

# GEOLOGIA

## APLICADA

VOLUME II



### Organização

Fabricia Benda de Oliveira  
Rodson de Abreu Marques  
Calvin da Silva Candotti  
Ariadne Marra de Souza  
José Augusto Costa Gonçalves



**Fabricia Benda de Oliveira  
Rodson de Abreu Marques  
Calvin da Silva Candotti  
Ariadne Marra de Souza  
José Augusto Costa Gonçalves  
(Organizadores)**

**GEOLOGIA APLICADA**

**Volume II**

**CAUFES  
2019**



CCENS-UFES Centro de Exatas Naturais e da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Caixa Postal: 16, Guararema, Alegre-ES Telefax: (28) 3552-8687  
www.alegre.ufes.br

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

G345 Geologia aplicada [recurso eletrônico] / Fabricia Benda de Oliveira  
... [et al], Organizadores. – Dados eletrônicos. – Alegre, ES:  
UFES, CAUFES, 2019.  
129 p.: il. – (Geologia Aplicada; v. 2)

ISBN: 978-85-54343-17-0

Modo de acesso: <<http://www.geologia.ufes.br/e-book.alegre>>

1. Geoturismo. 2. Museus. 3. Petrografia. 4. Aquífero. I.  
Oliveira, Fabricia Benda de, 1978 - .

CDU: 551.1/4

---

Elaborado por Felicio Gomes Cortelleti – CRB-6 ES-000646/O

Os textos apresentados nesse livro são de inteira responsabilidade dos autores. Os organizadores não se responsabilizam pela revisão ortográfica e gramatical dos trabalhos apresentados.

**REITOR – UFES**  
**REINALDO CENTODUCATTE**

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE – UFES**  
**NEUZA MARIA BRUNORO COSTA**

**ORGANIZADORES DESTA OBRA**  
**FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA**  
**RODSON DE ABREU MARQUES**  
**CALVIN DA SILVA CANDOTTI**  
**ARIADNE MARRA DE SOUZA**  
**JOSÉ AUGUSTO COSTA GONÇALVES**

## **APRESENTAÇÃO**

A produção deste trabalho é independente e surgiu da ideia e colaboração de professores, alunos e ex-alunos do curso de Geologia do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, da Universidade Federal do Espírito Santo. Estão contidos neste livro 7 trabalhos apresentados na forma de capítulos e que abrangem temas relacionados às geotecnologias e suas aplicações no âmbito das ciências ambientais, geotecnia e planejamento urbano, e análises utilizando softwares de cartografia e modelagem espacial. O material contido nesta obra servirá de auxílio para estudantes, professores e profissionais da área das geociências em seus trabalhos e pesquisas, além de ser um veículo de divulgação de conhecimento obtido pela UFES desde a criação do curso de Geologia.

## LISTA DE ORGANIZADORES

**Fabricia Benda de Oliveira.** Professora Adjunta do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: fabricia.oliveira@ufes.br

**Rodson de Abreu Marques.** Professor Adjunto do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, email: rodson.marques@ufes.br

**Calvin da Silva Candotti.** Geólogo, Manaus, AM, e-mail: calvincandotti@gmail.com

**Ariadne Marra de Souza.** Professora Adjunta do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: ariadne.souza@ufes.br

**José Augusto Costa Gonçalves.** Professor Adjunto do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: jaucosta@gmail.com

## LISTA DE AUTORES

**Afonso Henrique Rainha Bozzi**  
**Alice Fernanda de Oliveira Costa**  
**Allison Augusto Gonçalves de Freitas**  
**Ana Carolina Ferreira Xavier**  
**Ariadne Marra de Souza**  
**Bernardo Nicolini Smarzaro**  
**Bruno Henrique Silva Ventura**  
**Flávia Compassi da Costa**  
**Graziele Arantes Reis**  
**Guilherme Rodrigues Marangon**  
**Gustavo Henrique Soares Carvalho**  
**Heitor Miranda de Oliveira**  
**Jenesca Florencio Vicente Lima**  
**José Augusto Costa Gonçalves**  
**Lauriana Aparecida Mauri Ferreira**  
**Lilian Gabriella Batista Gonçalves de Freitas**  
**Lívia Novello Costa Mattos**  
**Marcelo Henrique Gonçalves de Freitas**  
**Marilane Gonzaga de Melo**  
**Mauro Cesar Geraldês**  
**Rodson de Abreu Marques**  
**Sandro Lúcio Mauri Ferreira**  
**Sebastião Carlos Paes de Assis**

## Sumário

Capítulo 1.....	9
<b>Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES</b>	
<i>Grazielle Arantes Reis; Rodson de Abreu Marques; Livia Novello Costa Mattos; Guilherme Rodrigues Marangon; Marilane Gonzaga de Melo; Bruno Henrique Silva Ventura; Heitor Miranda de Oliveira; Afonso Henrique Rainha Bozzi, Alice Fernanda de Oliveira Costa; Gustavo Henrique Soares Carvalho</i>	
Capítulo 2.....	21
<b>Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do estado do Espírito Santo</b>	
<i>Sebastião Carlos Paes de Assis; Rodson de Abreu Marques; Sandro Lúcio Mauri Ferreira; Lauriana Aparecida Mauri Ferreira</i>	
Capítulo 3.....	39
<b>Rochas alcalinas: conceitos e mineralização de fosfato</b>	
<i>Flávia Compassi da Costa; Ariadne Marra de Souza; Mauro Cesar Geraldês</i>	
Capítulo 4.....	57
<b>Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato</b>	
<i>Flávia Compassi da Costa; Ariadne Marra de Souza; Mauro Cesar Geraldês</i>	
Capítulo 5.....	71
<b>Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ</b>	
<i>Allison Augusto Gonçalves de Freitas; Jenesca Florencio Vicente Lima, Marcelo Henrique Gonçalves de Freitas; Lilian Gabriella Batista Gonçalves de Freitas</i>	
Capítulo 6.....	87
<b>Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo – ES</b>	
<i>Ana Carolina Ferreira Xavier; José Augusto Costa Gonçalves</i>	
Capítulo 7.....	125
<b>Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES</b>	
<i>Bernardo Nicolini Smarzaró; José Augusto Costa Gonçalves</i>	



## Capítulo 1

### Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES

*Grazielle Arantes Reis<sup>1</sup>; Rodson de Abreu Marques<sup>1</sup>; Lívia Novello Costa Mattos<sup>1</sup>; Guilherme Rodrigues Marangon<sup>1</sup>; Marilane Gonzaga de Melo<sup>1</sup>; Bruno Henrique Silva Ventura<sup>1</sup>; Heitor Miranda de Oliveira<sup>1</sup>; Afonso Henrique Rainha Bozzi<sup>1</sup>, Alice Fernanda de Oliveira Costa<sup>2</sup>; Gustavo Henrique Soares Carvalho<sup>1</sup>*

**RESUMO.** O objetivo deste estudo foi mostrar através de uma pesquisa de campo embasada em uma fundamentação teórica a importância da Geodiversidade e do Geoturismo como proposta de divulgação e conscientização da preservação do meio ambiente para o desenvolvimento sustentável local e a valorização cultural e natural do território. O geoturismo é um segmento turístico que tem o patrimônio geológico como seu principal atrativo e busca sua proteção por meio da conservação de seus recursos e da sensibilização do turista. Para preservar o geopatrimônio considera-se a sua interpretação tornando-o acessível ao público leigo, além de promover sua divulgação e desenvolvimento das ciências da Terra. A área de estudo localiza-se no geossítio do município de Domingos Martins – Parque Estadual Pedra Azul – no estado do Espírito Santo, ao qual está inserida no contexto geotectônico do Orógeno Araçuaí – Complexo Intrusivo da Pedra Azul. Justifica-se o estudo, pois os dados e as informações geológicas no parque ainda são escassos. O método desta pesquisa caracterizou-se de uma revisão de literatura e pesquisa de campo do tipo qualitativa e de característica experimental. Constituiu da análise do inventário do parque, a partir de uma revisão de literatura, pesquisa de campo do tipo qualitativa, ao qual foram descritos petrograficamente os principais litotipos aflorantes aliados à geomorfologia do Complexo Intrusivo, e característica experimental. Como resultado elaborou-se roteiro geoturístico com os principais pontos de interesse geológico, englobando aspectos estruturais, as feições, os componentes e os procedimentos que as rochas do local foram submetidas durante a evolução tectônica, sendo possível sincronizar conhecimento e lazer petrológicos, quanto os fisiográfico.

**PALAVRAS-CHAVE.** Geodiversidade. Geoturismo. Roteiro geoturístico. Desenvolvimento sustentável

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país portador de um campo abrangente de belezas naturais, como monumentos naturais e geológicos. Nas últimas décadas pesquisas visando a proteção e a utilização sustentável de elementos geológicos contribuíram para o surgimento de novos segmentos de turismo. Dentre estes segmentos destaca-se o geoturismo, o qual tem como foco a divulgação do patrimônio geológico, bem como possibilitar sua conservação. Tal atividade serve de estrutura básica para a concepção de geoconservação, que consiste principalmente em iniciativas voltadas para a proteção da geodiversidade.

A geodiversidade abrange a variedade dos elementos abióticos, a diversidade geológica e geomorfológica e deve estar vinculada ao fato de disponibilizar materiais e serviços

<sup>1</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (CCENS-UFES) – Alegre, ES, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO-UFOP) – Ouro Preto, MG, Brasil

## **Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES**

interpretativos, com intuito de divulgar os benefícios de sítios geológicos e geomorfológicos para sociedade, assegurando a conservação, turismo e outras atividades (MANSUR, 2010).

A Terra é responsável por preservar a memória do passado, registrada na superfície através das rochas, fósseis e paisagens ou em profundidade. Assim como o ser humano preocupa-se em preservar o patrimônio cultural que retrata suas histórias passadas, também é importante preocupar-se com o ambiente, com o patrimônio natural, e com a história da Terra (GARCIA, 2014).

Apesar disso, o sistema econômico atual cresce desenfreadamente, promovendo, então, um aniquilamento do patrimônio natural. Nessa perspectiva, durante o século XX os procedimentos de intervenção do homem ao meio ambiente foram acentuados, principalmente por usufruir da natureza mais do que o necessário para viver (GARCIA, 2014). Segundo Garcia (2014), no Brasil as práticas de turismo não dispunham grande repercussão em relação à sustentabilidade associada à educação ambiental, sendo um dos maiores propulsores para os procedimentos de evolução do território e manutenção do meio ambiente.

Entretanto, com o passar dos anos o geoturismo vem ganhando destaque no território natural. Assim, busca-se realçar a conscientização em relação à conservação deste território, quanto aos atrativos turísticos ligados à geologia e geomorfologia, com o intuito de interpretar a evolução geológica e morfológica do ambiente, com o intuito de analisar e selecionar os recursos naturais que proporcionam interesse aos turistas.

No Brasil, devido a grande diversidade de ambientes geológicos, há muitos lugares potenciais que podem ser utilizados para fins geoturísticos. Muitos deles estão inseridos em áreas protegidas, como parques, florestas ou estações ecológicas. Dentre essas unidades de conservação está o Parque Estadual da Pedra Azul situado em Domingos Martins-ES que apresenta o turismo como uma das principais fontes de renda, contando com uma forte influência do agroturismo e de produtos ligados à agroindústria para o desenvolvimento econômico, pois gera renda e emprego na região.

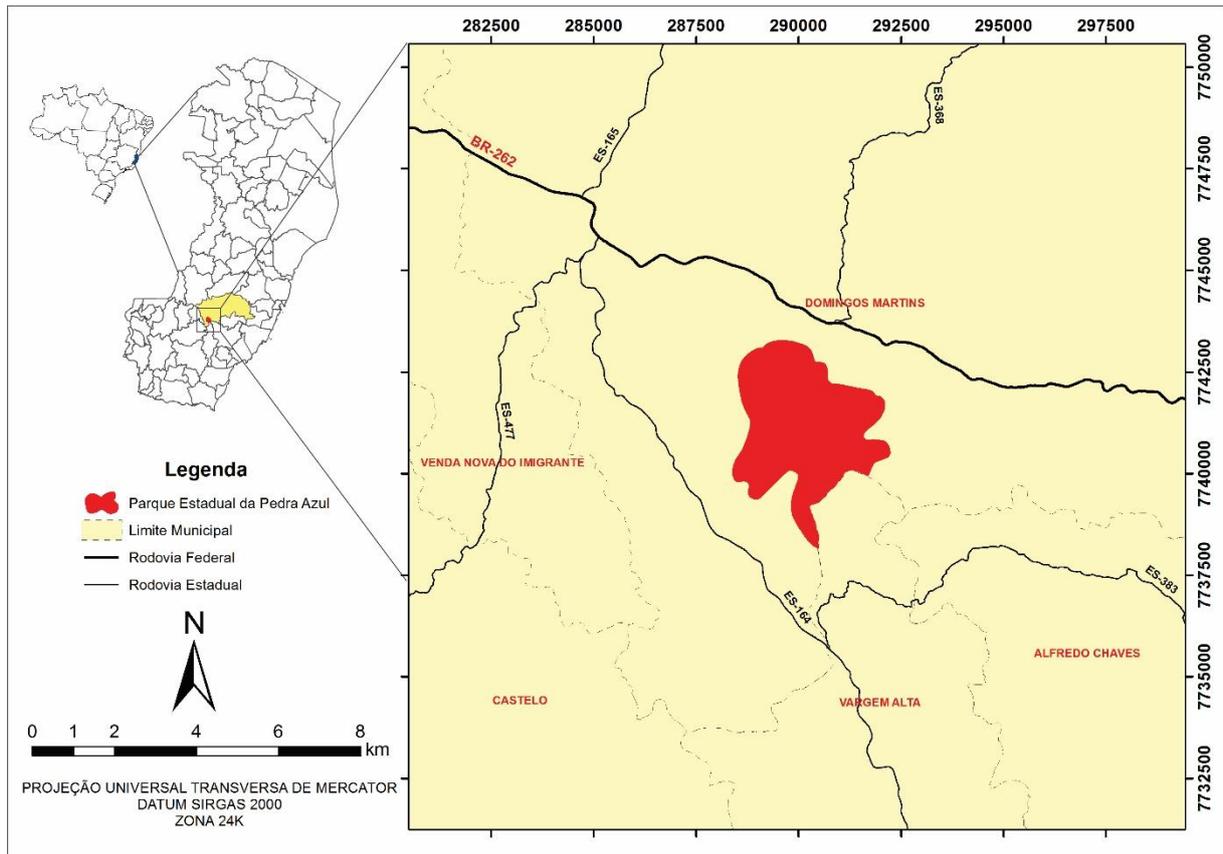
No Parque Estadual da Pedra Azul ocorrem estruturas geológicas bem preservadas e feições geomorfológicas moldadas, sobretudo, por processos exógenos. Esses elementos se distribuem pelo parque em diversos atrativos naturais, que podem ser acessados através de trilhas que permitem a contemplação de áreas de Mata Atlântica, passando por mirantes e piscinas naturais. No entanto os aspectos geológicos são pouco explorados, sendo desvalorizados os seus elementos abióticos, mesmo com uma considerável geodiversidade.

Este trabalho teve por objetivo mostrar através de uma pesquisa de campo embasada em uma fundamentação teórica a importância da Geodiversidade e do Geoturismo como proposta de divulgação e conscientização da preservação do meio ambiente para o desenvolvimento sustentável local e a valorização cultural e natural do Parque Estadual de Pedra Azul.

### **LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

O Parque Estadual Pedra Azul é uma unidade de conservação de propriedade estadual situada no município de Domingos Martins e Vargem Alta, na região centro-sul do estado do Espírito Santo.

A área em estudo situa-se no município de Domingos Martins e abrange o distrito de Aracê, localizado a aproximadamente 52 km de distância de Vitória. O melhor acesso é realizado por meio da BR-262, conforme mostra a Figura 1 a seguir.



**Figura 1.** Mapa de localização de Pedra Azul no município de Domingos Martins – ES. Confeccionado no software ArcGis 10.3.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA/GEOLOGIA REGIONAL

As rochas presentes no Parque Estadual de Pedra Azul fazem parte da Província Mantiqueira, uma unidade geotectônica formada na Orogênese Brasileira, entre o Neoproterozoico e o início do Paleozoico (HEILBRON et al., 2004). Segundo Wiedemann-Leonardos et al., (1989), a presente área encontra-se em uma zona de transição, marcada por inflexão de *trends* regionais das Faixas Araçuai-Ribeira para norte-nordeste (NNE) embora esteja estabelecida principalmente no contexto do Orógeno Araçuai.

