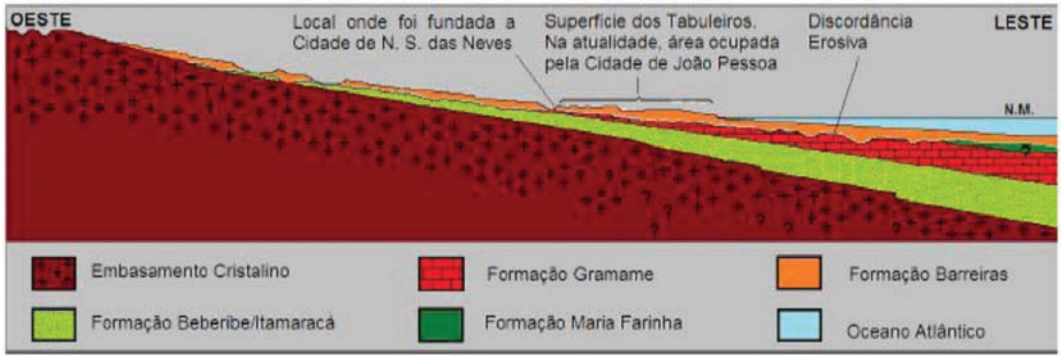

Fig. 3 – Perfil geológico hipotético Leste-Oeste da Sub-bacia Alhandra (Araújo, 2012).

2.1.1 – Formação Beberibe

A unidade litoestratigráfica basal da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba é denominada de Formação Beberibe. Essa unidade é representada por um espesso pacote de arenitos com granulação variável e com espessuras médias de 230 a 280m, e máxima de 360m (Leal e Sá, 1998).

A Formação Beberibe/Itamaracá corresponde a uma camada predominantemente constituída por arenitos, de granulação média a grossa, podendo, por vezes, ser conglomerática. Constitui a camada de base do Grupo Paraíba, repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino e tem em média espessura de camada da ordem de 250m, podendo chegar a um máximo de 360m (Leal e Sá, 1998).

2.1.2 – Formação Gramame

Superposta à Formação Beberibe, repousa, de forma concordante, a Formação Gramame. Essa unidade carbonática de ambiente marinho raso possui espessura média inferior a 55m, dos quais mais de dois terços são representados por calcários argilosos cinzentos (Leal e Sá, 1998). Esta camada foi depositada a partir da subsidência lenta do continente e consequente elevação do nível do mar no Cretáceo Superior, há aproximadamente 65 milhões de anos.

A transição dos arenitos da sequência Beberibe/Itamaracá para a formação sobreposta ocorre de forma gradativa ou interdigitada, o que indica movimentos oscilatórios em trechos da costa durante a deposição da Formação Gramame (Beurlen, 1967).

Estudos de Wanderley *et al.* (1983) confirmaram que o maior potencial para a área investigada é composto por jazimentos não metálicos, como os depósitos de calcário e fosfato, relacionados com os sedimentos costeiros e encaixados nas diversas unidades do Pré-Cambriano. Destacam-se os calcários da Formação Gramame, originados na transgressão marinha do Cretáceo, os fosfatos do norte de Alhandra/PB, com espessura média de 1m, cuja associação mineral mais comum é de fosforita, argilas e quartzo, e as argilas encontradas nas proximidades dos grandes centros urbanos.

A Formação Gramame, representada por pacote sedimentar pouco espesso, predominantemente calcário, inicia-se com arenitos calcíferos a calcarenitos, passando gradativamente para calcários e dolomitos. Seus afloramentos são importantes, mas situam-se fora da área da Bacia do Jaguaribe, aflorando ao norte de João Pessoa nas pedreiras da fábrica de cimento CIMEPAR. A denominação dessa formação foi dada por Euzébio de Oliveira em 1940, citado por Dantas (1980), para melhor definir as ocorrências de calcários margosos, assim considerados os que possuem teor de argila superior ao de carbonato de cálcio, no vale do Rio Gramame. Com espessura média de 50 metros, é composta por calcários dolomíticos arenosos, com horizontes fosfáticos, sendo bastante explorada para lavra de cimento.

A Formação Gramame tem espessura média entre 40 e 50m (Leal e Sá, 1998), podendo, às vezes, chegar a 70m (Almeida, 2000), nas áreas mais a leste. Ocorre, em média, até cerca de 20km do litoral, onde progressivamente, tende a apresentar espessuras mais delgadas, entre 2 e 4m. É essencialmente constituída por calcários, calcários margosos e margas e é bastante fossilífera. As observações feitas em afloramentos, em amostras obtidas em poços, e através de seu conteúdo fossilífero, apontam no sentido de esses sedimentos terem-se formado em ambiente de plataforma rasa, com energia entre baixa a moderada. As datações realizadas nessa rocha apontam para uma idade Maastrichtiana (Barbosa, 2007), o que corresponde a um período de cerca de 70 a 65 milhões de anos atrás.

Entre as potencialidades dos recursos naturais no espaço geográfico em estudo, foram identificados entre quatro grupos de recursos potenciais, os quais são: calcário, areia, argila e água mineral (SUDEMA, 1996), o calcário da Formação Gramame que é explorado no município de João Pessoa, utilizado diretamente na construção civil e nas indústrias de fabricação de cimento.

Segundo Santos *et al*. (2002) o calcário é uma das substâncias de maior importância para o Estado da Paraíba. Os calcários sedimentares têm sua área de ocorrência restrita à faixa litorânea, sendo representados por camadas sub-horizontais da Formação Gramame, de idade Maastrichtiana. São calcários fossilíferos de granulometria fina, coloração creme, cinza escura na superfície e apresentam intercalações margosas, ou seja, calcários com alto teor de argila.

Jaboatam (1861) faz menção ao material duro existente na base da colina - o calcário. Esta rocha constitui uma camada que se projeta por toda costa paraibana e geralmente aflora nos sopés de encostas, áreas falhadas e dissecadas.

A fase final de deposição da Formação Gramame é caracterizada pela redução da fauna de invertebrados, com tendência regressiva do nível do mar e deposição de sedimentos terrígenos. Esses fatos respondem pela existência de uma discordância no topo da Formação Gramame, na porção da bacia que ficou emersa (Barbosa, 2004). Essa discordância constituirá importante elemento no processo de acumulação de água subterrânea na camada arenítica da Formação Barreiras, unidade estratigráfica que recobre todos os sedimentos do Grupo Paraíba. Este aspeto, mais a existência dos afloramentos das rochas da Formação Gramame, na porção oeste do município de João Pessoa, local onde foi fundada a cidade, deu suporte de água potável para manutenção da população no local, e de rocha calcária para cantaria, fabricação da cal ou como pedra bruta para construção da cidade.

Através de poços perfurados sobre o tabuleiro, Araújo (2012) observou que o calcário constitui um estrato de comportamento aproximadamente uniforme na base e na capa da camada, com espessura entre 40 e 50m. Nos perfis com disposição transversal, que são aqueles com posicionamento aproximado leste oeste, as bandas da camada do calcário posicionada mais para ocidente, ou seja, mais próxima ao Rio Sanhauá, têm capa em posição topográfica mais baixa que seu equivalente sob o tabuleiro. Por outro lado, também, apresentam menor espessura, evidenciando desgaste por ação erosiva na capa.

Segundo Tuma (2004), a litologia da Formação Gramame está representada por rochas carbonáticas, com predominância de rocha calcária, e aparecimento secundário de rocha dolomítica. Estas rochas são importantes matérias primas para a indústria cimenteira, e também são usadas na construção civil como agregados para concreto. A exploração destas rochas concentra-se nas áreas urbanas por empresas clandestinas que operam utilizando explosivos sem os cuidados técnicos exigidos ocasionando incômodos de natureza visual e psicológica às habitações circunvizinhas decorrentes das detonações sem monitoramento que resultam em vibrações, ruídos e ultralançamentos.