O Complexo Intrusivo da Pedra Azul (CIPA) é caracterizado como uma intrusão magmática com formato irregular, que se estende por aproximadamente 200 km<sup>2</sup>, apresentando uma gama diversificada de litotipos, variando de composição desde diorito a sienogranito com textura fina (WIEDEMANN-LEONARDOS et al., 2000).

O CIPA apresenta uma estrutura composicional intrínseca dos corpos graníticos concomitantes a ele, onde a sua litologia também é marcada pela mudança composicional das bordas para o centro. Nas bordas e nos picos mais altos, há o domínio de monzogranito, ao passo que em direção ao centro do plúton há várias porções de composição tonalítica e granodiorítica.

As litologias monzogranito e as porções de tonalito a granodiorito apresentam contatos marcados por zonas de misturas magmáticas, gerando feições parecidas com as de forma de almofada (*pillow-like*) e em rede, a partir do contato com rochas máficas e de granulação mais fina, indicando as estruturas características de misturas mecânica de magma (*mingling*).

A região de Aracê exibe uma porção de composição diorítica de aproximadamente 6 km<sup>2</sup>, na borda norte. A zona central do corpo é formada por uma litologia mapeável por vários quilômetros, composta por múltiplos xenólitos de sillimanita-quartzitos e granada-sillimanita-

## **Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES**

biotita gnaisses quartzosos relativos às encaixantes. É considerada uma zona magmática, constituída por veios de composição granítica em muitos xenólitos, que possuem uma direção preferencial SE-NW, que foi identificado como uma falha de regime rúptil por Costa-de-Moura et al., (1999).

Por toda área do corpo rochoso e nas rochas circunvizinhas é visível uma extensão um fraturamento de dimensão regional marcando direção NW-SE e NE-SW. As litologias de cunho magmático demonstram processos de stopping, contatos lit par lit e evidências de rochas migmatíticas nebulíticas, provenientes da fusão das rochas pré-existentes (COSTA-DE-MOURA et al., 1999).

A Pedra Azul apresenta diferentes graus de erosão/intrusão, demonstrando uma área extensa de afloramentos de rochas provenientes de mistura/assimilação magmática em relação aos outros Complexos Intrusivos contemporâneos a ele. O último episódio geológico que ocorreu no Complexo da Pedra Azul ficou assinalado pela intrusão da litologia sienogranito oceolar, designada pela interação de quartzo e k-feldspato, e surgimento de zonas ricas em titanita, biotita, magnetita e alanina, associada à zona de fratura NW-SE (CAMPOS et al., 2004). Em relação aos estudos geofísicos, verificou-se que a anomalia magnética gerada pelo corpo intrusivo em questão pode ser equiparada aos outros maciços concomitantes, todavia, a presença de rochas de composição básica e silimanita quartzito “Roof pendant”, indicam baixos graus de intrusão no Pluton e traços evidentes de erosão (TULLER 1993 apud CAMPOS et al. 2004).

### **METODOLOGIA**

A etapa inicial do processo metodológico constituiu da análise do inventário do geossítio do município de Domingos Martins/ES. No decorrer do trabalho de campo foi realizada a identificação do geossítio da Pedra Azul descrevendo-o de forma detalhada em seus aspectos geológicos, geomorfológicos, naturais e histórico-culturais. Nessa etapa foram ressaltadas as unidades litológicas descritas por Costa-de Moura et al., (1999) e Campos et al., (2004), salientando as diversas feições geológicas e geomorfológicas da área, além das evidências de magmatismo bimodal. Além de representar a geodiversidade de Domingos Martins-ES, o parque escolhido possui fáceis e seguros acessos, e já desenvolve algum tipo de infraestrutura para receber visitantes.

Posteriormente, foi elaborado um roteiro geoturístico através de um mapa realizado no laboratório de Geoprocessamento do Departamento da UFES de Alegre/ES com o contexto geológico de Domingos Martins, escolhendo as cores mais adequadas para representar cada um, e também com a localização do geossítio, estradas federais, estradas vicinais e a zona urbana. O roteiro geoturístico foi preparado a partir dos dados obtidos durante o trabalho juntamente com o discernimento dos componentes geológicos e geomorfológicos da área em questão. Sendo assim, foram selecionados pontos turísticos que ressaltam as estruturas, feições, componentes e os procedimentos que as rochas do local foram submetidas durante a evolução tectônica, sendo possível sincronizar conhecimento e lazer.

O mapa foi inserido em um folder elaborado no realizado no laboratório de Geoprocessamento do Departamento da UFES de Alegre/ES, em formato A3 para ser dobrado em três partes. A partir de então foram escolhidas fotografias para ilustrar o geossítio, acompanhadas de legendas que oferecem sucintas informações. Também foram selecionados ícones que representam quais atividades podem ser feitas no geossítio. No folder também há informações sobre o que é geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação e geoturismo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Moreira (2014) afirma que uma das melhores formas para o desenvolvimento dos trabalhos práticos são as trilhas interpretativas guiadas, pois têm como intuito enobrecer o conhecimento científico dos turistas em relação ao meio ambiente, visando, também, ampliar a compreensão de preservação da natureza local, de modo que, o guia possa investir na execução de atividades educativas, para auxiliar na interpretação da região, além de proporcionar contato pessoal, formulação de perguntas instigando o interesse dos visitantes e uma maior gestão do público-alvo. As trilhas interpretativas são designadas com objetivo de instigar o interesse do turista em interagir com os atrativos naturais encontrados na área, podendo atuar como mecanismo de redução de impactos negativos àquele meio.

Diante do exposto, foi escolhido um trajeto principal, a rota do Lagarto, com sete pontos interpretativos principais, para elaboração do roteiro, que, somado com a colaboração de condutores, placas e painéis podem ser destrinchados para o conhecimento geológico e geomorfológico dos visitantes do parque. Em adição foram preparados três modelos de painéis interpretativos para demonstração das principais feições geomorfológicas vistas no Parque Estadual Pedra Azul, assim como, a implementação de textos informativos sobre a evolução e os processos de formação das estruturas.

### • Pontos de visitaçã

O Parque Estadual Pedra Azul apresenta infraestrutura adequada para recepção dos visitantes. O portal de recepção do Parque, a casa de apoio e alojamento, apresentam dados informativos sobre as trilhas, sendo possível obter uma prévia da diversidade que será encontrada nesse ambiente (Figura 2).



**Figura 2:** A) Estrutura para recepção dos visitantes do Parque Estadual Pedra Azul. B) Estrutura para descanso com dados informativos sobre o Parque Estadual Pedra Azul para os turistas. Fonte: (ARQUIVO PESSOAL, 2017).

### Ponto 1

O primeiro ponto do roteiro conta com o início da rota do Lagarto, na casa de apoio do Parque Estadual Pedra Azul (Figura 3A), onde foi possível observar não só o monumento rochoso, como também a maioria das estruturas e feições morfológicas do parque como as fraturas de direção inferida preferencialmente SSW/NNE. Além disso, destaca-se a presença de “buracos”, as *box Works* (Figura 3B), no maciço, geradas, provavelmente, por erosão diferencial devido ao contraste de reologia/composição entre as litologias. Essas feições apresentam formatos elipsoidal, oval, redondo e algumas vezes formam sulcos (cilíndricos), com diâmetro estimado variando entre 5 a 20 metros quadrados. Outra feição bastante emblemática no parque, conhecida como “lagarto”, aparentemente, foi formada a partir de

## **Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES**

falhas que penetram o maciço e geraram escorregamento de fragmentos rochosos, que medindo dezenas de metros, sendo, então o principal modelador do relevo nos pontões.

Ao redor da entrada do Parque, foram encontrados blocos e matacões, que em sua maioria podem ser angulosos ou arredondados, de dimensão variando entre 2 a 10 metros. Nestes, foi possível fazer uma análise petrográfica do litotipo, o qual é definido pela natureza leucocrática equigranular, de estrutura maciça, com mineralogia essencial, composta por feldspato quartzo, biotita, e pontualmente granada arredondada, sendo classificado como monzogranito (Figura 3C). Associados a essa litologia, percebeu-se o surgimento de porções que indicam uma fase pegmatítica pneumatolítica, em forma de dique que atinge até 10 cm de espessura, com minerais mais bem formados, exibindo granulação variando de grossa a muito grossa, composta essencialmente por quartzo e feldspato.

Durante a caminhada na trilha em direção ao corpo rochoso foram evidenciados blocos rolados que apresentam fraturas de deslocamento (Figura 3D), originando feições que lembram esfoliação esferoidal, que os deixam com formas mais arredondadas.

Para ilustrar o processo de formação do monumento rochoso Pedra Azul bem como as estruturas erosivas contidas no mesmo foi confeccionado um painel explicativo (Figura 3E).

### **Ponto 2**

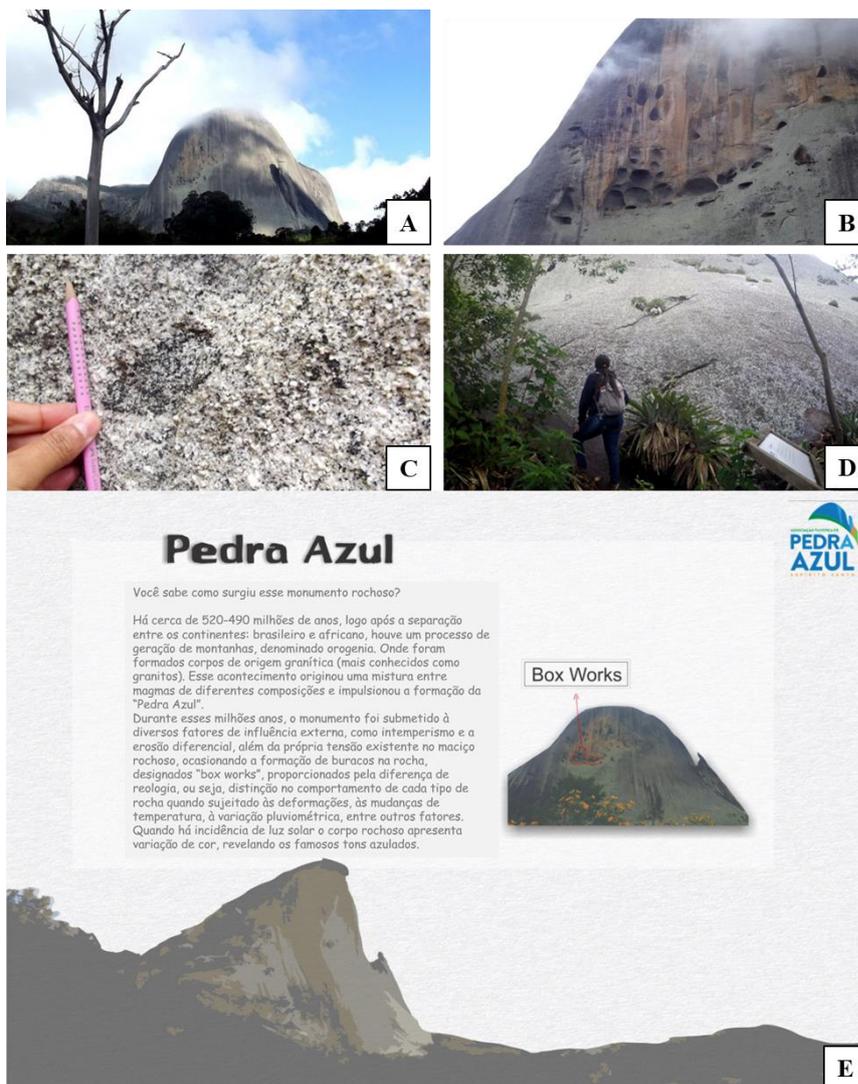
O acesso ao mirante se dá após um breve percurso na trilha, local de contemplação (Figura 4A) aos outros corpos rochosos síncronos ao Complexo da Pedra Azul, como a Pedra do Campo (1548 metros), Pedra do Rego (1445 metros) e a Serra do Caparaó (2891 metros), representados também em um painel didático (Figura 4B).

### **Ponto 3**

O terceiro ponto é referente ao Mirante Forno Grande, onde é possível contemplar não só a beleza do relevo local, como o próprio maciço Forno Grande (Maciço vizinho situado na localidade homônima), além de proporcionar uma visão extraordinária do ‘‘Lagarto’’ (Figuras 5A e 5B). As fraturas observadas nessa estrutura evidenciam o processo de deslocamento do corpo rochoso, frequente em quase todo o maciço.

Um painel informativo foi gerado para elucidar como foi gerada a Pedra do Lagarto (Figura 5C).

Na base da Pedra do Lagarto foram encontrados dois litotipos distintos (Figura 6A). Um apresenta coloração esbranquiçada, marcando o monzogranito e o outro de cor cinza escuro, granulação fina e grãos postos de maneira equigranular, indicando o granodiorito/tonalito. O contato entre as duas litologias é abrupto (Figura 6B), indicando feições de assimilação magmática (migling), onde ocorre uma concentração de minerais máficos (provavelmente borda de reação) especificamente biotita, resposta peculiar da troca química entre o anfibólio e a água. Pelo contexto, a rocha leucocrática provavelmente foi gerada por último, durante o processo geológico em que elas foram submetidas.

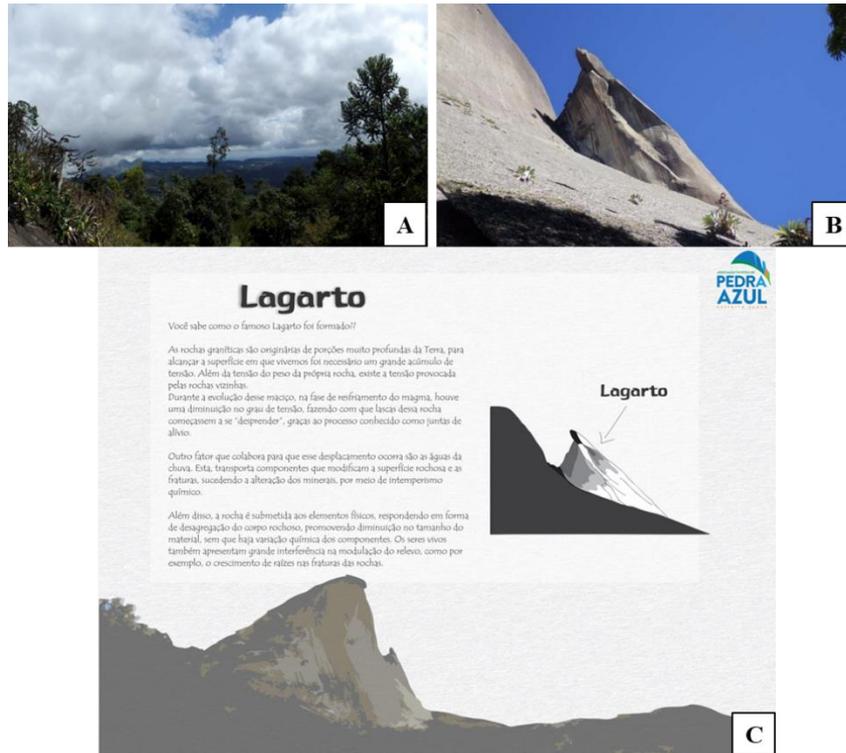


**Figura 3:** A) Vista da Pedra Azul com enfoque no lagarto no Parque Estadual Pedra Azul. B) Feições de erosão diferencial (*box Works*) observadas na entrada do Parque Estadual Pedra Azul. C) Bloco rolado de composição leucocrática na trilha, salientando o aglomerado de biotitas. D) Fraturas orientadas evidenciando futuras lascas no maciço, demonstrando a tendência ao deslocamento. E) Painel 1, confeccionado pela autora para demonstração do processo de formação do monumento rochoso do parque e das estruturas erosivas contidas no mesmo.



**Figura 4:** A) Vista para os outros maciços concomitantes ao Complexo Pedra Azul do mirante. B) Painel de informações sobre os monumentos rochosos observados do mirante no Parque Estadual Pedra Azul.

## Geoturismo e roteiro geológico para o Parque Estadual Pedra Azul - ES



**Figura 5:** A) Vista panorâmica do Mirante Forno Grande no Parque Estadual Pedra Azul. B) Pontão formado pelo processo de deslizamento de “lascas” no maciço, observadas no Parque Estadual Pedra Azul. C) Painel 2, confeccionado pela autora para demonstração do processo de juntas de alívio e agentes intempéricos para explicar a geração do pontão, ou “lagarto”.



**Figura 6:** A) Distinção entre monzogranito (cor clara) e granodiorito/tonalito (cor escura). B) Evidências de assimilação magmática.

### Ponto 5

No decorrer do percurso constataram-se enclaves quartzosos centimétricos (Figura 7A) englobado ao monzogranito e blocos de composição laterítica (Figura 7B). Seguindo a trilha em direção às piscinas naturais é necessário fazer uma escalada, com o auxílio de equipamentos de segurança, no lajedo. Ao chegar no afloramento, é possível observar no curso principal da drenagem um conjunto de cavidades de 2 a 3 m<sup>2</sup> com 0,5 a 2 m de profundidade, esculpidas pela tração dos sedimentos fluviais e da própria água no maciço, denominadas marmitas. O painel explicativo de tais feições é observado na figura 8. Uma série de veios tardios de direção preferencial E-W, são frequentes. Além disso, foram observados outros veios de composição quartzosa e pontualmente grãos centimétricos de anfibólio, com direção preferencial NNE, enclaves máficos e uma série de fraturas conjugadas.



**Figura 7:** A) Enclave quartzoso no monzogranito. B) Bloco de composição laterítica encontrado na trilha de subida para as piscinas naturais.

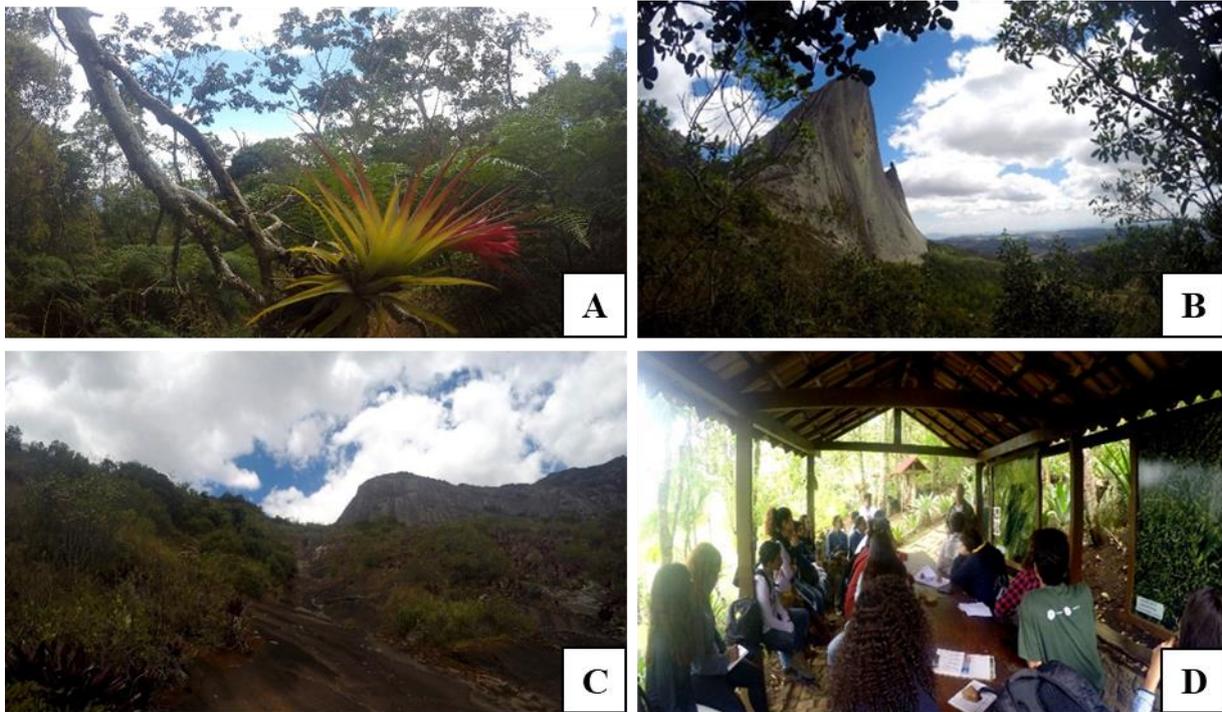
### Ponto 6

Finalmente, na trilha (Figura 9A) de retorno além da diversidade da flora, a vista privilegiada à Pedra Azul (Figura 9B) e à Pedra das Flores, é visível às famílias de fraturas e esfoliação esferoidais provocadas tanto pelas tensões existentes no maciço (Figura 9C), quanto, pelos fatores externos que influenciam. As feições geradas pelos processos intempéricos, são utilizadas como ninho para uma série de animais, entre eles, aves, répteis de pequeno porte.

O roteiro turístico em questão foi testado como guia durante aula de campo dos alunos da disciplina de Petrologia Magmática do curso de Geologia na Universidade Federal do Espírito Santo, onde foi possível observar a maior variedade dos aspectos geológicos do Parque Estadual Pedra Azul (Figura 9D).



**Figura 8:** Painel explicativo para a geração das feições denominadas marmitas.



**Figura 9:** A) Multiplicidade da vegetação no decorrer da trilha. B) Vista do monumento do caminho de retorno para casa de apoio. C) Vista para Pedra das Flores e para as famílias de fraturas. D) Professores e alunos da disciplina de Petrologia Magmática na Casa de Apoio assistindo o guia do parque mencionar sobre a diversidade, às restrições, cuidados e à história da região.

### CONCLUSÃO

Com este estudo foi possível entender que a geodiversidade engloba elementos abióticos, uma variedade geológica e geomorfológica e disponibiliza materiais e serviços interpretativos, com a intenção de conscientizar a sociedade da conservação do meio ambiente, turismo e outras atividades.

Em relação à Geodiversidade, ao Geoturismo e a Educação Ambiental esta pesquisa respondeu aos objetivos lançados, onde foi possível elaborar propostas de criação do roteiro geoturístico e dos painéis interpretativos com o intuito de atingir uma melhor interação entre os visitantes do Parque Estadual Pedra Azul e a natureza.

Diante de toda diversidade mencionada, é de suma importância implantar a ideia de conservação e valorização do patrimônio geológico, pois existe um histórico de deterioração dos aspectos geológicos que merecem atenção, como afloramentos com diversas estruturas e conceitos diferentes para o conhecimento e ensino. Além disso, é possível conjugar a interpretação da natureza, diversão e desenvolvimento para região.

Por fim, os materiais confeccionados irão contribuir para o conhecimento sobre a evolução endógena do Complexo Intrusivo de Pedra Azul, para preservação da identidade do território e geo-biosociodiversidade que é encontrada nesta porção. Nesse sentido, as propostas de implementação de recursos turísticos didáticos não só promovem a dissipação do conhecimento geológico, como também, serve para incentivar a valorização da mão de obra local, gerando renda para o município e, conseqüentemente, para as famílias nativas.

Que este estudo não tenha chegado ao fim. Sugere-se em estudos futuros validar e apresentar a proposta elaborada para o órgão responsável pelo Parque Estadual da Pedra Azul. Contemplando aperfeiçoamento no material didático, de modo a incorporar as ações do cotidiano, problematização e discussão dos problemas sociais, políticos e ambientais, reorientando-os de forma acadêmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, C. P. et al. **A review of the Brasiliano magmatism insouthern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post-collisional magmatism.** Journal of the Virtual Explorer, v. 17, paper 1, 2004. 35p. Disponível em: <<http://virtualexplorer.com.au/>>. Acesso em: 20 de set. 2017.

COSTA-DE-MOURA, J.; WIEDEMANN, C. M.; WALLFASS, C. M.; VAN WESTRENEN, W. **O Plúton de Pedra Azul: a estrutura do maciço intrusivo e suas rochas encaixantes. Domingos Martins, Espírito Santo, Brasil.** In: VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Simpósio Internacional de Tectônica da SBG, Lençóis (Ba). Anais, p.129-131, 1999.

GARCIA, T. S. **Da geodiversidade ao geoturismo: valorização e divulgação do geopatrimônio de Caçapava do Sul, RS, Brasil.** 2014. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes\\_2014/Ta%C3%ADs%20da%20ilva%20Garcia\\_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado.pdf](http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes_2014/Ta%C3%ADs%20da%20ilva%20Garcia_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2017

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. C. A Província Mantiqueira. In: V. MANTESSO-NETO, A. BARTORELLI, C.D.R. CARNEIRO, B.B. BRITO NEVES. **O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** p. 203-234. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, 2004

MANSUR, K. L. **Projetos educacionais para a popularização das Geociências e para a geoconservação.** Revista do Instituto de Geociências. Edição especial, v(5), (63-74), São Paulo: USP, 2010.

MOREIRA, J. C. **Educação ambiental e interpretação ambiental voltada aos aspectos geocientíficos: atividades geoducativas, interpretativas e turísticas.** In: Geoturismo e interpretação ambiental. Ponta Grossa: Editora UEPG, (71-133), 2014.

WIEDEMANN C. M. **Estado atual do conhecimento sobre a evolução do Cinturão Móvel Brasiliano no Estado do Espírito Santo.** In: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 1, p. 95-96. Boletim de Resumos, 1989.

WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M., LUDKA, I. P., MEDEIROS, S.R., MENDES, J. C.; MOURA, J. C. **Arquitetura de plútons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira.** Geonomos, v(8): (25-38), Belo Horizonte: UFMG, 2000.



## Capítulo 2

### Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do estado do Espírito Santo

*Sebastião Carlos Paes de Assis<sup>1</sup>; Rodson de Abreu Marques<sup>2</sup>; Sandro Lúcio Mauri Ferreira<sup>3</sup>; Lauriana Aparecida Mauri Ferreira<sup>4</sup>*

**RESUMO.** O Museu de História Natural do Sul do Estado do Espírito Santo (MUSES) possui potencial para implementação do acervo em uma coleção científica, com dados detalhados, documentados e estruturados. A principal atuação de conhecimentos baseia-se nas práticas de extensão. O objetivo principal do trabalho fundamenta-se em ações museológicas do MUSES com a inserção de descrições microscópicas de rochas do acervo para fomentar o teor científico-documental. Estas amostras são parte da história geológica do sul do Espírito Santo e amplia a atuação do museu como parte do patrimônio geológico. O Espírito Santo possui regiões de grande valor turístico e científico justamente por suas paisagens, que são consequências da geologia e clima da região. Como representante de rocha metamórfica, foi descrito o granulito oriundo de Bom Jesus do Norte – ES. A rocha é inserida no contexto geotectônico do sistema orogênico Ribeira-Araçuaí e constitui boa parte da paisagem local. A rocha ígnea descrita trata-se de um pegmatito de Mimoso do Sul. Essa litologia está associada com frequência a maciços graníticos. São rochas pouco estudadas na região sul do Espírito Santo, entretanto relatos históricos documentam mineralizações de gemas. As amostras de origem sedimentar foram coletadas na África do Sul, a partir de pontos turísticos mundialmente famosos, como o *Table Mountain* e o *The Cango Caves*. Apesar de não serem amostras do Espírito Santo, elas idealizam o potencial na área da geodiversidade com as rochas do estado. De forma direta, a descrição de lâminas e a forma de conservação do acervo contribuem para uma geoconservação mais eficiente no Brasil. Novas ferramentas devem ser utilizadas para captar mais dados e aumentar o poder científico-documental do acervo geológico do MUSES.

**PALAVRAS-CHAVE.** Coleção Científica; Geocuradoria; Museu; Patrimônio Geológico; Petrografia.

## INTRODUÇÃO

Os museus são instituições de grande potencial comunicativo/informativo, capazes de associar os aspectos científico-documentais, culturais e educacionais, com oportunidades de desenvolvimento mútuo. O histórico do desenvolvimento dos museus de história natural mostra sua articulação na construção de conhecimentos, e não só desenvolvendo ou consolidando disciplinas como Zoologia, Botânica, Mineralogia, Geologia e Antropologia, mas também contribuindo para definir critérios e métodos (noções de objeto como documento, coleta sistemática, coleção como repertório, classificação tipologia, conservação/restauração, e muitos mais) (MENEZES, 2010).

O Museu de História Natural do Sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1) é um espaço de atividades culturais, científicas e de lazer, de acesso gratuito, cujo objetivo é divulgar e estimular a interdisciplinaridade entre as diversas áreas do ensino, como a Geologia e a Paleontologia. Além disso, estimula a valorização natural e cultural da região sul capixaba

<sup>1</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (CCENS-UFES) – Alegre, ES, Brasil

## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo

através do acervo (ASSIS, 2016). Dado que o potencial de um museu vai além da exposição, sendo esta apenas uma de suas formas de atuação, o acervo pétreo do MUSES oportuniza a documentação e preservação dos estudos geológicos realizados na região Sul do Espírito Santo, como mapeamentos, datações e análises geoquímicas.



**Figura 1.** Visão da fachada do MUSES. Foto dos autores.

Na temática da Geologia, o ambiente do MUSES oferece a oportunidade do contato com amostras de rochas e minerais (Figura 2a). O museu tem se mostrado eficaz na mediação do conhecimento geológico. É comum o resgate de memórias e experiências do público através do material, principalmente por possuir exemplares de muitas rochas da região do Sul do Espírito Santo, valorizando assim a paisagem natural local. Tanto o acervo interno, quanto o acervo reservado para exposições itinerantes, são preparados para despertar a curiosidade, seja por amostras raras (como o meteorito de Guaçuí) ou por amostras que o visitante já conhece (Figura 2b), expostas de um novo ponto de vista (ASSIS, 2016).



**Figura 2.** a) atividade intitulada “MUSES Sensorial”, onde o visitante tem liberdade para manipular as amostras. b) vitrine da Geologia no MUSES. Fotos-Acervo MUSES.

O MUSES tem desenvolvido práticas de extensão, englobando as amostras e os materiais permanentes do acervo. As atividades realizadas até então fornecem um amplo espectro de trabalhos na área de geociências voltadas para a educação (ASSIS et al., 2017; MARQUES et al., 2016) e conservação do patrimônio geológico (ASSIS et al., 2016). A necessidade de discutir conservação de coleção geológica em museus, e usufruir do potencial científico de seu acervo é necessária para o aprimoramento e desenvolvimento da popularização das geociências e do MUSES. Assim, como o desenvolvimento da consciência de que a própria existência da coleção representa a valorização e, conseqüentemente, oferece alguma forma de proteção nas mãos de seus colecionadores (DOUGHTY, 2008) ou curadores.

Já existem museus de história natural que abrigam coleções geológicas em seus acervos, como o Museu Nacional, Museu de Geociências da USP e o Museu de História Natural de Londres, que trabalham com a pesquisa em seus espaços, e aproveitam esse material para construir um banco de dados robusto em seus respectivos museus. Adota-se estes dois museus como museus modelos (AZEVEDO & DEL LAMA, 2015), ou seja, museus que servem como referencial de trabalho.

A carência de uma coleção científica e um banco de dados sobre os materiais geológicos existentes no acervo do MUSES justifica a realização deste trabalho. Bem como a escassez de literatura atualizada sobre coleções geológicas em museus, o que dificulta encontrar um padrão ou manual que auxilie na curadoria destes materiais.

O objetivo principal é colaborar com estudos na área de curadoria geológica (ou geocuradoria) para profissionais que atuem em museus com este tipo de acervo (geológico), especificamente para museus de cidades interioranas, como o MUSES, ou museus universitários abertos ao público. Em decorrência desse estudo, criar um banco de dados em fichas descritivas de amostras de mão contendo informações geológicas das amostras do acervo e estruturar em manuais estas informações. Além disso, um dos objetivos é implantar dados de descrições microscópicas para fomentar em detalhes amostras específicas do museu.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção traz informações e definições para uma breve contextualização sobre o histórico da museologia no Brasil e no mundo, acervos geológicos em museus, pesquisa científica, patrimônio geológico e geodiversidade.

### Os museus

A *International Council of Museum (ICOM)*, em 2007, definiu os museus como instituições permanentes, sem fins lucrativos, ao serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, abertas ao público, que adquire, conserva, pesquisa, comunica e expõe o patrimônio tangível e intangível da humanidade e do seu ambiente para fins educativos, de estudo e diversão. Desvallées e Mairesse (2010) definem coleção, no contexto da museologia, como “um conjunto de objetos materiais ou imateriais que um indivíduo ou um estabelecimento reuniu, classificou, selecionou e preservou em um local seguro e geralmente exhibe para um público menor ou maior, de acordo com a coleção, pública ou privada”.

Museus são conhecidos por exporem conhecimento das mais diversas áreas do saber. Destacam-se, no Brasil, área de Geociências, museus como o Museu Nacional, Museu de Ciência e Técnica da Escola de Minas/UFOP, Museu das Minas e do Metal, Museu de Geociências da Universidade de São Paulo, Museu de Geociências da Universidade de Brasília, Museu de Ciências da Terra e muitos outros.