2.1.3 – Formação Maria Farinha

A Formação Maria Farinha representa a continuação da sequência calcária da Formação Gramame, sendo diferenciada apenas pelo seu conteúdo fossilífero, que é considerada de idade paleocênica/eocênica inferior (Mabesoone, 1994). Apresenta espessura máxima de 35m, provavelmente erodida em parte pela exposição subaérea anterior à deposição dos sedimentos continentais da Formação Barreiras (Leal e Sá, 1998).

A Formação Maria Farinha – também famosa por suas pedreiras de calcário – apresenta espessuras reduzidas, constituídas por bancos de calcário detrítico, cinzentos e cremes, com intercalações de marga e argilitos cinzentos; como a Formação Gramame, está sobreposta à Formação Beberibe, já descrita anteriormente, e sotoposta ao Grupo Barreiras. Encontra-se ausente na área sob estudo, embora os seus afloramentos sejam frequentes a partir da praia de Jacumã, Município do Conde que faz parte da grande João Pessoa, até a praia de Graú. Trata-se de uma formação que apresenta uma sequência de calcários detríticos pouco espessos, descontínuos e argilosos, cuja denominação, segundo Dantas (1980) e Maciel (1980), foi utilizada inicialmente por Euzébio de Oliveira em 1940 para caracterizar o calcário fossilífero que ocorre ao norte de Recife. Sua espessura máxima fica em torno de 30m, provavelmente devido ao truncamento da sequência pela erosão prebarreiras.

O calcário da Formação Maria Farinha corresponde à última unidade litoestratigráfica da Bacia Sedimentar Paraíba. Constitui continuidade deposicional da Formação Gramame, diferenciando-se em termos de seu conteúdo fossilífero e por apresentar maior concentração em magnésio - calcário dolomítico. Trata-se de sequência de caráter regressivo e de idade Paleocena (Mabesoone, 1967), o que representa um período deposicional entre 65 e 55 milhões de anos atrás. Sua ocorrência é restrita às sub-bacias Alhandra e Olinda. Na Paraíba, aflora apenas no litoral sul, mais precisamente, no município do Conde, entre as praias do Amor e de Tambaba, conferindo a esse trecho do litoral paraibano características morfológicas diferenciadas das outras praias paraibanas (Furrier, 2007).

2.1.4 – Formação Barreiras

A Formação Barreiras, ao longo da costa brasileira, constitui a unidade geológica mais contínua e representativa existente entre os Estados do Amapá e do Rio de Janeiro. Ela é basicamente constituída por sedimentos de origem continental, oriundos da ação do intemperismo e de ciclos denudacionais ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico, momento em que as bacias hidrográficas existentes foram reconfiguradas e rebaixadas com relação a esse novo nível de base regional (Mabesoone e Castro, 1975). No estado da Paraíba, este embasamento é composto pelas rochas cristalinas do Planalto da Borborema. Gopinath *et al.* (1993), em análises sedimentológicas realizadas na Formação Barreiras, no estado da Paraíba, constataram que as fontes dos sedimentos seriam granitos, gnaisses e xistos, que são litologias predominantemente do Planalto da Borborema.

A constituição dessa formação é essencialmente detrítica e pouco litificada. Geralmente é formada por material arenoargiloso, intercalado por níveis argilossiltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos, em acamamento mal definido. As alternâncias verticais e laterais são marcantes, podendo faltar horizontes a curta distância. Nas falésias, onde estão os afloramentos mais abrangentes dessa formação, níveis diferenciados se interpenetram, formando, em associação com a diversidade de cores, um aspeto mosqueado, que oscila em tons que vão do branco ao marrom. Essa diversidade de cores e texturas está relacionada ao material genético e aos processos intempéricos e pedológicos ocorridos sobre esses sedimentos (Araújo, 2012).

O Grupo Barreiras constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (Arai, 2006), de idade miocênica a pleistocênica inferior (Suguio e Nogueira, 1999; Vilas Boas *et al*., 2001). O Grupo Barreiras, por ser praticamente destituído de vestígios fósseis, possui previsão do tempo de origem dificultada (datação). Em todo caso, em que se pesem as dúvidas sobre a origem do referido grupo, considera-se que, pelo menos a última grande mobilização de seus sedimentos, parece ser mais recente que o Mioceno. Para endossar a evidência, encontram-se repousando sobre os depósitos marinhos cretácicos do Recôncavo Baiano (Vilas Boas, 1996), bem como em Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Pará, Maranhão e Rio Grande do Norte.

A espessura da Formação Barreiras no Estado da Paraíba pode chegar a cerca de 80m (Leal e Sá, 1998). No município de João Pessoa a espessura média é da ordem de 40m, podendo alcançar um máximo de 50m, em algumas áreas da porção centro-sul da atual cidade. As menores espessuras ocorrem na porção oeste e norte do sítio inicial da cidade, onde chega a ter largura entre 20 e 30m. Afora essas médias, que foram feitas com referência aos topos dos tabuleiros, apenas nos vales fluviais ocorrem espessuras menores ou inexiste essa formação, aflorando o calcário sotoposto de Formação Gramame. É o caso, por exemplo, da porção oeste do município de João Pessoa, local onde foi iniciada a cidade de Nossa Senhora das Neves (Fig. 3).

2.2 – Terrenos cársticos

Conforme Oliveira (2001), o município de João Pessoa possui formas de relevo que se diferenciam pelas evidências de morfologia resultante de subsidência por efeito cárstico. Com base em análise de fotografias aéreas e cartas planialtimétricas, foi possível identificar setores com evidências dessas morfologias, originadas por abatimento do calcário em subsuperfície. Tais características podem estar relacionadas a movimentos tectônicos cujas falhas resultantes alteraram a morfologia dos calcários logo abaixo da superfície. Em função dessas alterações, os sedimentos da Formação Barreiras sofreram subsidência local ocasionada pela dissolução química dos calcários impulsionada por uma maior percolação da água nos planos de falhas do calcário.

Do ponto de vista ambiental, os terrenos cársticos, pela franca e rápida drenagem com que podem propiciar a comunicação entre águas superficiais e águas subterrâneas, obrigam um redobrado cuidado para que se evite a contaminação do lençol freático por poluentes urbanos, industriais ou rurais de superfície.

Estas informações apontam para um caminho que nutre a necessidade de outros estudos ainda mais aprofundados, destacando a importância deste fato para o planejamento territorial e urbano da cidade de João Pessoa, que tem grande parte de sua área assentada sobre a Formação Barreiras sobreposta aos calcários intensamente falhados da Formação Gramame.

2.3 – Lençol freático

De uma maneira geral, o lençol freático na região de João Pessoa acompanha a topografia da superfície, mas de forma bem menos irregular do que esta (Gilluly *et al.*, 1968). Assim faixas de transição entre as unidades foram definidas pela proximidade das curvas de nível, ou seja, nos locais onde as curvas são mais próximas, o que indica maior inclinação, a faixa de transição foi considerada menor ou nula e nos locais onde as curvas são mais espaçadas foi definida uma faixa maior de transição.

Os solos existentes sobre tabuleiros, por se terem desenvolvido nos sedimentos arenosos da Formação Barreiras e em ambiente de clima quente e úmido, que potencializa a dissolução dos minerais mais vulneráveis, tendem a concentrar superficialmente níveis arenosos.

Em relação a profundidade do lençol freático, cerca de 70% das áreas do município possuem profundidades superiores a 15m, caracterizando áreas favoráveis a ocupação urbana.

Admite-se, também, que o principal sistema de aquífero na área de trabalho corresponde às rochas clásticas do Grupo Barreiras. A espessura média deste sistema de aquífero é de 42m.

O aquífero Gramame, referente aos calcários, produz quantidade reduzida de água subterrânea e de qualidade química medíocre. Sua alimentação se faz verticalmente: ascendente, quando proveniente do aquífero Beberibe e descendente, a partir do Barreiras ou dos sedimentos quaternários. As possibilidades de uma circulação cárstica existem nos calcários puros, mas a permeabilidade média é sempre baixa, uma vez que as camadas margosas são predominantes.

3 – CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA DA FORMAÇÃO GRAMAME

Na literatura podem ser encontrados alguns trabalhos de caracterização física e mineralógica da rocha calcária no Brasil, realizados por Silva (2006) e Dantas *et al.* (2011). Mas não existem trabalhos direcionados especificamente para os calcários originários da Formação Gramame, presentes na região leste da Paraíba.

A caracterização é uma etapa importante, pois permite identificar propriedades e aplicabilidade nos diferentes usos. Dantas *et al.* (2011) efetuaram a caracterização da rocha calcária, coletada na região de Touros/RN, e esta apresentou mais de 95% de óxido de cálcio. Silva (2006) caracterizou a rocha calcária, para o programa de fomento ao segmento de produção de calcário no Estado do Paraná, através de amostras representativas das rochas carbonáticas exploradas naquele Estado. A rocha é classificada como rocha calcária sedimentar, homogênea, de cor cinza-escura, sem estrutura aparente e baixa porosidade (maciça). Apresenta como principais características a cor, granulometria muito fina (<0,1mm), constituída essencialmente por carbonato de cálcio. Os valores de sílica e alumina permitem aventar a existência de quartzo e, provavelmente, feldspato ou epídoto. Tem estrutura maciça. Em seu estado microfissural possui importantes fraturamentos que se encontram preenchidos por calcita, consequência de processos de remobilização de carbonato de cálcio. A rocha calcária apresentou massa específica real de 2,7t/m³, índice de absorção de água de 0,14% e perda de massa (abrasão Los Angeles) de 16,4%.

A caracterização da rocha calcária da formação Gramame englobou ensaios de laboratório para a determinação da massa específica (seca, saturada e aparente), testes de abrasão, ensaios de absorção de água, ensaios de compressão simples e análises físicas das dimensões e massa dos corpos de prova, com diversos tempos de secagem e saturação, além de ensaios de difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostras foram coletadas de fundações superficiais de obras de pequeno porte do município de João Pessoa, executadas em diferentes tempos, com a abertura de furos a trado no lado das fundações e raspagem da parte superficial. Um total de 43 amostras foram coletadas em 7 pontos diferentes, cujas localizações estão apresentadas na Fig. 4. Devido ao longo tempo em que foram construídas, boa parte das casas foi trocada de proprietários e não estão mais na posse das pessoas que as construíram, dificultando assim a localização da origem das jazidas onde foram adquiridas as rochas usadas nas suas fundações. Em 29 dos pontos visitados, cujas casas ainda são resididas pelos construtores, pode-se constatar que elas são de jazidas de João Pessoa, extraídas da Formação Gramame. Para as demais, em número de 14 fundações analisadas, tendo em vista que o uso da rocha calcária é um substituto de outras rochas inexistentes na região, não existe sentido achar que essas rochas não sejam também oriundas da Formação Gramame.

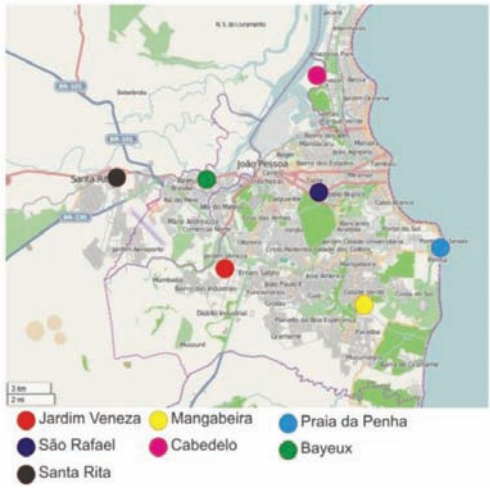

Fig. 4 – Locação das sondagens realizadas.

3.1 – Ensaios para determinação de massa específica

Para os ensaios para a determinação da massa específica real e aparente dos grãos e de absorção de água foram utilizadas 3 amostras de rocha calcária, que foram quebradas em fragmentos, com diâmetro médio de 5mm, a fim de se adequar à norma NBR NM 53/03 (2003) para tais ensaios. Os resultados destes ensaios são apresentados no Quadro 1. De acordo com Oliveira (2012), os resultados dos ensaios de caracterização da massa específica permitem classificar a rocha calcária como um "material pesado", pois possui densidade superior a 2,00g/cm³. Silva (2006) obteve um valor 2,7g/cm³ de massa específica. Para outros tipos de rochas os valores de massa específica citados na literatura são (ρ_s) de 2,25 a 2,9g/cm³ (Serra Junior e Ojima, 1998; Lima, 2006), massa específica saturada (ρ_w) varia de 1,9 a 2,75g/cm³ (Altoé, 2013; Barbosa, 2008) e massa específica aparente (ρ_a) varia de 2,01 a 2,57g/cm³ (Pinho, 2003). Os resultados de massa específica obtidos para a rocha calcária do presente trabalho foram similares aos descritos na literatura e indicaram ainda que a rocha calcária possui densidades similares a outros tipos de rochas usadas como materiais de construção no Brasil (gnaisses, granitos, basaltos, dioritos, etc.).

3.2 – Ensaio de absorção de água

Quanto aos ensaios de absorção de água, a literatura relata dados obtidos para rochas ornamentais, de revestimento e agregados. A maioria destes ensaios é feita após a lapidação da rocha (lixamento e alisamento), operações estas que podem vedar os poros da superfície. Para o caso da rocha calcária, Silva (2006) realizou teste de absorção de água em jazidas de calcário calcítico do estado do Paraná, situado na região Sul do Brasil, e encontrou valores de 0,14%, bem abaixo dos valores encontrados no presente trabalho descritos no Quadro 1. Dados de ensaios de absorção obtidos para outras rochas indicaram absorção de água entre 0,13% e 1,45%, conforme trabalhos de Vieira *et al.* (2008), Barbosa (2008), Sandrini e Caranassios (2007), Pinho (2003), Altoé (2013) e Barison (1997).

Quadro 1 – Ensaio de massa específica seca (ρ_s), massa específica saturada (ρ_w), massa específica aparente (ρ_a) e absorção de água.

Ensaios	ρ_s(g/cm³)	ρ_w(g/cm³)	ρ_a(g/cm³)	Absorção (%)
Amostra 1	2,47	2,38	2,31	3,00
Amostra 2	2,54	2,27	2,27	5,00
Amostra 3	2,49	2,34	2,24	4,00
Média	2,50	2,33	2,27	4,00

3.3 – Ensaio de abrasão de "Los Angeles"

Os resultados do ensaio de abrasão de "Los Angeles" (NBR 6465/84, 1984; DNER ME-035/98, 1998) indicaram um valor de 49,68%, valor este próximo do limite máximo estabelecido pela norma NBR 7211/09 (2009), que é de 50%. Este valor de abrasão é superior aos relatados na literatura, de 16,4% para a rocha calcária (Silva, 2006) e entre 19,8% a 44,2% para demais tipos de rocha (Bessa *et al.*, 2011).

3.4 – Ensaios de compressão simples e análises físicas

Os ensaios de compressão simples e respetivas análises físicas (medições e pesagem) foram realizados com o objetivo de verificar a variação da resistência da rocha calcária em diversos tempos de saturação e secagem. A obtenção dos testemunhos (corpos de prova) foi feita em blocos de rocha de até 0,5m de diâmetro (Figs. 5, 6 e 7) e obedeceram a critérios estabelecidos pela norma NBR NM 7680/07 (2007). Um total de 28 corpos de prova foi obtido, sendo utilizados em 7 ensaios, com quatro repetições.

Os testemunhos foram posteriormente conduzidos a uma máquina de serrar pedras, para aparar as pontas e obter uma altura de 125mm, dentro dos limites estabelecidos pela norma citada (Fig. 8).