Os museus, em geral, surgiram na Europa entre os séculos XVI e XVII, onde viajantes e desbravadores retornavam de suas aventuras com objetos exóticos, o acúmulo destes objetos

## **Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo**

tornou necessário a criação de cômodos específicos para que as famílias da nobreza pudessem exibir suas aquisições exóticas e raras. Esses salões ganharam o nome de gabinetes de curiosidade, onde quanto mais exóticos os objetos, mais eram apreciados pelos colecionadores (GOMES, 2010). Esta cultura foi trazida ao Brasil pela Família Real, apreciadora da arte do colecionismo e exibição. O colecionismo era visto como uma forma diferente de poder e durante os séculos XVIII e XIX, foi consolidada entre a alta sociedade europeia a ideia de que as coleções funcionavam como uma eficaz ferramenta de aperfeiçoamento de conhecimento de ciências, letras e artes (AZEVEDO & DEL LAMA, 2015).

### **Geoconservação**

O termo Geoconservação é utilizado para variadas atividades que se relacionam à proteção do Patrimônio Geológico, sendo um termo amplo e generalista que inclui atividades de levantamento básico até as práticas de gestão.

Como Patrimônio Geológico, temos os geossítios que o constituem. Estes geossítios registram a memória da história da Terra, em períodos específicos e que incluem afloramentos de rochas, minerais, fósseis, conjuntos de valor paisagístico, como serras, montanhas, picos, vales e coleções de museus de geociências ou de história natural (NASCIMENTO et al., 2015). Este mesmo autor trata como geossítios: afloramentos de rochas; minerais; fósseis; conjunto de valor paisagístico: serras, montanhas, picos, vales; e coleções de museus de geociências ou de história natural.

Gray (2004) e Brilha (2005) atribuíram e definiram valores científicos e educativos para a geodiversidade de acordo com as características dos geossítios. O valor científico é avaliado pelo acesso e posterior estudo da geodiversidade, de forma fundamental ou aplicada. Onde se conhece e interpreta a geodiversidade para reconstruir a história da Terra. No caráter educativo tem-se a potencial capacidade de melhorar a relação entre as pessoas com a geodiversidade, a fim de propagar o conhecimento geológico e evitar que as pessoas ocupem áreas de potencial risco geológico (vulcanismo, deslizamento, terremoto, entre outros). Ainda segundo os autores, o entendimento do conjunto dos valores contribui para o fortalecimento de uma consciência ambiental que se dirija à preservação dos elementos abióticos da paisagem.

### **METODOLOGIA**

O material em exposição do acervo de Geologia do MUSES é formado por 25 amostras de rochas, sendo 9 de origem ígnea, incluindo as rochas piroclásticas, 8 de origem metamórfica e 8 de origem sedimentar. A coleção conta ainda com 51 amostras de minerais e duas amostras de meteorito. Destes minerais, 4 são representantes de variedades gemológicas de ocorrência no sul do estado do Espírito Santo e no norte do estado do Rio de Janeiro. O acervo pétreo não exposto na vitrine é armazenado na reserva técnica ou compõe a coleção para exposições itinerantes e MUSES Sensorial (projeto de exposição do MUSES no qual o visitante pode manusear as amostras). 40 amostras de rochas e 120 amostras de minerais constituem a reserva técnica. O acervo itinerante e sensorial conta com 1 rocha e 11 minerais, além de material didático para fins museográficos, como maquetes.

A fase de campo para coleta de amostras foi realizada em três dias, no total. As atividades consistiram no reconhecimento das litologias e suas variações faciológicas, na delimitação das bordas dos corpos. As amostras coletadas para confecção de lâminas petrográficas foram alocadas em sacos plásticos específicos e prontamente identificadas.

A etapa pós-campo caracterizou-se, em primeiro momento, na descrição de propriedades macroscópicas das litologias. Em seguida, foram confeccionadas aproximadamente cinco lâminas petrográficas no Laboratório de Preparação de Amostras

(LPA) do Departamento de Geologia CCENS/UFES. Posteriormente, houve a análise petrográfica, sob o microscópio de luz polarizada, para determinação dos minerais essenciais, acessórios e secundários, classificação da rocha em diagramas específicos.

Com o intuito de contribuir na organização da coleção científica do MUSES, foram selecionadas dentro do material geológico, 4 amostras de rochas para confecção de lâmina delgada. Os critérios utilizados para a escolha foram: diversificação da natureza das rochas (ígneas; sedimentar e metamórfica). As informações provenientes da descrição das lâminas petrográficas contribuem para a classificação e enriquecimento de informações sobre as rochas do acervo. Três destas rochas ainda não estão no acervo permanente do museu, mas irão complementar a coleção após a descrição petrográfica. Os dados obtidos foram incorporados ao banco de dados do MUSES e as lâminas, incorporadas à reserva técnica, onde a necessidade de exposição ou uso em trabalhos futuros ditará a abordagem necessária da sua etiquetagem.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Geocuradoria**

Para a organização da coleção Geológica – Geocuradoria – uma inicial descrição das amostras se faz necessária. As descrições fornecem dados sobre o objeto, e sendo este objeto exposto em vitrine, toda a informação relevante para o público deve ser adicionada na etiqueta de identificação da vitrine. Em objetos não expostos, como na reserva técnica, os dados devem ser registrados no livro tomo e na ficha descritiva. O livro tomo e ficha a descritiva devem receber toda e qualquer informação inerente ao objeto, seja qual for o seu uso ou ambiente de acomodação.

As fichas descritivas formam um acervo de dados do museu mais detalhado, apesar de sua simplicidade de dados requeridos, elas complementam as informações do livro tomo.

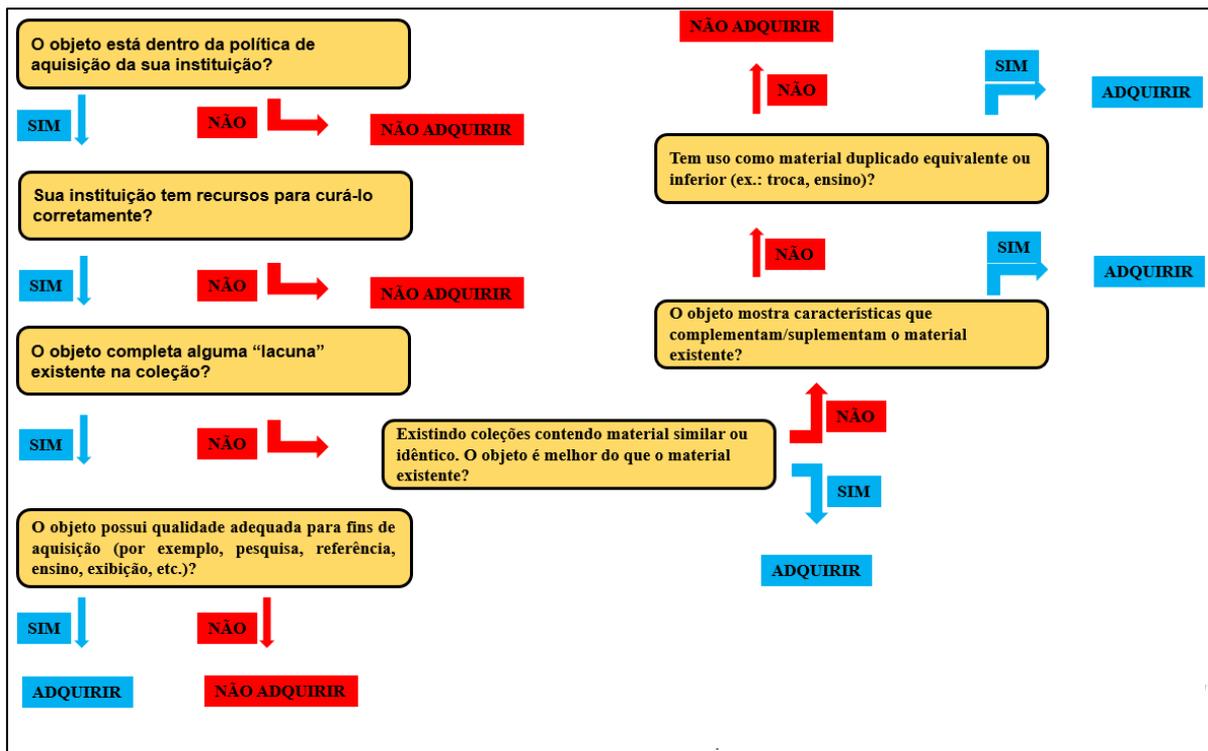
O Livro Tombo é a base de dados escrita, onde são inseridas informações sobre cada peça da coleção do museu. Esses dados são acompanhados de números (também inseridos nas amostras) para facilitar a identificação do material no museu. Tanto descrições macroscópicas quanto microscópicas podem ser registradas, mas normalmente, por falta de espaço, essas informações sofrem extrema simplificação. Para compensar essa simplificação, mas ainda abordar as características do material de forma objetiva foram confeccionadas fichas descritivas (Figura 03) uma adaptação da Norma ABNT NBR15845-1 de 07/2015: Rochas para revestimento - Parte 1: Análise petrográfica em uma tabela para descrição do mostruário geológico do museu, com informações complementares para o livro tomo.

## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo

Ficha de Descrição Petrográfica								
Executor(a): [Inserir aqui fotografia da amostra]				Data: Amostra: [Inserir aqui no número tombo] Tipo: Sedimentar Local de coleta: Coletor: Data da doação: Doador: Empréstimo				
Características			Macroscopia			Microscopia		
Padrão Cromático			Cinza escuro					
Estrutura			Laminações (fissilidade?)					
Textura								
Granulação**			Fina (muito fina)					
Alteração	Tipo		Intempérica	Hidrotermal/ Deutérica	Intempérica	Hidrotermal/ Deutérica		
	Grau	1- Ausente						
		2- Incipiente						
		3- Fraco						
		4- Moderado						
5- Intenso								
Estado microfissural	Tipo (_granular)		Intra	Inter	Trans	Intra	Inter	Trans
	Grau	a- Não visível						
		b- Fraco						
		c- Moderado						
d- Intenso								
Composição Mineralógica (%)	Essencial							
	Acessória							
	Alteração							
Dimensões (cm)*** Massa (kg)								
Observações								
Classificação								
* Adaptação da Norma ABNT NBR15845-1 de 07/2015: Rochas para revestimento - Parte 1: Análise petrográfica								
** Granulação: F: Fina (<1mm), M: Média (1-5mm), G: Grossa (5-30mm), MG: Muito grossa (> 30 mm)								
***Nos dois maiores eixos da base e a espessura, em caso de amostras redondas informar o raio								

**Figura 03.** Modelo de Ficha de descrição propostas para geouradoria no MUSES.

No que se refere à aquisição de amostras, o MUSES possui sua própria política de aquisição de material, embasadas em normas generalistas dos museus brasileiros. No entanto trabalhos como este mostram pontos fracos a serem estudados e fortalecidos na instituição. Em termos de política de aquisição, para o MUSES, nunca se pensou em algo devidamente claro e caracterizado para construir esta política. Mas de forma intuitiva, o MUSES preza por amostras de rochas que representem a geologia regional do estado do Espírito Santo e/ou que contribuam didaticamente para a popularização das geociências. Tendo esta base intuitiva da instituição, pode-se tomá-la como requisitos de aquisição de material, e assim utilizar o fluxograma apresentado na Figura 4.



**Figura 4.** Fluxograma para aquisição de material pétreo. Adaptado de Brunton, Besterman e Cooper (1984).

Para manutenção e cuidado com as coleções geológicas, as amostras devem ser armazenadas em local limpo, e devem ser limpas pelo menos quinzenalmente para que o acúmulo de pó não altere propriedades físicas das amostras como a cor e o brilho. A limpeza de material geológico varia de acordo com a composição, formato e fragilidade do material (material sedimentar ou pedológico pode se fragmentar com facilidade durante o manuseio). As medidas tomadas na limpeza e manutenção no MUSES são bem simples e visam evitar o acúmulo de pó e umidade no espaço de alocação do mostruário. O material utilizado para manutenção do acervo deve ser exclusivo para este fim.

O pó pode ser removido com pincéis de diversos tamanhos ou até mesmo escova de dente, onde as dimensões e formato da amostra ditarão o tipo de pincel necessário, e em alguns casos o uso de pano de limpeza multiuso pode ser mais eficiente. Amostras com superfície irregular, mas com alta resistência ao manuseio, como rochas ígneas, sedimentares e minerais com dureza acima de 5 e maiores que um polegar o pincel pode ser redondo e ter cerdas mais rígidas. Nas amostras com superfície lisa/regular, com alta resistência e brilho vítreo, os pincéis com cerdas macias e/ou pano de limpeza multiuso podem ser utilizados na limpeza.

O Quadro 1 traz as especificidades do material e o método comum de limpeza, que visa o cuidado ao selecionar os instrumentos. É uma limpeza baseada na fricção ou arraste de algo na superfície da rocha ou mineral para remover impregnações de poeira e poluição. A atenção para a dureza e resistência à fricção do material deve ser levada em consideração para que a conservação do material geológico seja respeitada e o objeto não defina ao longo dos anos.

## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo

**Quadro 1.** Especificidades do material pétreo e materiais utilizados para sua limpeza.

	Superfície		Dureza/resistência ao manuseio		Tamanho	
	Irregular/ Áspera	Regular/ Lisa	Dureza $\geq$ 5/ alta resistência	Dureza $\leq$ 5/ baixa resistência	>1 polegada ou 2,54 cm	<1 polegada ou 2,54 cm
<b>Pincel grosso e macio</b>		X		X	X	
<b>Pincel grosso e rígido</b>	X		X		X	
<b>Pano de limpeza macio</b>		X	X		X	
<b>Pincel fino e macio</b>		X		X		X
<b>Evitar limpar</b>				X		X

### Descrição de lâminas delgadas

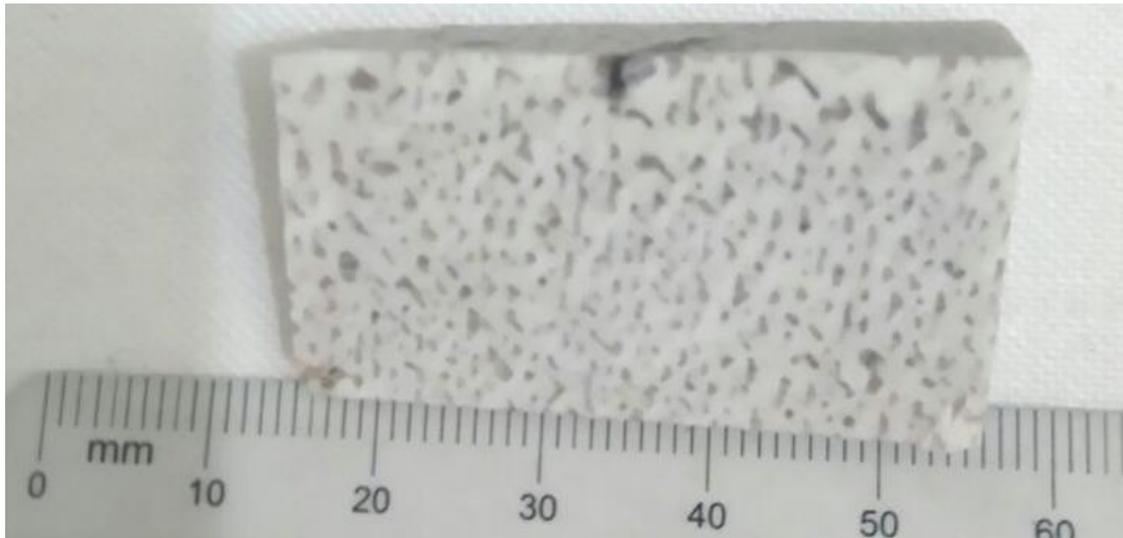
Para descrição petrográfica, foram selecionadas as amostras mais representativas de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, sendo confeccionadas para tanto, lâminas delgadas. A rocha magmática escolhida foi um pegmatito oriundo da localidade de Mimoso do Sul (ES). A rocha metamórfica é um granulito de Bom Jesus do Norte (ES). As duas rochas sedimentares são arenitos oriundos da África do Sul.