Com a finalidade de observar o efeito do tempo de saturação sobre a resistência e o fenômeno de dissolução da rocha calcária, foram feitos 7 ensaios com diferentes tempos de secagem e umedecimento, com quatro repetições por ensaio (total de 28 corpos de prova). O tempo máximo de saturação foi de 270 dias. Todos os corpos de prova foram inicialmente mergulhados em água. Foram rompidos a cada 3 meses nos seguintes intervalos: 0, 3, 6 e 9 meses. Os resultados de resistência à compressão simples nos 28 corpos de prova, juntamente com as dimensões iniciais, as dimensões finais, pesagem dos corpos de prova, tempos de secagem e tempos de umedecimento são apresentados no Quadro 2.

Fig. 5 – Jazida do Bairro do Roger.

Fig. 6 – Máquina de extração de testemunhos.

Fig. 7 – Blocos de rocha para extração dos testemunhos.

Fig. 8 – Corpos de prova com dimensões de acordo com a NBR NM 7680/07 (2007).

Os ensaios 1e, 2e, 4e, foram rompidos com tempos de saturação de 0, 3 e 6 meses, respetivamente, com tempo de secagem igual a zero. Os ensaios 6e e 7e foram rompidos com tempo de saturação de 9 meses e tempo de secagem igual a zero (desprezando as 24 horas de secagem antes do rompimento). O ensaio 3e foi rompido com o mesmo tempo de saturação do ensaio 2e (3 meses), mas com um tempo de secagem de 6 meses. O ensaio 5e foi rompido com o mesmo tempo de saturação do ensaio 4e (6 meses), mas com um tempo de secagem de 3 meses.

A média dos resultados de cada ensaio, com as respetivas resistências médias pode ser visto no Quadro 3. A análise efetuada pela média dos resultados de cada ensaio mostrou que houve uma disparidade nos valores de resistência dos corpos de prova de um mesmo ensaio. Por exemplo, no ensaio 1e, o corpo de prova nº 4, rompeu com 13,70MPa, valor este abaixo da média da resistência dos outros 3 corpos de prova (nº 1, 2 e 3) que foi de 17,68MPa, que reduziu a resistência média total do ensaio, sendo observado comportamento semelhante nos demais ensaios. Estas discrepâncias podem ter ocorrido devido aos diferentes ângulos de clivagem e estado de sanidade da rocha dos corpos de prova. Como resultado, os valores de resistência à compressão simples variaram entre 11 e 31MPa, dificultando uma conclusão sobre a capacidade da rocha de resistir a esforços externos em todas as situações experimentadas. A resistência média à compressão simples obtida no conjunto de corpos de provas foi de 17,88MPa (Fig. 9). A resistência média à compressão simples dos corpos secos sem saturação foi de 16,69MPa (Fig. 10), considerada baixa pela influência do corpo de prova nº 4 que teve resultado atípico. A resistência média à compressão simples dos corpos de prova saturados foi 18,32MPa (Fig. 11) e dos corpos que passaram por estágios de saturação e secagem foi de 19,57MPa (Fig. 12). Em todos os casos observa-se que não houve aumentos ou decréscimos consideráveis de resistência com a variação do tempo de saturação ou de secagem.

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de compressão simples e de análise física.

Ensaio	Nº	Medidas iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
		Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)	Mergulho	Retirada	Rompimento	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (g)	
1e	1	102,5	124,0	2339,3	26/02	27/02	28/02	102,5	124,0	2339,3	18,42
	2	101,2	123,5	2372,3	26/02	27/02	28/02	101,2	123,5	2372,3	16,16
	3	101,7	124,0	2396,1	26/02	27/02	28/02	101,7	124,0	2396,1	18,47
	4	101,1	126,0	2388,4	26/02	27/02	28/02	101,1	126,0	2388,4	13,70
2e	5	102,2	125,0	2455,7	26/02	29/05	30/05	101,7	124,4	2460,1	17,07
	6	102,3	122,5	2306,4	26/02	29/05	30/05	101,2	121,5	2311,3	11,44
	7	102,2	127,0	2400,7	26/02	29/05	30/05	101,2	126,6	2404	20,48
	8	102,2	124,0	2392,0	26/02	29/05	30/05	101,3	123,4	2401,3	11,95
3e	9	102.2	124,0	2383,1	26/02	29/05	28/11	101,1	123,8	2287,8	21,94
	10	102,2	125,4	2412,3	26/02	29/05	28/11	101,2	125,2	2317,7	19,02
	111	102,6	125,8	2397,2	26/02	29/05	28/11	101,4	125,4	2307,5	15,72
	12	102,6	125,0	2396,9	26/02	29/05	28/11	101,0	124,2	2297,3	24,43
4e	13	102,2	124,0	2401,8	26/02	28/08	29/08	100,9	123,0	2406,5	31,21
	14	101,5	125,0	2354,4	26/02	28/08	29/08	100,7	123,3	2369,9	16,56
	15	101,9	126,0	2382,9	26/02	28/08	29/08	101,1	122,5	2384,4	12,75
	16	101,9	122,0	2283,4	26/02	28/08	29/08	101,2	120,2	2306,2	19,37
5e	17	101,9	126,0	2273,2	26/02	28/08	28/11	101,1	125,3	2122,2	18,58
	18	101,9	125,0	2370,7	26/02	28/08	28/11	101,2	124,1	2269,2	21,83
	19	101,9	124,8	2394,1	26/02	28/08	28/11	100,5	124,4	2298,8	23,79
	20	101,9	125,0	2420,9	26/02	28/08	28/11	101,2	124,8	2332,9	22,81
6e	21	101,9	127,0	2383,7	26/02	27/11	28/11	101,2	125,0	2343,1	15,70
	22	101,9	126,0	2376,2	26/02	27/11	28/11	101,0	124,0	2392,8	24,16
	23	101,9	126,0	2369,1	26/02	27/11	28/11	100,7	124,4	2384	15,94
	24	101,9	125,0	2397,2	26/02	27/11	28/11	101,1	124,4	2403,9	12,39
7e	25	101,2	125,0	2364,6	26/02	27/11	28/11	100,3	124,8	2379	11,19
	26	102,2	127,0	2281,3	26/02	27/11	28/11	100,8	125,5	2303	12,13
	27	101,9	127,0	2384,6	26/02	27/11	28/11	101,3	124,8	2401,2	17,78
	28	101,5	126,0	2400,9	26/02	27/11	28/11	101,1	124,9	2406,1	15,70

RC – Resistência à compressão simples.

Quadro 3 – Resumo dos resultados médios por tempo de saturação.

Ensaio	Data do ensaio	Tempo de saturação (meses)	Tempo de secagem (meses)	Resultado (MPa)
1e	28/02	0	0	16,69
2e	30/05	3	0	15,23
3e	28/11	3	6	20,28
4e	28/08	6	0	19,97
5e	28/11	6	3	21,75
6e	28/11	9	0	17,04
7e	28/11	9	0	14,20

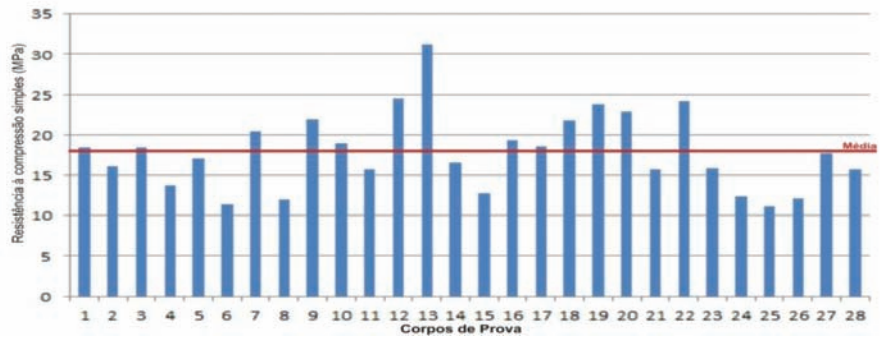

Fig. 9 – Resistência à compressão simples de todos os corpos de prova ensaiados.

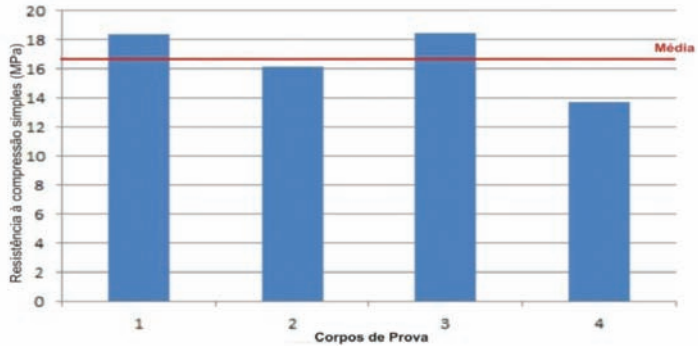

Fig. 10 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova secos sem saturação.

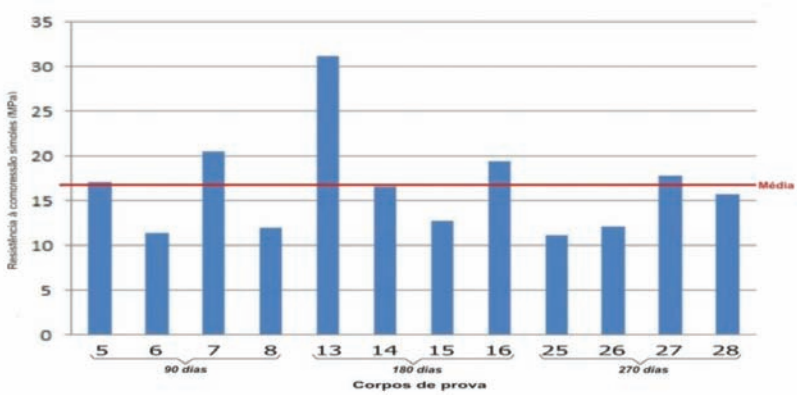

Fig. 11 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova saturados.

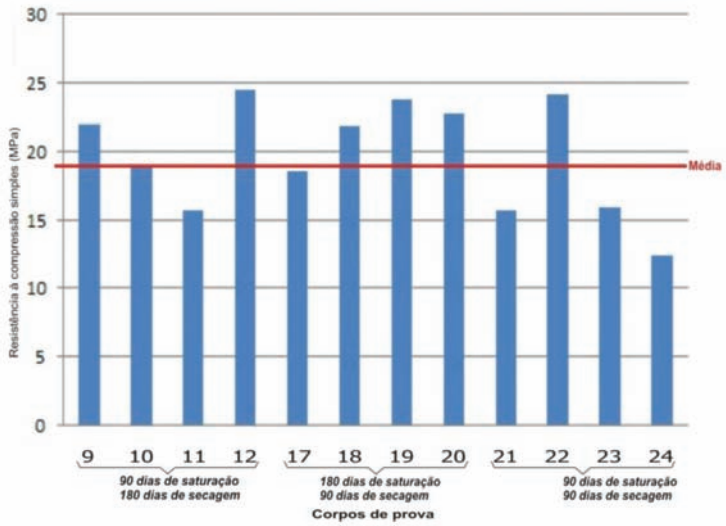

Fig. 12 – Resistência à compressão simples dos corpos de prova saturados e secos.

Mais importante que os resultados de resistência à compressão foi verificar na análise física o desgaste dos corpos de prova com o tempo, através da medição das dimensões e pesagem antes do rompimento na prensa de compressão. Ficou patente a redução no diâmetro e altura dos corpos de prova (Figs. 13 e 14), no peso (Fig. 15), indicando o desgaste da rocha calcária quando em contato com a água, mesmo tendo sido submetidos a tempos relativamente curtos de saturação. Análises visuais ainda indicaram que os corpos de prova submetidos a tempo de saturação igual ou superior a 3 meses (dos ensaios 2e, 3e, 4e, 5e, 6e e 7e) apresentaram a formação de um líquido viscoso esbranquiçado e as faces dos corpos de prova ficaram com textura porosa e abrasiva após a lavagem em água corrente, antes de serem levados ao rompimento.

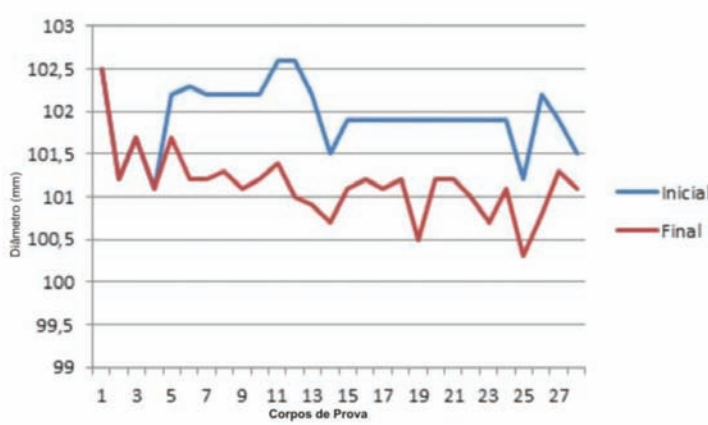

Fig. 13 – Diâmetro dos corpos de prova antes da saturação (inicial) e na data do ensaio (final).

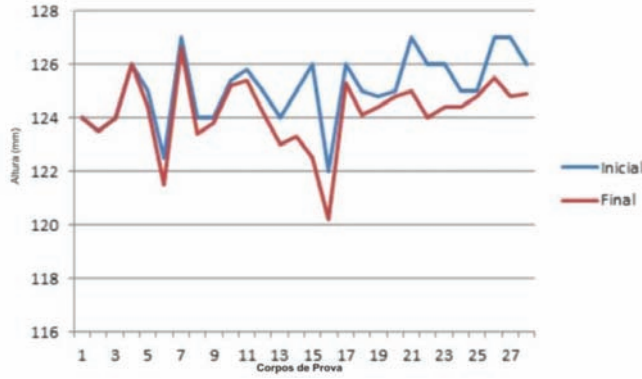

Fig. 14 – Altura dos corpos de prova antes da saturação (inicial) e na data do ensaio (final).

Fig. 15 – Massa dos corpos de prova antes da saturação (inicial) e na data do ensaio (final).

3.5 – Análise de microscopia eletrônica

A amostra de calcário retirada da jazida da Pedreira do Galego, localizada no Bairro do Roger em João Pessoa – PB, foi submetida ao ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), pelo laboratório do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Foram analisados 3 pontos distintos da amostra, que permitiu identificar a composição da rocha (Quadro 4). Apresenta-se abaixo apenas o resultado do percentual de composição do elemento na constituição do material, já incorporada a presença do oxigênio, por constituir na única informação necessária à análise do material. Os resultados indicaram que a amostra apresentou uma grande quantidade de óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO_2), representando quase 90% da composição da amostra, que formam o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), o principal elemento das rochas calcárias.

Quadro 4 – Resultados do MEV pelo percentual de composição para amostras coletadas na jazida do Galego.

Elemento	Fórmula	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Dióxido de carbono	CO_2	40,186	32,586	48,420	40,397
Óxido de magnésio	MgO	1,337	2,714	0,760	1,604
Óxido de alumínio	Al_2O_3	1,821	2,639	0,910	1,790
Dióxido de silício (Silicato)	SiO_2	3,744	5,635	1,902	3,760
Pentóxido de fósforo	P_2O_5	0,000	4,495	0,000	4,495
Óxido sulfúrico	SO_3	1,294	1,835	1,220	1,450
Óxido de potássio	K_2O	0,621	0,911	0,000	0,766
Óxido de cálcio (Cal)	CaO	50,996	49,185	46,790	48,991
Total		**100**	**100**	**100**	**100**

Foram realizados ensaios de microscopia eletrônica de varredura no Laboratório do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba em cinco amostras coletadas nos ensaios de campo de fundações superficiais já executadas, com diferentes tempos, cujos resultados são apresentados no Quadro 5. O equipamento utilizado nestes ensaios não deteta gases como oxigênio e dióxido de carbono e, por este motivo, apresentam-se os resultados do peso de cada elemento individualmente, desconsiderando as suas ligações com esses gases.