### *Pegmatito de Mimoso do Sul – ES*

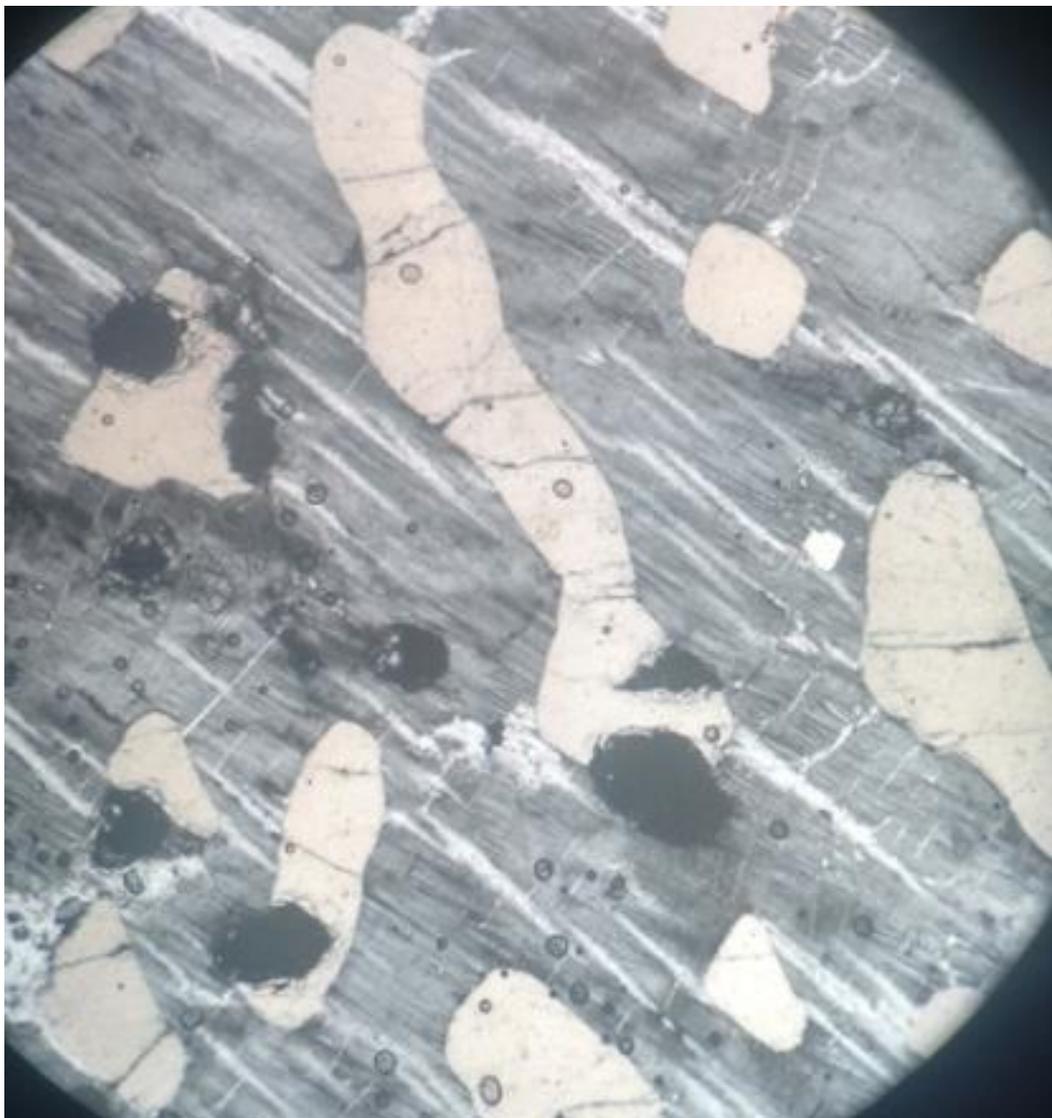
O estudo proposto refere-se a pegmatitos, por se tratar de rochas que são fonte da maioria dos minerais-gema, minerais industriais e dos elementos raros. O Brasil representa uma importante fonte mundial de metais raros (e.g. berílio, lítio e tântalo), que são explorados principalmente na Província Pegmatítica Oriental. Essa província localiza-se na região nordeste de Minas Gerais, Sul da Bahia e oeste do Espírito Santo, entre os principais minerais-gemas destacam-se água-marinha, turmalinas, crisoberilo, kunzita, hiddenita, andaluzita e granadas entre outros, além disso, ocorre uma série de minerais industriais e de minerais-gemas menos comuns sem similares em nenhum outro local (GANDINI, 1999).

Os pegmatitos da região sul do Espírito Santo são pouco estudados, no que diz respeito aos aspectos mineralógicos e geológicos. Relatos de mineralizações de berilo (água-marinha), topázio, ametista e crisoberilo, associadas a intrusões de pegmatitos, estão fartamente documentados no histórico mineral do estado e ratificam o potencial metalogenético.

A porção da rocha extraída para análise sob o microscópio petrográfico representa a textura gráfica (Figura 5). Essa textura está associada ao intercrescimento concomitante de quartzo e K-feldspato, ou seja, um processo de epitaxia entre os dois tectossilicatos. Tal textura é evidenciada também, em microscopia, pelo fato de todos os grãos de quartzo, de hábito cuneiforme, se extinguem ao mesmo tempo em luz polarizada (Figura 6). Outra textura marcante é a presença de mesopertita nos grãos de K-feldspato (ortoclásio). As exsoluções adquirem formas retangulares de até 5 mm. Formas lamelares também são comuns.



**Figura 5.** Porção do Pegmatito extraída para análise sob o microscópio petrográfico.  
Fonte: Os autores.

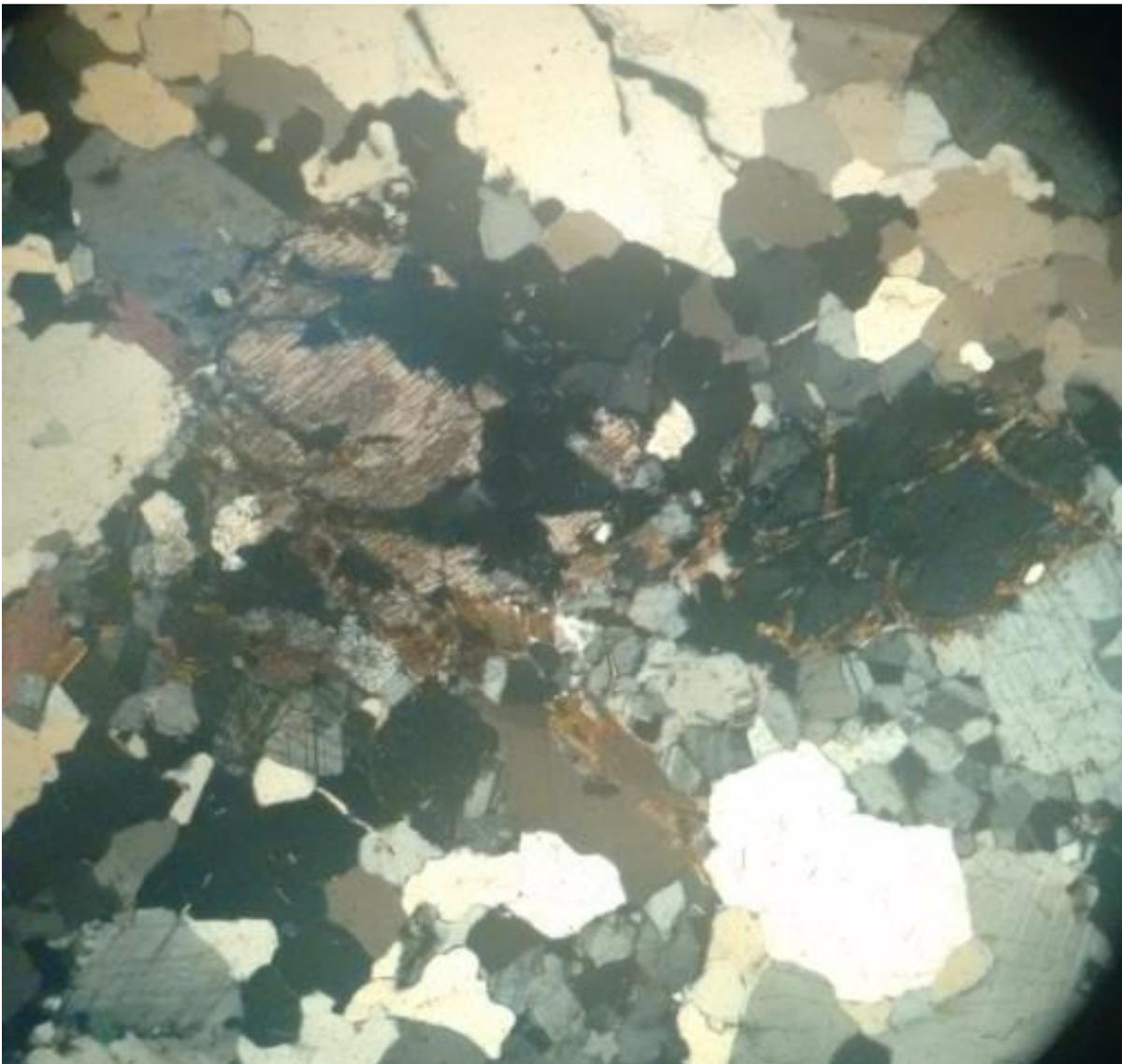


**Figura 6.** Fotomicrografia do pegmatito mostrando a textura gráfica, em luz polarizada e aumento de 40X. Fonte: Os autores.

## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo

### *Granulito de Bom Jesus do Norte*

De particular interesse, objetivou-se o estudo de um granulito (Figura 7) de Bom Jesus do Norte – sul do Espírito Santo. Segundo Marques (2015), o conjunto litológico registra idade de  $2157 \pm 6$  Ma. pelo método Laser Ablation U-PB, com recristalização no Neoproterozoico ( $593,1 \pm 4,3$ Ma.), indicando que houve um processo deformacional durante o Ciclo Brasileiro. Concomitante a isso, as rochas foram submetidas ao metamorfismo de alto grau, gerando as texturas descritas a seguir. No contexto macroscópico, os afloramentos são heterogêneos que constituem ortogranulitosleucocráticos de coloração amarelada de granulação média a grossa; ortognaisses (charnockíticos) porfiríticos; hornblendaortognaisse; e ortognaisse cinza de granulação média.



**Figura 7.** Fotomicrografia do granulito em Luz Polariza, e objetiva de 100X de aumento.

Fonte: Os autores.

Sob o microscópio petrográfico, trata-se de um conjunto inequigranular e porfiroblástico, com grãos variando entre 0,125 e 0,5 mm, podendo ultrapassar estas dimensões por alguns milímetros em grãos de quartzo e plagioclásio. Em outras palavras, a granulação da

rocha varia de fina a grossa. As texturas são dos tipos granoblástica e lepidoblástica, com biotitas orientadas.

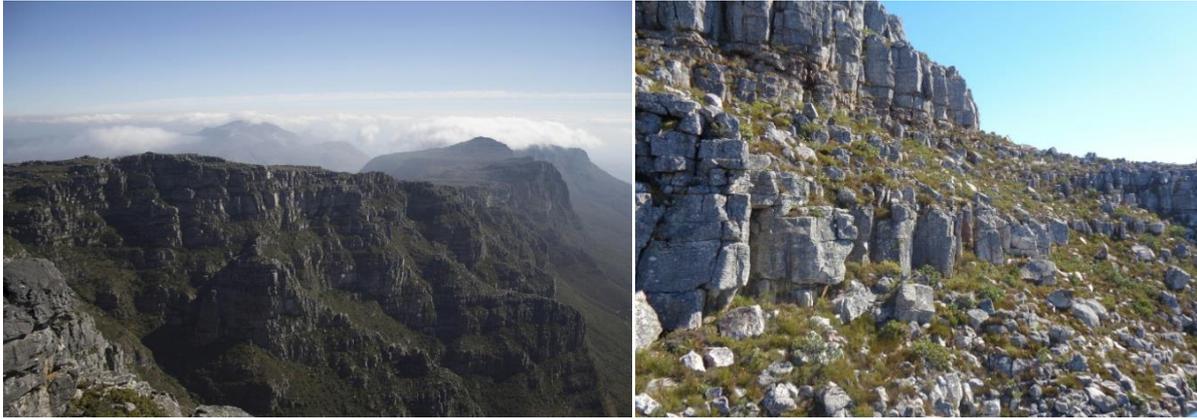
O litotipo é composto essencialmente por: plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio e biotita. Possui ainda zircão, como minerais acessórios, e epidoto como mineral secundário. Os grãos de plagioclásio são comumente idioblásticos a subdioblásticos, com hábito tabular e granulação variando entre 0,25mm a 2,5mm. Os maiores cristais são, normalmente, antipertíticos. Já os grãos de granulação média ou fina se mostram com textura granoblástica e contatos poligonizados em 120°. Tal microestrutura é resultante de deformação intracristalina indicando que houve recristalização estática, que na verdade, representa o abrandamento (annealing) da estrutura cristalina, ainda estável, após o processo deformacional. Além disso, a poligonalização em plagioclásio indica que os processos deformacionais ocorreram acima de 700°C. O tamanho dos grãos de quartzo varia de 0,25 à 1,25mm, a maioria é subdioblástica a xenoblástica quando maiores. Nas menores frações os grãos apresentam-se xenoblásticos com contatos retos em junções poliedrais tríplices em aproximadamente 120°. Os grãos menores ao redor dos porfiroclastos de feldspato indicam uma feição de diminuição de cristais, muito comum durante o desenvolvimento do metamorfismo dinâmico (milonitização). A biotita é representada por grãos subdioblásticos a idioblásticos com granulação variando de 0,25 a 0,75mm, e sua relação de contato com outros minerais é reta. A orientação dos grãos é bem demarcada, refletindo a foliação da rocha. O pleocroísmo varia em tons castanhos escuros e amarelo terroso. O ortopiroxênio ocorre invariavelmente em grãos xenoblásticos, com granulação de 0,1 a 0,5mm. Os cristais possuem aparência desgastada e pleocroísmo em tons de rósea. A rocha possui, ainda, zircão como mineral acessório, epidoto como mineral secundário, minerais opacos e mimerquita. São cristais de granulação fina. De acordo com as características observadas, a rocha é ortoderivada e de composição tonalítica/enderbítica (diagrama de STRECKEISEN, 1974). Portanto, pode ser classificada como um granulitofélsicomilonitizado.

Com o estudo petrográfico, é possível gerar registros informativos sobre o granulito de Bom Jesus do Norte. A litologia em questão mostra, a partir de evidências texturais e deformacionais, que o Sul do estado do Espírito Santo esteve sobre um processo metamórfico-deformacional, no qual gerou cadeias de montanhas devido à colisão de placas durante o Neoproterozoico. A presença de ortopiroxênio no conjunto litológico pode caracterizar que o metamorfismo atingiu faciesgranulito. Marques (2015) destaca que, para os granulitos e ortognaisses heterogêneos da região, a identificação de feições reliquias magmáticas pode ser feita por meio de grãos de plagioclásio euédricos em forma de fenocristais. Ao analisar a geotermobarometria do Domínio Cambuci, Marques (2009) definiu que para o contexto regional do Setor central da Faixa Ribeira, o terreno atingiu o pico metamórfico em faciesgranulito. No caso dos metabasitos e metapelitos do Domínio Cambuci, dois eventos térmicos foram identificados por Marques (2009), ambos de altas temperaturas, porém o primeiro com pressões mais baixas que o segundo.

### ***Arenito The Table Mountain National Park***

A rocha é um arenito extraído do *Table Mountain National Park*, ou Parque Nacional Montanha da Mesa, situada na Cidade do Cabo – África do Sul. O Parque foi eleito como uma das sete maravilhas naturais em 2011 e é conhecido internacionalmente, sendo dos lugares mais visitados de toda África. No parque os visitantes exploram o monumento natural através de trilhas, cercado por toda parte pelas formações rochosas areníticas (Figura 8).

## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo



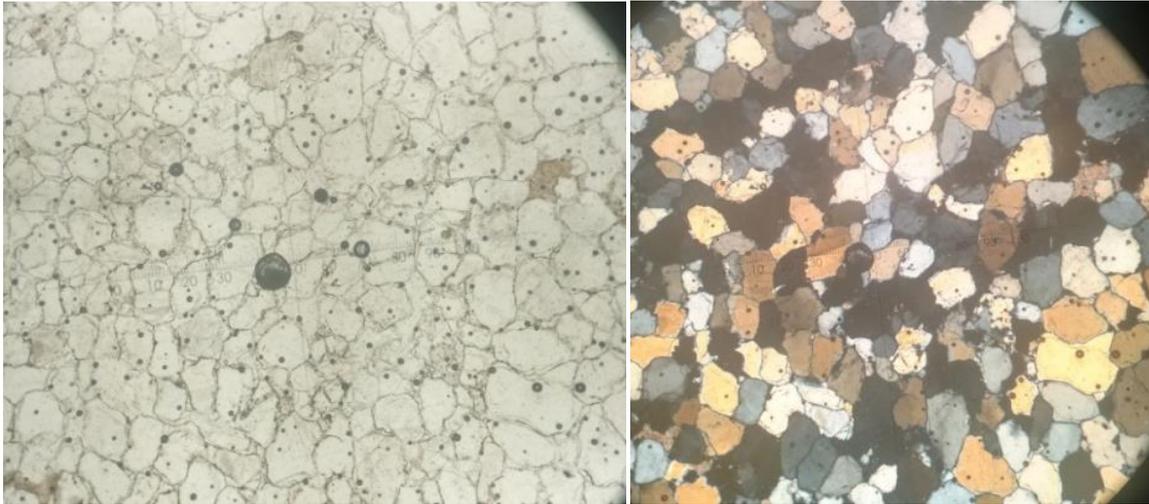
**Figura 8.** Na esquerda, vista do *Table Mountain*. Na direita, vê-se o afloramento de coleta da amostra de arenito. Fotografia: Rodson de Abreu Marques.

Macroscopicamente, o arenito exposto na coleção de Geologia do MUSES, é de cor branca com porções pontuais escuras e estrutura levemente foliada (Figura 9). O arcabouço da rocha é composto essencialmente por grãos de quartzo de baixa esfericidade e com baixo grau de arredondamento. Os grãos da rocha são cimentados por sílica. O material constituinte da rocha é muito bem selecionado, e o diâmetro dos grãos varia entre 0,25 a 0,5mm, e são classificados na classe (Wentworth) de areia média. O contato entre os grãos pode ser do tipo serrilhado ou reto (Figura 10).

O quartzo perfaz cerca de 95% da rocha e o restante é ocupado por mica, provavelmente sericita (com granulação variando entre 0,25 e 0,5mm). Não são visíveis poros ou espaços vazios entre os grãos da amostra. De acordo com o triângulo de classificação de arenitos de Folk (1968), a rocha é classificada como um quartzo arenito.



**Figura 9.** Amostra de mão do arenito do *Table Mountain National Park*;



**Figura 10.** À esquerda, fotomicrografia em lâmina delgada do quartzo arenito em Luz Plano Polarizada com 40X de aumento; À direita, fotomicrografia em lâmina delgada do quartzo arenito em Luz Polarizada com 40X de aumento. Fonte: Os autores.

### *Arenito Garden Route*

A amostra (Figura 11) é um arenito coletado na região de *Calitzdorp*, na África do Sul, região que apresenta grande interesse turístico, com trilhas realizadas no cenário das montanhas areníticas esverdeadas que culminam na *Cango Caves*, a maior caverna turística da África (Figura 12). Desta região provém a segunda amostra escolhida para confecção e análise de lâmina delgada.



**Figura 11.** Amostra de mão do Arenito maciço de cor verde da região de Calitzdorp, África do Sul. Fonte: Os Autores.

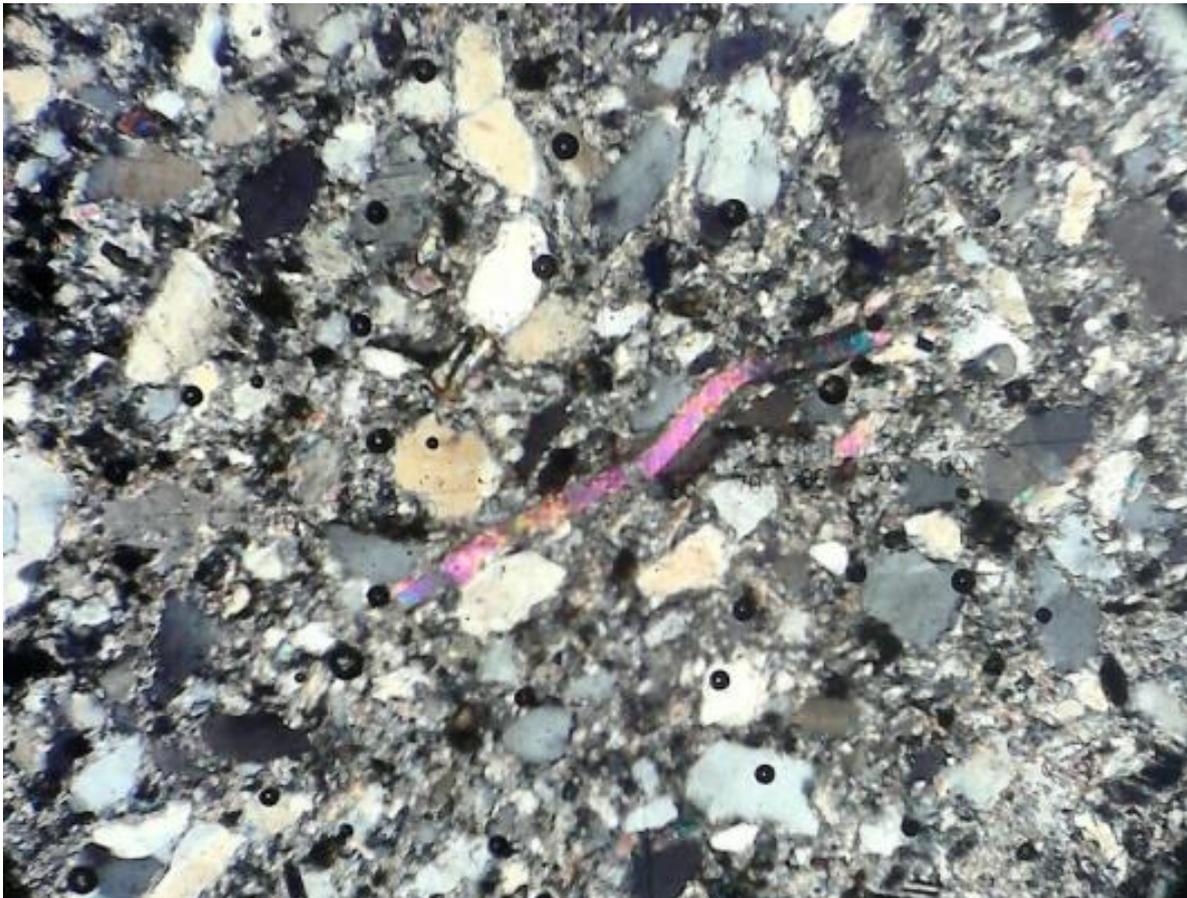
## Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo



**Figura 12.** À esquerda, Cadeias de montanhas areníticas nas proximidades da cidade de Calitzdorp, África do Sul; À direita, Formação calcária *The Congo Caves*, África do Sul.

Foto: Rodson de Abreu Marques

A rocha tem arcabouço composto essencialmente por grãos de quartzo de baixa esfericidade, e com médio grau de arredondamento e, a matriz por sericita. É uma rocha matriz suportada. O material constituinte da rocha é mal selecionado, e o diâmetro varia entre 0,125 a 0,75mm, e são classificados na classe de areia média da tabelas de Wentworth. Os grãos não fazem contato, a sericita preenche toda a matriz de forma que os grãos de quartzo e plagioclásio não se toquem com frequência (Figura 13).



**Figura 13.** Fotomicrografia do arenito verde de Calitzdorp em Luz Polariza, e objetiva de 100X aumento. Fonte: Os autores

O quartzo perfaz cerca de 40% da rocha, com granulação entre 0,125 e 0,35. Apresenta baixa esfericidade, e médio grau de arredondamento. A sericita perfaz cerca de 40% da rocha e ocupa os espaços entre os grãos de quartzo e plagioclásio. Tende a seguir uma direção preferencial, mas não persiste ao longo da lâmina. A granulação varia de 0,25 e 0,75. Os maiores grãos ocorrem em hábito tabular. O feldspato (ortoclásio) perfaz cerca de 20% da rocha. Apresenta baixa esfericidade, e médio grau de arredondamento. A titanita ocorre como mineral acessório e perfaz menos de 1% da rocha. São grãos de hábito prismático, mas com bordas fragmentadas. Ocorrem também de forma arredondada. A granulação varia de 0,125 e 0,25mm. De acordo com o triângulo de classificação de arenitos de Folk (1968), a rocha é classificada como um arenito arcoseano.

### CONCLUSÃO

Trabalhos da área de educação básica no MUSES são exemplos de como o conteúdo de Geologia pode ser sintetizado e seus jargões simplificados para que um público mais amplo seja alcançado. Essa sempre foi uma ótima forma de extrapolar a zona de conforto do bacharel em Geologia e fazê-lo explorar espectros pouco abordados da área de atuação. Outra abordagem é a exploração da geodiversidade do estado do Espírito Santo através do acervo do museu. Essa atenção é nova e necessita de um envolvimento maior da sociedade e da universidade.

A inserção de trabalhos na área de geodiversidade no museu fortalece o sentimento de patrimônio geológico e a necessidade de prezar por sua conservação. A geoconservação passa a prezar não apenas pelos sítios, mas também pelas coleções de museus com acervos geológicos. As coleções geológicas em museus não são pensadas como partes do patrimônio natural e/ou geológico, principalmente no Brasil. O trabalho realizado no MUSES não é comum, mas é algo necessário e que infelizmente ainda não começou a ser pensado com mais afinco nos museus brasileiros.

Abastecer o acervo de dados das amostras do museu enriquece o conhecimento disponível sobre a amostra. De uma forma direta, o aspecto descritivo de lâminas e formas de conservação do acervo tangem a temática da geoconservação no Brasil. E como a geoconservação deve ser aplicada também às coleções geológicas, a coleção pétreo do museu pode e deve ser encarada como contribuinte da preservação do patrimônio geológico e popularização das geociências.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, S. C. P. et al. Museu De História Natural Do Sul Do Estado Do Espírito Santo: resgate do patrimônio geológico e divulgação da geologia. In: 48° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016. Porto Alegre. **Anais do 48° Congresso Brasileiro de Geologia**. Porto Alegre. SBGeo, 2016.

ASSIS S. C. P.; MARQUES R. A.; SOUSA L. Geologia e extensão: Relatos de experiências no Museu de História Natural do Sul do Estado do Espírito Santo. In: V JORNADA INTEGRADA DE EXTENSÃO E CULTURA. Alegre, 2017. **Anais...** Revista Guará. 5(7). p. 28. 2017.

**BRASIL. NORMA ABNT NBR15845-1 de 07/2015: Rochas para revestimento - Parte 1: Análise Petrográfica.** Brasília. 2015.

## **Organização e implementação de coleções geológicas no museu de história natural do Sul do Espírito Santo**

BRILHA, J. B. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Palimage, 2005.190p.

BRUNTON, C. H. C.; BESTERMAN, T. P.; COOPER, J. A. **Guidelines for the curation of geological materials**. Geologicalsociety, 1985.

DE AZEVEDO, M. D. P.; DEL LAMA, E. A. Conservação de coleções geológicas. **Geologia USP**. v. 7, p. 5-105, 2015. Publicação Especial.

DESVALLÉES, A.; MAIRESSE, F. (Ed.). **Key concepts of museology**. Armand Colin, 2010.

DOUGHTY, P. Howthingsbegan: the origins of geological conservation. **Geological Society, London**, v. 300, n. 1, p. 7-16, 2008. Special Publications.

GANDINI, A. L. **Aspectos da Mineralogia, Geoquímica, Gênese e Potencialidade Econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). 1999.

GOMES, M. F. D. L. Museus mineralógicos – armazéns de minerais ou parceiros do ensino? Três museus - Três Perspectivas. Im: 1º SEMINÁRIO DE INVESTIGAÇÃO EM MUSEOLOGIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA E ESPANHOLA, 2010. Porto. **Actas do ...** v. 1, 248-258. 2010. Porto:Universidade do Porto. 2010.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 1. ed. Londres: John Wiley e Sons Ltd., 2004, 434p.

ICOM. Museum Definition, 2007. Disponível em: <<http://icom.museum/the-vision/museum-definition/>> Acesso em: 22 de março de 2017. INSTITUTO BRASILEIRO DE MUSEUS (IBRAM) (2017). Guia dos museus brasileiros. Brasília: Ibram.

MARQUES, R. A. Evolução metamórfica do Terreno Oriental da Faixa Ribeira entre Italva e Bom Jesus do Itabapoana, noroeste do RJ. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 191p. 2009.

MARQUES, R. A. Litogeoquímica, Geocronologia U-Pb, Geologia isotópica Sr-Nd dos granitoides do Domínio Cambuci, Faixa Ribera, na região limítrofe dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Tese de doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 360p. 2015.

MARQUES, R A.; CASTRO, L. S.; ASSIA, S C. P.; FERREIRA, L. A. M.; PIMENTA, M. S.; SOUZA JÚNIOR, G. F. O Museu de História Natural do Sul do Estado do Espírito Santo e os modelos cristalográficos educativos na área de Geociências. IN: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA. Ouro Preto, (2016). **ANAIS .... CBEU**. 2016.

MENEZES, U. B.. A comunicação/informação no museu: uma revisão de premissas. In: **I Seminário Serviços de Informação em Museus**. São Paulo: Pinacoteca do Estado, 2010, p. 11-21

STRECKEISEN, A. Classification and nomenclature of plutonic rocks.  
**GeologischeRundschau**.v. 63, p.773–786. 1974.



### Capítulo 3

#### Rochas alcalinas: conceitos e mineralização de fosfato

*Flávia Compassi da Costa<sup>1</sup>; Ariadne Marra de Souza<sup>2</sup>; Mauro Cesar Geraldes<sup>3</sup>*

**RESUMO.** No Brasil existem vários tipos de rochas alcalinas localizadas no sudeste e em sua maior parte ao longo da costa e nas bordas da Bacia do Paraná. As principais ocorrências estão em Poços de Caldas (MG), Ilha de São Sebastião (SP). Porém é no Rio de Janeiro que ocorre o maior número de intrusões representadas pelos seguintes maciços: Itatiaia, Morro Redondo, Tinguá, Mendanha, Itaúna, Tanguá, Rio Bonito, Morro de São João e Ilha de Cabo Frio. As variedades alcalinas de rochas ígneas possuem grande diversidade mineralógica e importância econômica (associada às elevadas concentrações de elementos, tais como o Tântalo, Nióbio, Titânio e dos Elementos de Terras Raras (ETR) bem como a sua associação com depósitos de apatita). Esse capítulo é uma revisão sobre rochas alcalinas e as mineralizações de fosfatos.

**PALAVRAS-CHAVE.** Fosfato; Magmatismo Alcalino; Recursos Minerais.

#### INTRODUÇÃO

Os complexos alcalinos e rochas alcalinas, apresentam uma enorme gama de variedade litológica, que reflete em parte nas origens magmáticas distintas e nos processos físico-químicos diferenciados. No Brasil ocorrem vários tipos de rochas alcalinas com idades que variam entre Cretáceo médio e Terciário inferior (entre 130-50 milhões de anos).

Na região Sudeste do Brasil, principalmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, concentram-se cerca de 25 pontos isolados de intrusões alcalinas, constituindo uma província magmática com características próprias.

O Estado do Rio de Janeiro exhibe, entre a Serra do Mar e o litoral, uma área plana e rebaixada que constitui a Baixada Fluminense, onde podem ser observados alguns corpos de relevo residuais. Parte desse relevo é formada por plútons de natureza alcalina. Estas ocorrências de rochas alcalinas encontram-se alinhadas segundo dois trends: WSW-ENE e outro WNW-ESE.

Ainda que constituam menos de 1% do volume de todas as rochas ígneas do planeta, as rochas alcalinas possuem grande diversidade mineralógica e certa importância econômica.

Este estudo justifica-se pela importância econômica que está associada às elevadas concentrações de elementos incompatíveis e de grande raio iônico, tais como tântalo, nióbio e dos Elementos de Terras Raras (ETR) bem como a sua associação com depósitos de apatita, mas principalmente pela alta demanda de fosfato no Brasil.

A necessidade de otimização da produção vem se tornando cada vez maior e o procedimento mais comum para tal, é a utilização dos fertilizantes minerais, que têm como principal matéria-prima os chamados agrominerais, tais como apatita, silvita e carnalita.

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Ouro Preto, MG, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (.../CCA-UFES) – Alegre, ES, Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

## **Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato**

Pensando nisso, o aumento na exploração mundial de minerais fosfatados é cada vez maior, tornando-o útil e rentável.