Através da análise dos resultados obtidos, considerando que o dióxido de carbono (CO_2), não é detetado no aparelho, mas que ele está presente em ligações com os elementos detetados na rocha, verifica-se que os materiais das fundações superficiais são de uma rocha calcária com maior quantidade de carbonato de sódio ($NaCO_3$) na amostra 5 (cerca de 40%) e carbonato de cálcio nas demais amostras (40 a 76 %).

Conforme verificado na literatura, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) é um mineral inorgânico quimicamente inerte com características alcalinas, sendo bastante abundante e importante no ciclo do carbono. No processo de carbonatação natural, o $CaCO_3$ é o mineral que mais imobiliza o CO_2 lançado na atmosfera. Este mineral é tido como o responsável por manter constante o pH das águas naturais. A combinação do carbonato de cálcio com águas acidificadas pelo próprio CO_2 produz a combinação que gera o bicarbonato de cálcio, responsável direto pela existência de dissoluções da rocha calcária.

À luz dos resultados químicos para essas amostras extraídas das fundações, verificou-se que não houve alteração considerável no estado das rochas, que mantiveram a sua composição original. Nas sondagens para extração de amostras das fundações antigas, foram feitos exames táteis e visuais no material encontrado e também não se percebeu qualquer mudança significativa na rocha que merecesse cuidados especiais.

Quadro 5 – Resultados de MEV das amostras colhidas de fundações superficiais executadas.

Elemento	Símbolo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Sódio	Na	0,406	2,734	4,762	1,986	39,418
Magnésio	Mg	3,652	3,606	3,208	9,464	4,204
Alumínio	Al	1,338	1,844	2,084	2,526	4,204
Silício	Si	10,966	6,356	14,154	12,762	17,400
Fósforo	P	1,182	2,980	3,074	2,300	11,986
Enxofre	S	2,448	2,668	7,436	4,528	11,326
Potássio	K	2,448	1,392	1,074	2,496	4,244
Cálcio	Ca	40,592	76,154	59,554	59,578	3,602
Ferro	Fe	36,970	2,200	4,654	4,362	3,780
Total		**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

3.6 – Análise de difração de raios-X

Ensaios realizados por difração de raios-X em amostras retiradas na jazida do Galego, cujos resultados são apresentados no Quadro 6, indicaram uma presença de 85% de óxido de cálcio (CaO), que, ao interagir com o dióxido de carbono (CO_2), não detetado no ensaio, forma o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), bastante similar aos resultados obtidos na microscopia eletrônica de varredura.

Quadro 6 – Resultado da difração de raios-X na amostra da jazida do Galego.

Elemento	Fórmula	Massa (mg)	Composição (%)
Óxido de alumínio	Al_2O_3	113	1,5953
Dióxido de silício (silicato)	SiO_2	114	5,7798
Pentóxido de fósforo	P_2O_5	115	0,5799
Trióxido de enxofre	SO_3	116	0,5452
Cloro	Cl	17	0,0185
Óxido de potássio	K_2O	119	1,2902
Óxido de cálcio (cal)	CaO	120	85,589
Óxido de manganês	MnO	125	0,1212
Óxido de ferro	Fe_2O_3	126	4,2007
Óxido de estrôncio	SrO	138	0,1104
Óxido de cádmio	CdO	148	0,1701

4 – CONCLUSÕES

Como era proposta deste trabalho foi feita a avaliação do calcário tanto como material extraído, industrializado ou não, para uso como agregado na construção civil e como material consolidado integrante do subsolo que serve de fornecedor de matéria prima para a Construção Civil e como suporte para fundações.

Em relação ao uso de materiais calcários como agregado da construção civil, que constituiu principal objetivo deste trabalho, os ensaios físicos, químicos e de campo desenvolvidos mostraram que a rocha calcária tem uma caracterização de massa específica compatível com as demais rochas, porém com alto índice de absorção de água, bem superior às demais rochas usadas na construção civil. Mostrou ainda que se trata de rocha de baixa resistência à abrasão e à compressão simples. Não foram constatados maiores problemas nas análises de fundações já realizadas com o material, mas os ensaios químicos mostraram a forte tendência da rocha, que é usada maciçamente em pequenas construções, à dissolução na presença de meio aquoso.

A par do que a literatura fala a respeito e dos resultados alcançados nos ensaios desenvolvidos, pode-se afirmar com segurança, em comparação com as obras de fundações já consagradas, levando em conta os ensaios químicos efetuados e os ensaios de compressão, que o material extraído dá a certeza de que a rocha não é adequada para utilização em concretos, sobretudo aqueles

em que as normas exigem tensões acima de 13,7MPa (menor valor da resistência à compressão simples dos testemunhos ensaiados, conforme Quadro 2 – Ensaio 1e), como, por exemplo, as estruturas de concreto armado, cuja norma NBR 8953/92 (1992), exige traços superiores a 15MPa (grupo I - C15). A conclusão é óbvia, devido à constatação de que o agregado graúdo não pode ter resistência inferior às exigidas pelo elemento estrutural ou de fundação. Os ensaios de compressão simples realizados denunciam essa realidade de muito baixa resistência da rocha calcária, conforme classificação de Deere e Miller (1966).

Embora seja cultura dentro da Engenharia Civil de dar importância exclusiva para os aspetos de resistência dos materiais usados na construção civil, não se pode descurar de outros aspetos que envolvem esses materiais. Os ensaios de compressão simples realizados neste trabalho eram necessários porque se tinha por obrigação verificar a capacidade da rocha em suportar as cargas que são exigidas quando usadas em elementos estruturais e de fundação e, principalmente, porque se desejava suplementarmente estudar se a rocha sofreria alterações de resistência dignas de nota, quando submetidas a ambientes de saturação. A primeira parte desse objetivo foi satisfeita com a conclusão de que se trata de uma rocha considerada fraca, com riscos para ser usada como agregado de concretos de elementos tanto estruturais quanto de fundações. Mas na segunda intenção, de verificar modificações da resistência nos meios saturados, não foi constatada a hipótese de alterações, ao contrário, salvo problemas com a retirada dos testemunhos, concernentes ao ângulo de clivagem e estado de sanidade, mostraram uma ligeira melhora na resistência, tanto nos casos saturados quanto nos casos de saturação e secagem. Assim sendo os ensaios de compressão simples tiveram importância nos resultados, mas não representaram fator fundamental nas conclusões deste trabalho.

Como o objetivo primordial do trabalho era de avaliar a importância da presença da água nos elementos constituídos de agregados de rocha calcária, as análises físicas dos corpos de prova, representados pela medição e pesagem, e os ensaios de absorção e químicos, representaram importância maior nos trabalhos desenvolvidos, na medida em que constataram a sua capacidade de absorção de água muito alta, mostrando que se trata de uma rocha com alta porosidade, cujo uso pode ser comprometido na condição saturada, tendo em vista verificar nos resultados dos ensaios realizados que a água, mesmo sem a adição de produtos que aumentasse a sua acidificação, produziu efeitos bastante danosos sobre a rocha, com visível redução drástica nas suas proporções e massa. Isto, embora não se tenha verificada redução na sua resistência à compressão simples, determina riscos enormes, quando usados em estruturas de concreto sujeitas à umidade constante, devido a vazios internos que poderão ocorrer nos elementos estruturais ou de fundações pela dissolução que a rocha está sujeita nesses casos. Consideram-se assim satisfeitos os objetivos do presente trabalho que era verdadeiramente de provar esse risco de uso do calcário em meio aquoso.

Todavia, inobstante os problemas localizados, conclui-se também que é admissível o seu uso na forma de concreto ciclópico em fundações superficiais, como, aliás, é muito usual na região de João Pessoa, exclusivamente para construções de pequeno porte, assim observadas aquelas de um único pavimento, por não demandarem tensões acima das admitidas pela rocha, e localizadas em áreas sem nenhum risco de permanência de saturação ou com pouca probabilidade de alagamentos. Esta conclusão é retirada do fato de que os ensaios de campo de análise das fundações existentes não detetaram maiores problemas. Recomenda-se, entretanto, que no processo construtivo adotado costumeiramente na região não seja negligenciada a adição de elemento aglomerante no agregado fino usado para preenchimento dos espações vazios entre as rochas de granulação alta.

Os ensaios e pesquisas realizados mostraram também outros riscos suscetíveis na área estudada, em decorrência da presença da camada de rocha calcária da Formação Gramame e de lençóis freáticos e aquíferos sobrepostos e sotopostos a ela. Com o uso das informações obtidas através dos perfis litológicos da região da Grande João Pessoa, dos ensaios e levantamentos realizados, que constituíram a base das informações geológicas da subsuperfície na área em estudo, e de avaliação do material objeto de estudo, é mister levar em conta algumas considerações.

O levantamento da área do substrato rochoso da região metropolitana de João Pessoa e adjacências, visando detetar as profundidades de tipos de camadas com a presença de rochas calcárias, detetou que toda a região é assentada sobre uma plataforma de rochas denominada Formação Gramame, constituída integralmente por calcários, cuja constituição básica é o carbonato de cálcio, sobreposta por materiais inconsolidados da Formação Barreiras, cujas profundidades variam entre 20 a 50 metros (largura aproximada da Formação Barreiras), sendo que, em função do relevo determinado por processos erosivos da Formação Barreiras, essas rochas podem aflorar em determinadas partes da área.

Foi constatado, contudo, que a Formação Gramame está muito bem definida em toda a área leste do Estado da Paraíba. Comprova-se ainda que ela está sobreposta a materiais cristalinos naturais originários de rochas de origem magmáticas ou metamórficas, denominado de Formação Beberibe, cuja profundidade é maior no leste, diminuído gradativamente para o oeste. As formações Gramame e Barreiras, por sobrepor esse cristalino, acompanham a inclinação na mesma direção. Elas vão reduzindo de tamanho e profundidade até uma distância em torno de 20km a oeste do litoral, até desaparecerem por completo.

O calcário da Formação Gramame não representa uma regularidade de contato com a Formação Barreiras de forma plana e retilínea. As irregularidades de altitudes da sua linha superior são reais e lógicas, o que leva à conclusão de que a informação sobre sua profundidade tem necessariamente de ser obtida pelos serviços de sondagem, quando da investigação geotécnica para implantação do empreendimento.

Os estudos constataram ainda que a formação Gramame está sotoposta a aquíferos de volumes consideráveis, servindo de barreira impermeabilizante para conter a infiltração do conteúdo desses aquíferos. Isto provoca uma grande elevação nos níveis freáticos de toda a região, que pode flutuar a profundidades diversas, dependendo do relevo da superfície constituída por materiais da Formação Barreiras. A separação das águas dos reservatórios naturais com o calcário se resume em uma camada delgada de material de granulação fina originário do processo de dissolução da rocha calcária, como estudado na análise dos ensaios químicos realizados. Sabendo que esses aquíferos são originários das infiltrações ocorridas na camada da Formação Barreiras, pode-se supor que esta água já chega aos aquíferos com um percentual grande de ácido carbônico (H_2CO_3), advindos da captação de CO_2 da atmosfera pelas chuvas que provocaram a infiltração e alimenta os aquíferos. Somada essa contaminação com o CO_2 liberado da reação da água com o contato com o carbonato de cálcio existente na formação do calcário, pode-se afirmar que está construído o ambiente perfeito para a geração do bicarbonato de cálcio, que é um material sem constituição sólida. Em seu lugar começam a gerar vazios que ao longo do tempo vão formar dolinas. Assim, a Formação Gramame poderá ser reduzida com o tempo dando lugar a afundamentos da camada sobreposta.

Pela ausência de tempo suficiente, pela inexistência de equipamento disponível e as dificuldades na sua construção, não foi possível fazer um ensaio que medisse a cinética desse processo, baseado na liberação do carbono, visando saber o tempo de ocorrência das dissoluções por volume de calcário em relação ao volume de água, e, além disso, não existe um estudo que comprove o início do processo em andamento, e, consequentemente, qual é o volume de dolinas já existentes, mas, pelos estudos efetuados neste trabalho e pelos resultados dos ensaios que mostram uma clara redução no volume do material ensaiado, constata-se a existência do fenômeno de dissolução da rocha calcária e que ele não pode ser desprezado.

É sabido também que esse processo de dolinamento ocorre muito lentamente e principia-se por pequenos vazios que ao longo do tempo vão se ampliando, comunicando-se entre si. Até que se complete, pode levar milhares de anos. Mas essas pequenas dolinas já comprometem os sobrepesos que se arvoram sobre os solos que estão sustentados por tensões geostáticas das camadas existentes sobre elas. Essas forças geostáticas que comprimem os solos inconsolidados, provisoriamente são suficientes para conter o peso próprio do material inconsolidado existente

sobre as dolinas, impedindo que ele desabe nos vazios criados, pelo menos enquanto elas ainda não possuam tamanho que desestabilize as camadas sobrepostas. Todavia, sobrecargas originárias das construções colocadas nestes locais desequilibram essas tensões e culminam com tensões extras de sobrepeso, decorrendo a possibilidade de afundamento de toda a massa de solos que se sustentam sobre as dolinas. Por ora não existem registros onde haja algum afundamento ocorrido pela simples ação do peso próprio de materiais inconsolidados existentes sobre essas dolinas. Os muitos casos registrados têm como causas as ações antrópicas e erosões, ocasionadas por cinética de percolação de águas ou decorrentes de alterações de tensões hidrostáticas e geostáticas.

Se partirmos do princípio que os bulbos de tensões de forças externas incidentes verticalmente sobre o solo podem atingir profundidades infinitas, de acordo com a solução de Carothres, mostrada por Cavalcante (2006), podemos afirmar que os empreendimentos construídos sobre maciços rochosos de calcários estarão seguros se os elementos de fundação foram calculados exclusivamente com base na resistência de fuste.

Em face disso recomenda-se que qualquer construção dentro da faixa leste da Paraíba, considerada a área de incidência da Formação Gramame, seja precedida de investigações que vão além da verificação estratigráfica dos tipos de camadas de solo, mas, que visem averiguação da profundidade da camada de rocha calcária e se já existem processos de dolinamento em formação na localidade, sendo desaconselhada a construção caso ela esteja muito próxima da profundidade dos elementos de fundação.

5 – AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa de estudos, aos Laboratórios de Mecânica e de Materiais (LABEME) e de Geotecnia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e aos laboratórios de Geologia, de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade do Ceará (UFC), que tornaram possível a realização dos ensaios.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J.A.C. (2000). *Calcários recifais eocênicos da formação Maria Farinha, na sub-bacia Alhandra, Paraíba: aspectos taxionômicos, paleoecológicos, paleoambientais e estratigráficos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife: [s.n.]. 143p.

Altoé, W.B. (2013). *Correlação entre ensaios de índices físicos e desgastes amsler em cinco rochas ornamentais comercializadas no Estado do Espírito Santo*. XVI Jornada de Iniciação Científica, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Rio de Janeiro.

Arai, M. (2006). *A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras*. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, pp.1-6.

Araújo, M.E. (2012). *Água e Rocha na Definição do Sítio de Nossa Senhora das Neves, Atual Cidade de João Pessoa – Paraíba*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia.

Assis, A.D. (1985). *Geologia.* Atlas Geográfico do Estado da Paraíba. C.A.G Egler *et al.* (Coord.). João Pessoa: Grafset. pp 22-23.

Barbosa, J.A. (2004). *Evolução da bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: Formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife. 219p.

Barbosa, J.A. (2007). *Deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: Aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife. 331p.

Barbosa, D.C. (2008). *Relatório do ensaio Nº 01 – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Graúdo*. Relatório de experiência apresentado à disciplina de Materiais para Construção Civil, Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes (SP).

Barison, M.R. (1997). *Uso de rochas em fundações de pequenas centrais hidrelétricas*. Artigos Técnicos CERPCH.