A apatita é um dos poucos minerais a serem produzidos e utilizados por sistemas biológicos, e sua importância está vinculada ao fosfato e à produção de fertilizantes.

Segundo Silva et. al. (2008) o nordeste do estado do Rio de Janeiro se apresenta como uma área de relevante interesse mineral para insumos para a agricultura, dentre outros recursos.

Baseando-se nos critérios acima citados e a grande necessidade do aumento da produção nacional de agrominerais, os quais são enriquecidos em potássio, enxofre e fosfato, evidenciada a cada dia pelo crescimento populacional e a alta demanda por alimentos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o Brasil é um importante player na Indústria Mineral mundial. Todavia, o país ainda é dependente de alguns minerais estratégicos para a economia. O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo e é responsável somente por 2% da produção mundial. O país importa 21% do potássio e 51% do fosfato necessários, ambos essenciais para a indústria de fertilizantes (IBRAM, 2012).

As mineradoras fornecedoras de insumos de fertilizantes estão empenhadas em tornar o Brasil menos dependente da importação de fertilizantes e buscam, com seus investimentos, garantir a segurança necessária aos suprimentos de matérias-primas. Assim a busca por novas áreas se faz cada vez mais necessária.

## **METODOLOGIA**

Foi realizado um levantamento e aquisição de documentação (revisão bibliográfica). Envolvendo estudo de mapas básicos, além de outras fontes de informação tais como dissertação e teses de mestrado e doutorado, revistas, periódicos e artigos técnicos diversos. Selecionando os trabalhos de maior relevância, tanto no que diz respeito ao magmatismo alcalino e seu contexto tectônico, além dos processos e fontes de mineralizações em fosfato.

Reuniram-se os dados de interesse através de resumos com análise crítica e integração dos mesmos, encontrando-se na revisão conceitual e geologia regional.

## **REVISÃO CONCEITUAL**

Os termos: ácido, básico e álcalis são expressões muito antigas, utilizadas em trabalhos geológicos e químicos, mesmo antes do desenvolvimento moderno dessas ciências que ocorreu por volta dos fins do século XVIII. O significado dessas palavras foi gradualmente modificando, infelizmente, as mudanças na geologia e na química não foram às mesmas. O objetivo deste capítulo é o de esclarecer essas nomenclaturas de modo que possamos usar as palavras posteriormente, sem dificuldades.

### **Acidez**

As rochas magmáticas são constituídas, em sua quase totalidade por silicatos, de onde decorre a importância do teor de sílica para sua caracterização e classificação (WERNICK, 2004).

A acidez de uma rocha corresponde ao seu teor em sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em porcentagem de peso, obtido por meio de análises químicas, onde as rochas são classificadas de acordo com o Quadro 1.

**Quadro 1:** Classificação das rochas magmáticas segundo sua acidez. Fonte: (WERNICK, 2004).

ACIDEZ (% SiO <sub>2</sub> )	ROCHA
<45	Ultrabásica
45 – 52	Básica
52 – 65	Intermediária
< 65	Ácida

### Sílica-saturação

É a classificação da rocha quanto à saturação em sílica, identificada através da presença de minerais silicáticos saturados (minerais não deficientes em sílica), insaturados (deficientes em sílica), e sílica livre (através da presença de quartzo) (WERNICK, 2004).

Em relação à disponibilidade de sílica para que os cátions metálicos possam formar silicatos com acidez máxima e em relação a sua estabilidade química na presença de excesso de sílica, os minerais são agrupados em duas categorias:

- Saturados: onde todos os cátions metálicos são neutralizados, formando silicatos com acidez máxima (Ca, Fe, K, Na, Al, Mg, etc).
- Insaturados: faltam cátions neutralizados, cristalizando assim minerais deficientes em sílica.

A sílica-saturação não depende apenas do teor absoluto de sílica de uma rocha, mas sim da relação entre sílica, alumina, óxidos básicos e óxidos alcalinos. Rochas ácidas são geralmente supersaturadas enquanto rochas intermediárias e básicas podem ser tanto supersaturadas, saturadas ou insaturadas (WERNICK, 2004).

### Alumina-saturação

Define-se como o índice de alumina-saturação (IAS) ou índice de alumina-saturação total (IAS<sub>T</sub>) a relação entre a proporção molar de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e a soma das proporções molares de Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO de uma rocha (WERNICK, 2004).

Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e CaO entram principalmente na constituição dos feldspatos e feldspatóides, todos minerais com IAS<sub>T</sub> e IAS<sub>P</sub> (índice de alumina-saturação parcial)= 1.

De acordo com o índice de alumina-saturação as rochas magmáticas são classificadas conforme o Quadro 2.

**Quadro 2:** Classificação das rochas magmáticas segundo o seu IAS<sub>T</sub> e IAS<sub>P</sub>. Fonte: (WERNICK, 2004).

IAS <sub>T</sub>	IAS <sub>P</sub>	ROCHA
>1		Peraluminosa
=1		Subaluminosa
<1	>1	Metaluminosa
<1	<1	Peralcalina

Nas rochas peraluminosas o excesso de alumina, após a saturação dos feldspatos (ou feldspatóides), é incorporado em minerais félsicos e acessórios portadores de alumínio. Nas rochas subaluminosas a alumina ocorre em quantidades exatas para a saturação dos feldspatos (ou feldspatóides), não havendo sobras para a formação de minerais máficos e acessórios aluminosos. Nas rochas metaluminosas o principal elemento afetado pela alumina-insaturação é o cálcio que irá participar da formação de minerais félsicos mais pobres em alumina em

## Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato

relação à anortita. Nas rochas peralcalinas a grande deficiência em alumina afeta, além do cálcio, também os álcalis, principalmente o sódio (WERNICK, 2004).

### Alcalinidade

Envolve o teor relativo de álcalis, sílica e alumina presentes numa rocha. Na cristalização das rochas magmáticas, os álcalis se ligam ao alumínio e ao silício na proporção 1:1:3, na formação dos feldspatos potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), sódico ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e micas (muscovita e biotita). Na quebra desta regra geral, as rochas são denominadas de alcalinas, com o desenvolvimento de minerais específicos que se desenvolvem de três maneiras (WERNICK, 2004):

- Rochas Equítricas: Deficiência em alumina ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Desta forma o alumínio não é suficiente para o consumo de todo o Na e K na produção de feldspatos e micas, sobrando (Na e K) que é incorporado aos minerais máficos sódicos egirina (clinopiroxênio) e riebeckita (anfibólio);
- Rochas Miasquíticas: Deficiência em sílica para o consumo total de Na e K na formação dos feldspatos ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 1/6 \text{SiO}_2$ ). Desta forma ocorrerá a formação de minerais deficientes em sílica: nefelina, leucita e sodalita;
- Rochas Agpaíticas: Deficiência em sílica e alumínio. Ocorrerão os dois casos anteriores, com a formação de minerais máficos sódicos e feldspatóides: egirina, riebeckita, nefelina, leucita e sodalita.

Pelos parâmetros utilizados para a determinação do índice de alcalinidade (IA) conclui-se que ele corresponde, aproximadamente sob aspecto químico, ao conceito da relação entre os feldspatos presentes numa rocha. Tal semelhança é ressaltada pelos nomes dados as diferentes séries magmáticas, tendo-se por base o índice de alcalinidade de Peacock (1931) (Quadro 3).

**Quadro 3:** Classificação das séries magmáticas baseada no IA de Peacock. Fonte: Wernick, 2004.

Série Magmática	IA
Alcalina	< 51
Alcalina-cálcica	52 – 56
Cálcico-alkalina	56 – 61
Cálcica	> 61

### Rocha alcalina

A expressão rocha alcalina é encontrada em várias publicações. Apesar de sua frequente utilização, o significado deste termo não está unificado.

A princípio as rochas alcalinas são definidas pela sua composição mineralógica peculiar, e não por alto teor percentual de álcalis.

Shand (1942 apud Gill 2014) definiu rochas alcalinas com base da composição mineralógica, isto é, as rochas ígneas que contêm feldspatóides modais e/ou minerais peralcalinos modais são chamadas de rochas alcalinas. As rochas alcalinas desta definição são fáceis de serem identificadas por meio da petrografia óptica, entretanto, para aparecer os minerais acima citados, as rochas devem ser altamente subsaturadas em sílica e/ou altamente peralcalinas. Isto é, essas rochas são tipicamente alcalinas. Tais rochas são muito raras na crosta e, portanto, esta definição atualmente pouco utilizada (GILL, 2014).

Por outro lado, muitos geólogos que trabalham com rochas ígneas, sobretudo as basálticas, adotam a seguinte definição: as rochas pertencentes à série alcalina são chamadas de rochas alcalinas. Na prática, esta definição é química, atribuindo rochas alcalinas às rochas

subsaturadas em sílica, propõem a inclusão de rochas peralcalinas, ou seja, as rochas com acmita normativa, na categoria de rochas alcalinas definida por meio químico. Para definir quimicamente as rochas alcalinas, o teor de álcalis relativo à sílica e alumina é importante, e não apenas, o teor percentual de álcalis nas rochas ígneas.

Em campo, rochas alcalinas por definição mineralógica normalmente apresentam a mesma definição por análise química. Contudo, ocorrem rochas não alcalinas no sentido mineralógico e químico.

### **REVISÃO/GEOLOGIA REGIONAL**

A Província Mantiqueira, uma das províncias estruturais definidas por Almeida (1967), cobre uma extensa área e é a mais complexa província estrutural brasileira afetada pelo Ciclo Brasileiro. Esta representa uma entidade geotectônica com franca orientação nordeste, instalada a oeste do Cráton do São Francisco ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, constituindo, juntamente com a Faixa Brasília, a Cunha de Guaxupé e os metassedimentos da denominada Faixa Alto Rio Grande, o arcabouço geotectônico do Sudeste Brasileiro.

Três episódios tectônicos marcantes estão registrados na região sudeste brasileira. O primeiro, registrado em rochas do embasamento cristalino, desenvolveu-se no período compreendido entre o Neoproterozóico e o Cambriano, resultando na edificação da Faixa Ribeira, onde está inserida a área de estudo, durante a amalgamação do Supercontinente Gondwana. O segundo episódio está associado à ruptura do supercontinente, a abertura do Oceano Atlântico Sul e a implantação das Bacias marginais petrolíferas de Espírito Santo e Campos. O terceiro episódio resultou em importante reativação tectônica da margem sudeste brasileira, resultando na geração do sistema de Rifts do Sudeste, contemporâneo ao extensivo magmatismo de caráter alcalino de idade Eocretácea a Eocênica, dentre eles o que deu origem ao Morro de São João (GERALDES, 2012).

#### **Arcabouço tectônico regional do sudeste brasileiro**

O arcabouço geotectônico da Região Sudeste do Brasil é formado por um núcleo estável no Neoproterozóico, designado de Cráton do São Francisco (CSF) (ALMEIDA, 1983), circundado por orógenos instalados no Neoproterozóico, durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana, cuja estabilização desempenhou importante papel na aglutinação deste setor do Gondwana. Esses orógenos foram inicialmente designados de Faixa Brasília a oeste, Faixa Ribeira a sul-sudeste e Faixa Araçuá a leste.

A Faixa Ribeira, segundo Almeida (1983), constitui uma entidade geotectônica do Neoproterozóico. O Estado do Rio de Janeiro localiza-se na porção interna deste cinturão. Portanto, a compartimentação tectônica dos terrenos que compõem a geologia deste estado está vinculada à evolução tectono-metamórfica da Faixa Ribeira. Esta evolução orogênica, considerada por Heilbron (1995) como a mais nova no cenário das colagens brasileiras/pan-africanas do segmento crustal considerado, foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos.

#### **Faixa ribeira**

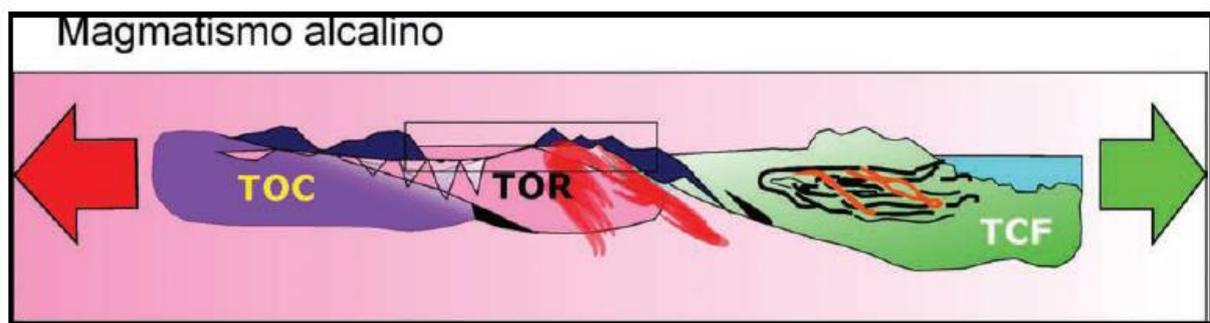
A Faixa Ribeira ou Orógeno Ribeira é dividido em cinco unidades tectono-estratigráficas, separados por falhas de empurrão ou cisalhamento oblíquo transpressivo, denominados Ocidental, Paraíba do Sul, Embu, Oriental e Cabo Frio, sendo os quatro primeiros

## Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato

amalgamados há 580 Ma, enquanto o Terreno Cabo Frio só foi amalgamado aos demais em 520 Ma (TUPINAMBÁ, TEXEIRA e HEILBRON, 2000).

### Sistema de rifts do sudeste e magmatismo associado

Um episódio tectônico marcante está representado pela reativação tectônica que se desenvolveu no período entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, que originou o Sistema de Rifts da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976) ou Rifts Continentais do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), o processo de separação evoluiu para um período de deriva continental (Figura 1) onde a plataforma da América do Sul migrou na direção E para W com esforços tectônicos predominantemente extensionais no interior do continente. Estes esforços tectônicos de caráter extensionais promoveram ajustes no interior da plataforma resultando na geração do Rift do Sudeste do Brasil.



**Figura 1.** Perfil esquemático para os ambientes geológicos durante a formação do magmatismo alcalino no rift do sudeste do Brasil. TCF (Terreno Cabo Frio); TOR (terreno Oriental); TOC (Terreno Ocidental).

Esta feição tectônica é expressa pelo alinhamento de bacias sedimentares isoladas desde o Paraná (Bacia de Curitiba), passando por São Paulo (Bacia de São Paulo e Taubaté) e se estendendo até o Rio de Janeiro (Resende, Volta Redonda, Macacú, Itaboraí e Barra do São João).

A abertura para a formação destas bacias foi acompanhada pelo magmatismo alcalino representado por cerca de duas dúzias de corpos intrusivos (GERALDES, 2012).

### Intrusivas alcalinas meso-cenozóicas

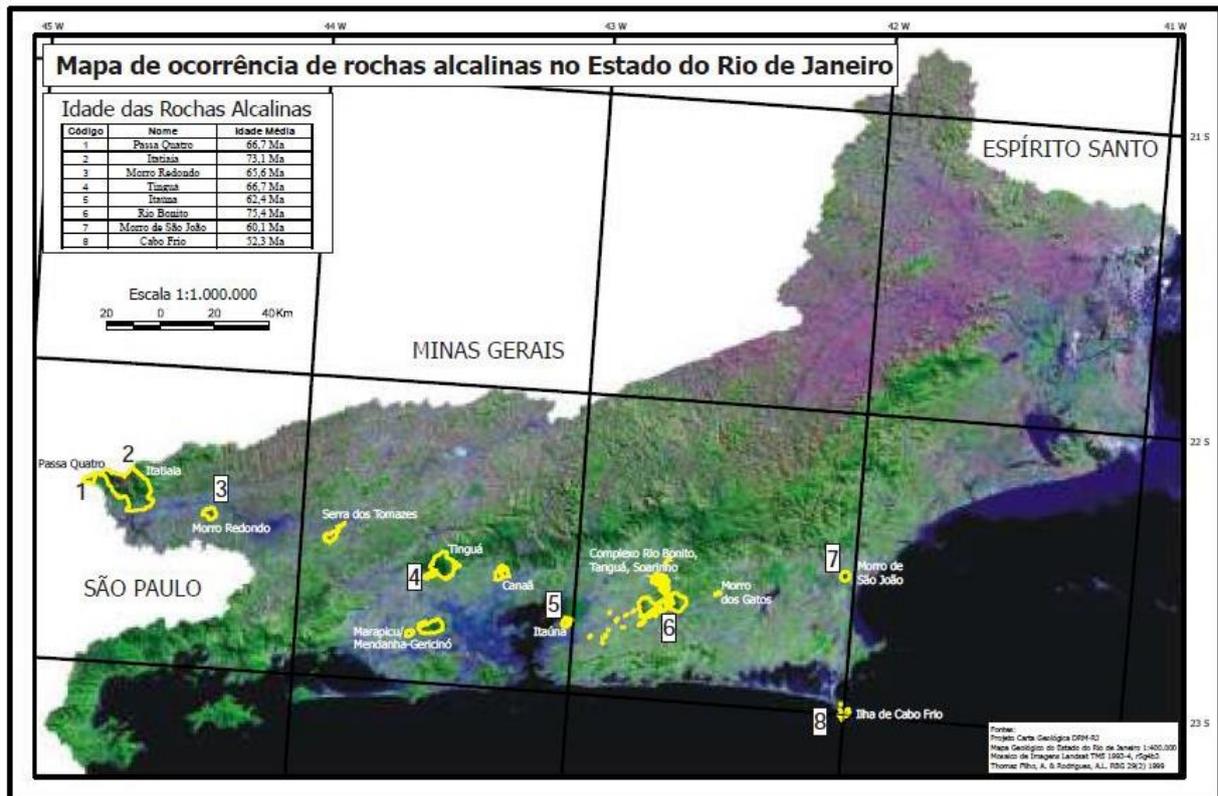
Entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, durante o desenvolvimento da margem continental brasileira, já com ambientes marinhos francos, ocorreu evento magmático alcalino. Dezenas de ocorrências de corpos (plutons, stocks, diques e derrames vulcânicos) resultantes deste evento são observadas no embasamento emerso do sudeste brasileiro, compondo a Província Serra do Mar e o Alinhamento Magmático de Cabo Frio (ALMEIDA, 1983), além de alguns corpos na região do Arco de Ponta Grossa.