Bessa, I.S.; Branco, V.T.F.C.; Soares, J.B. (2011). *Avaliação da Resistência ao Polimento e à Degradação de Agregados Utilizando a Abrasão Los Angeles e o Processamento Digital de Imagens*. 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, Foz do Iguaçu.

Beurlen, K. (1967). *Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. Recife: v.16, n.1, pp.43-54.

Borges, U.N. (2004). *Mapeamento das Áreas de Conflito com a Legislação e de Riscos Decorrentes da Instalação de Postos de Combustíveis na Cidade de João Pessoa – PB Utilizando Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto*. Monografia de Graduação. UFPB, CCEN, Departamento de Geociências - Curso de Geografia. João Pessoa. 145p.

Cavalcante, E.H. (2006). *Solução de Carothres*. Mecânica dos Solos II, Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas, UFSE, Aracajú, Sergipe.

Dantas, J.R.A. (1980). *Mapa Geológico do Estado de Pernambuco – Texto Explicativo*. Brasília DNPM. 2 mapas. 112p.

Dantas, J.R.A.; Caúla, J.A.; Brito Neves, B.B.; Pedrosa, I.L. (1982). *Mapa Geológico do Estado da Paraíba, escala 1/500 000*. Campina Grande-PB, SERM/Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais (CDRM). 133p.

Dantas, T.N.C.; Dantas Neto, A.A.; Rossi, C.G.F.T.; Viana, F.F.; Santos, G.C.M.N. (2011). *Remoção de óleo pesado adsorvido em rocha calcária utilizando sistema microemulsionado*, 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, Natal (RN).

Deere, D.U.; Miller, R.P. (1966). *Engineering classification and index properties for intact rock*. Technical Report No. AFWL-TR-65-116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory.

DNER ME-035/98 (1998). *Agregados, determinação da abrasão "Los Angeles"*. Ministério dos Transportes, Brasília (DF).

Furrier, M. (2007). *Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha João Pessoa – 1: 100 000*. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo. 213p.

Gilluly, J.; Waters, A.C.; Woodford, A.O. (1968). *Principles of Geology*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 687p.

Goodman, R.E. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. 2nd ed., New York: John Wiley and Sons.

Gopinath, T.R.; Costa, C.R.S.; Junior, M.A.S. (1993). *Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba*. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 15. Natal. Anais. Natal. Sociedade Brasileira de Geologia /Núcleo Nordeste, pp.47-48.

Infanti Jr., N.; Fornasari Filho, N. (1998). *Processos de Dinâmica Superficial*. Geologia de Engenharia. A.M dos Santos e S.N.A. de B. Oliveira (Eds.). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

Jaboatam, A.S.M. (1861). *Novo orbe seráfico brasílico ou chronica dos frades menores da província do Brasil (c. 1761)*. Vol. II. http://www2.senado.gov.br/bdsf/item/id/182923. Acesso em: 30. Mar. 2012, 11:40:01. (000059999_01.pdf).

Leal e Sá, L.T. (1998). *Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 127f.

Lima, M.A.B. (2006). *Estudo do comportamento dos Gnaisses Casablanca Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina*. Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geologia Regional para obtenção do Título de Doutor em Geologia Regional. Instituto de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP).

Lummertz, F.B. (1977). *Aspectos da hidráulica subterrânea na área da Grande João Pessoa*. Dissertação (Mestrado). UFPE/Escola de Geologia, Recife.

Mabesoone, J.M.; Castro, C. (1975). *Desenvolvimento geomorfológico do nordeste Brasileiro*. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG**,** Recife, v.3, pp.5-35.

Mabesoone J.M. (1967). *Sedimentologia da faixa costeira Recife – João Pessoa*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 16, n.1, pp.57-72.

Mabesoone, J.M.; Alheiros, M.M. (1988). *Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba*. Revista Brasileira de Geociências, 18(4): 476-482.

Mabesoone, J.M. (1994). *Sedimentary basins of northeast Brazil*. Recife UFPE/CT/DG, 310p. (Publicação Especial),1994.

Maciel, S.M.S.R. (1980). *Contribuição ao estudo das fácies carbonáticas interdigitadas na Formação Beberibe*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Pós-Graduação em Geociências. 85p.

Nakazawa, V.A.; Prandini, F.L.; Diniz, N.C. (1995). *Subsidências e colapsos de solo em áreas urbanas. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. O.Y Bitar (Coord.). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Cap.3.5, pp.101-133.

NBR 6465/84 (1984). *Determinação de abrasão Los Angeles*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR 8953/92 (1992). *Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR NM 53/03 (2003). *Agregado Graúdo – Determinação de Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR NM 7680/07 (2007). *Concreto – Extração, preparo e ensaios de testemunhos de concreto.* ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR 7211/09 (2009). *Agregados para Concreto – Especificação*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

Oliveira, F.B. (2001). *Degradação do Meio Físico e Implicações Ambientais na Bacia do Rio Jaguaribe, João Pessoa, Paraíba*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Geociências, Recife, Pernambuco.

Oliveira, I. (2012). *Apostila Maco I Agregados*. Materiais de Construção Civil I, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

Oliveira, L.M. (2010). *Acidentes Geológicos Urbanos*. Curitiba: Mineropar.

Pinho, A.B. (2003). *Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Universidade de Évora, Évora.

Projeto Radambrasil (1981). Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro, v.23, 740p.

Sandrini, I; Caranassios, A. (2007). *Caracterização tecnológica de uma rocha biotita gnaisse monzogranítico com granada*, I Jornada do Programa de Capacitação Interna, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Rio de Janeiro.

Santos, E.J.; Ferreira, C.A.; Silva Jr., J.M.F. (2002). *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba*. Recife: CPRM. 2 Mapas. Escala 1:500 000 (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Subprograma Mapas Estaduais). 142p.

Santos, A.R. (2011). *Novo modelo geológico orienta a escolha de terrenos e o tratamento de fundações para empreendimentos na região de Cajamar (SP)*. Artigo técnico publicado no portal PINI Web.

Serra Junior, E.; Ojima, L.M. (1998). *Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos*. Geologia de Engenharia. A M.S. Oliveira e S.N.A. Brito, (Eds.). CNPQ/FAPESP. Cap. 13, pp.211-226.

Silva, N.G. (2006). *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR).

Soares, W.C. (2011). *Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do N_{SPT} para obras de fundação em João Pessoa – PB*. Tese de Doutorado em Ciências. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – São Paulo.

SUDEMA (1996). Superintendência de Administração do Meio Ambiente Programa de Gerenciamento Costeiro, Estado da Paraíba: macrozoneamento costeiro, litoral sul. João Pessoa: SUDEMA (Gerenciamento Costeiro).

SUDENE (1974a). Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Ministério da Integração Nacional. Mapa Topográfico de Cabedelo. s.l., Escala 1:100 000. 1 mapa.

SUDENE (1974b). Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Ministério da Integração Nacional. Mapa Topográfico de João Pessoa. s.l., Escala 1:100 000. 1 mapa.

Suguio, K.; Nogueira, A.C.R. (1999). *Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais*. Revista Geociências, São Paulo, v. 18, n. 2, pp.461-479.

Tuma, L.S.R. (2004). *Mapeamento Geotécnico da Grande João Pessoa*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo.

Vieira, C.M.F.; Monteiro, S.N.; Barreto, C.G.W.; Carvalho, E.A.; Peiter, C.C. (2008). *Substituição de areia de quartzo por finos de gnaisse em massa cerâmica para telhas: teste industrial*. Laboratório de Materiais Avançados-LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro.

Vilas Boas, G.S. (1996). *Sedimentos terciários e quaternários do interior*. Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais.

Vilas Boas, G.S.; Sampaio, F.J.; Pereira, A.M.S. (2001). *The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 73, n. 3, pp.417-427.

Wanderley, A.A.; Siqueira, L.P.; Caldasso, A.L.S. (1983). *Projeto mapas metalogenéticos e de previsão dos recursos minerais*. Folha SB.25-Y-C João Pessoa. Escala 1:250 000, v. 1. Texto e Mapas. Convênio DNPM-CPRM. Recife, 32p.