No estado do Rio de Janeiro a figura 2 destaca as áreas de Itatiaia, Tinguá, Mendanha, Itaúna, Rio Bonito, Morro de São João e Arraial do Cabo, que são resultado dessa antiga atividade ígnea, formando feições topográficas positivas. Essas elevações formam um notável alinhamento na direção leste-oeste e estão separadas umas das outras por dezenas a centenas de quilômetros. O conjunto dos plútons faz parte do Alinhamento Magmático de Cabo Frio que inclui o maciço de Poços de Caldas, com idade em torno de 89 Ma (SILVA, 2011).

Foi evidenciado um aumento de idade, do litoral para o interior segundo um alinhamento de direção WNW-ESE, o qual, segundo Mota (2012) estaria relacionado à evolução das falhas transformantes, à época, do segundo estágio de abertura do Atlântico Sul, há 80Ma.

A tendência dos corpos alcalinos relacionados ao Alinhamento Magmático Poços de Caldas–Cabo Frio apresentarem, em geral, idades mais novas em direção a leste (do interior para costa), sugerem o traçado de um hot spot mantélico sob a placa Sul-Americana. Este traçado é reforçado pela conexão com as manifestações vulcânicas da área offshore: Bacia de Campos, arquipélago de Abrolhos, montes submarinos e na ilha de Trindade (MOTA, 2012).

A maior parte das intrusões ocorre sob a forma de plútons circunscritos ou também na forma de diques.



**Figura 2.** Imagem de satélite do Estado do Rio de Janeiro, com destaque para as montanhas alinhadas de origem ígnea e composição alcalina. Legenda: 1) Passa Quatro (66,7Ma); 2) Itatiaia (73,1 Ma); 3) Morro Redondo (65,5 Ma); 4) Tinguá (66,7 Ma); 5) Itaúna (62,4 Ma); 6) Rio Bonito (75,4 Ma); 7) Morro São João (60,1 Ma) e 8) Cabo Frio (52,3 Ma).

### O alinhamento de rochas alcalinas

O Alinhamento Poços de Caldas – Cabo Frio apresenta rochas alcalinas dos tipos I, II e VI de Ulbrich e Gomes (1981):

- Tipo I são descritas como sienitos saturados a insaturados, comumente associados à traquitos e fonolitos, como nos maciços de Mendanha, Tinguá, Tinguá, Morro de São João e Soarinho, sendo tipicamente associadas a suítes miasquíticas;
- Tipo II são representados por associações sieníticas insaturadas, enriquecidas em elementos incompatíveis, como nefelina sienitos, tinguaitos e fonolitos,

## Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato

descritivamente associados à suítes agpaíticas, como no caso do Maciço de Poços de Caldas;

- Tipo VI são descritas como uma associação entre álcali-granitos e álcalisienitos, saturados a levemente insaturados, como no caso dos Maciços de Itatiaia e Passa Quatro.

O alinhamento Poços de Caldas – Cabo Frio representa uma sequência de eventos vulcânicos locais, com idade variando do Cretáceo Superior ao Eoceno, que se alinham em uma direção WNW-ESE e que cortam, obliquamente, estruturas tectônicas da Faixa Ribeira (THOMAZ e RODRIGUES, 1999).

### Mineralizações em rochas alcalinas

As rochas alcalinas tem sua importância econômica associada às elevadas concentrações de elementos incompatíveis e de grande raio iônico, tais como tântalo, nióbio e dos Elementos de Terras Raras (ETR) bem como a sua associação com depósitos de apatita, que vão variar conforme sua gênese, portanto a compreensão da sua gênese é importante para entender os processos magmáticos e sua evolução que possam ter relação com o processo mineralizador (FITTON e UPTON, 1987).

Um tipo particular de rocha alcalinas, os carbonatitos, pela sua natureza, são rochas bastante restritas, quase que negligenciáveis volumetricamente, quando comparadas com outros tipos de rochas magmáticas, mas apresentam um potencial econômico valioso. Além de serem a principal fonte de ETR ocorrem normalmente associados a mineralizações de fósforo, cobre, zircão, nióbio, titânio e dos minerais vermiculita, magnetita/hematita entre outros (CHAÚQUE, 2008).

### Mineralização de fosfato

O fósforo (P) é o elemento químico de número atômico 15 da Tabela Periódica, encontrado em abundância no globo terrestre, com 1.050 ppm na crosta terrestre e teores médios de 8.690 ppm em carbonatitos, 650 ppm em granitos e 390 ppm em diabásio. Sendo reativo com diversos compostos químicos importantes. Habitualmente, formam mais de um tipo de fosfato, sendo os mais comuns os fosfatos de cálcio do grupo da apatita. Quando em quantidades e concentrações suficiente, formam depósitos de valor econômico (LUZ e LINS, 2005).

É um elemento não metálico, que não se encontra livre na natureza e pelas funções ou papéis que desempenha na vida animal ou vegetal, não tem sucedâneo e nem reposição para ele na fisiologia destes. Pode ser utilizado diretamente, ou após beneficiamento, na manufatura de produtos comerciais. Sua principal aplicação é na agricultura, como fertilizantes.

Os compostos a base de fósforo, fosfatos, incluem numerosas espécies minerais de composição bem variada, embora a quantidade em peso desses elementos na crosta da Terra seja relativamente pequena, resultando em grande número de minerais raros (quadro 4), segundo o (WEBMINERAL, 2005) existem 370 minerais com teores de fósforo acima de 10%, dentre eles 96 apresentam teores de fósforo superiores aos da apatita (18,43% P), mas a grande maioria possuem apenas significado científico e mineralógico, só os da série da apatita constituem minerais de minério.

**Quadro 4.** Minerais de fosfatos. Fonte: DANA (1976).

<b>Mineral</b>	<b>Composição química</b>
Ambligonita	Flúor-fosfato de alumínio ,lítio e sódio hidratado
Apatita	Fosfato de cálcio e flúor/cloro

Atencioíta	Fosfato de berílio, cálcio, magnésio e ferro
Autunita	Fosfato de urânio e cálcio hidratado
Brasilianita	Fosfato de sódio e alumínio
Childrenita	Fosfato de alumínio, ferro e manganês hidratado
Lazulita	Fosfato de alumínio e magnésio hidratado
Mimetita	Fosfato complexo de chumbo e cloro
Monazita	Fosfato de cério, lantânio e outros metais
Panasqueiraíte	Fosfato de cálcio magnésio flúor hidratado
Piromorfita	Fosfato de chumbo e cloro
Purpurita	Fosfato de manganês
Sabugalite	Fosfato de urânio, alumínio hidratado
Thadeuíte	Fosfato de cálcio e magnésio, flúor hidratado
Torbernita	Fosfato-uranato de cobre hidratado
Trifilita	Fosfato de lítio e ferro
Turquesa	Fosfato de alumínio e cobre hidratado
Vivianita	Fosfato de ferro hidratado
Wavellita	Fosfato de alumínio hidratado
Xenotímio	Fosfato de ítrio, podendo conter terras raras em pequenas proporções

### Mineralogia e geoquímica do fósforo

O P é um elemento litófilo pois forma, minerais fosfáticos nas fases finais da diferenciação magmática, podendo apresentar características de elementos siderófilos dado sua afinidade pelo ferro e também de elemento biófilo, já que forma compostos orgânicos e participa do metabolismo dos seres vivos concentrando-se em ossos e plantas (DANA, 1976).

A forma mineralógica mais comum do fosforo é a apatita, mineral acessório em quase todos os tipos de rochas. Também são comuns a monazita e xenotímio, que por serem mais resistentes ao intemperismo estão geralmente presentes em concentrado de minerais pesados.

Variações composicionais da apatita se dão devido às substituições dos grupos aniônicos  $(\text{CO}_3)^{-2}$  e  $(\text{PO}_4)^{-3}$  na posição tetraédrica, e dos íons  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$  e  $\text{Cl}^-$  no sítio aniônico monovalente. Assim, de acordo com estas substituições os tipos mais comuns são (LUZ e LINS, 2005):

- Fluorapatita: característica de ambiente magmatogênico, formam cristais euedricos frequentemente associados aos minerais ferro-magnesianos;
- Clorapatita: menos comum que as demais variedades podendo ocorrer em rochas ígneas básicas e rochas metassomáticas com Cl e em alguns ambientes marinhos;
- Carbonato-fluorapatita: também denominada francolita, tipicamente associada à fosforitos marinhos;
- Hidroxi-apatita: comum em matérias derivados de guanos (excrementos de aves) e constituinte mineral de ossos e dentes;
- Carbonato-hidroxiapatita ou Dahllita: ocorre principalmente como material mineral de ossos e dentes fósseis e atuais.

Existe ainda uma infinidade de minerais fosfáticos, especialmente os secundários, capazes de reter uma enorme gama de elementos no solo residual.

### Histórico da pesquisa de fosfato no Brasil

As primeiras descobertas de fosfato datam de 1914 no NE Pará/NW Maranhão, porém as mais relevantes datam de 1945 onde o Instituto de Tecnologia Industrial do Estado de Minas

## **Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato**

Gerais elaborou um plano de investigação geológica para localizar minerais básicos para fertilizantes, para solucionar a baixa produtividade agrícola da região (JUSTO, 1999).

Em 1894, Hussak descobriu o depósito de Catalão - GO, na qual é constituído por rochas ultramáficas metassomatizadas (DARDENNE E SCHOBENHAUS, 2003).

Em 1946, Djalma Guimarães iniciou a pesquisa de fosfato em rochas ricas em apatita, na região de Barreiro, nas proximidades de Araxá (MG), a qual culminou na definição da jazida de Araxá. Desta forma o Brasil iniciou sua produção de fosfato a partir de rochas alcalinas, embasado no nível de conhecimento geológico de seu território que se dispunha à época (JUSTO, 1999).

No ano de 1949, foi descoberta a fosforita da faixa litorânea de Pernambuco pelo Prof. Paulo José Duarte, quando se constataram teores consideráveis de fosfato em testemunhos de sondagem no município de Olinda (PE). Ainda na década de 1950, o Prof. Paulo Abib Andery, com apoio da Serrana S.A., desenvolveu um sistema inédito para separar por flotação a apatita da calcita e da dolomita, explotando o minério de fosfato do Morro da Mina de Jacupiranga, atual município de Cajati (SP). Esse avanço em tecnologia mineral viabilizou o aproveitamento de outras jazidas de minério de fosfato similares e conhecidas no Brasil (DAMASCENO et.al., 2005).

Em 1970, foi desenvolvido o Projeto Chaminés, com o objetivo primordial de caracterizar o magmatismo alcalino de idade cretácea em toda região de Minas Gerais. Nesse período foi descoberta a Mina de Rocinha, em Patos de Minas (MG). Descoberta também do depósito de Maecuru (PA) pela Meridional Mining Company e mais tarde estudado pelo Projeto RadamBrasil e pela Rio Doce Geologia e Mineração (DOCEGEO) (BASTOS, 2011).

Em 1972 e 1976 a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) realizou projetos (São Miguel do Tapuío e São Nicolau) onde foram descritas as mineralizações em rochas fosfatadas na Formação Pimenteira (Bacia Sedimentar Parnaíba). Em 1976, a DOCEGEO revelou notícias de fosfato no Grupo Corumbá (BASTOS, 2011).

Entre 1977 e 1978, diversas concentrações elevadas de  $P_2O_5$  foram reconhecidas durante a execução do Projeto Sulfetos de Altamira da CPRM, descrita como associadas a folhelhos pretos da formação Curuá, no flanco sul da Bacia do Amazonas, envolvendo teores de até 19% (MACAMBIRA, 1978).

Em 1978 houve a criação da Petrobras Mineração S.A. (PETROMISA), que funcionaria como órgão de pesquisa e extração, com foco em agrominerais, além da Petrobras Fertilizantes (PETROFERTIL), como órgão de produção de fertilizantes que trabalharia em cima da produção, mas que teve suas ações focadas na pesquisa e extração de potássio e enxofre (BASTOS, 2011).

Entre 1977 e 1981 foi desenvolvido um projeto Geoquímica do Bambuí, realizado pela CPRM, que apontou áreas anômalas para P na Bacia de Irecê (BA). Em decorrência desses resultados, em 1986, foi descoberto o depósito de Lapão pelo Projeto Bacia de Irecê (BASTOS, 2011).

Em 1979 os trabalhos de pesquisa da Metais de Goiás (METAGO), levaram à descoberta de diversas pequenas ocorrências de fosforitos nas unidades basais da Formação Sete Lagoas (Bacia do São Francisco). Já em 1980 a CODESUL – Conselho de Desenvolvimento e Integração Sul, fez pesquisas na região da Bodoquena (MS), entretanto os trabalhos ficaram restritos as sequências rítmicas pelíticas da Formação Tamengo (Bacia Corumbá) (JUSTO, 1999).

Entre 1982 e 1986, a CPRM através de interpretações geológicas e paleogeográficas, verificou a existência de condicionamentos metalogenéticos semelhantes aqueles de Olinda (PE) e Igarassu (PE), nos segmentos central e norte da Bacia Costeira de Pernambuco-Paraíba, através do projeto Miriri. O desenvolvimento deste projeto resultou na descoberta e cubagem

de depósitos de fosfato sedimentar, com reservas da ordem de 22 x 10<sup>6</sup> ton de minério fosfatado (BASTOS, 2011).

Mineralizações de vermiculita em Angico dos Dias (BA) já eram conhecidas há décadas antes da descoberta de um corpo alcalino-carbonatítico. Em 1984 a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) identificou cangas fosfáticas e coletou amostras de solo e sedimento de corrente, cujas as análises indicaram teores anômalos de P, Zr, Sr, Ba, ETR, descobrindo assim o corpo alcalino-carbonatítico de Angico dos Dias (SILVA, 1988).

A partir de 1995 teve a implantação do Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Mineraiis para Agricultura no Brasil (PIMA), que objetivava fornecer informações básicas às empresas privadas e para ações governamentais, com vistas à expansão da indústria de insumos mineraiis (BASTOS, 2011).

A partir de 2008 a CPRM resolveu criar o Projeto Fosfato Brasil, visando delimitar novos alvos potenciais.

### Tipologia dos depósitos de fosfato

Rocha fosfática é um termo geral que descreve associações de mineraiis contendo alta concentração de fosfatos.

São conhecidas atualmente seis ambientes geológicos distintos (BASTOS, 2011) (LUZ e LINS, 2005):

- Magmáticos – Complexos alcalino-carbonatítico Mesozoicos em que os minérios de mais elevados teores se formaram por enriquecimento supergênico de carbonatitos apatíticos e/ ou piroxenitos apatíticos, como as que ocorrem nas regiões de Catalão, Ouvidor (GO), Araxá, Tapira e Patrocínio (MG), Jacupiranga e Iperó(SP) e Anitápolis (SC);
- Ortomagmáticos – Complexos alcalino-carbonatíticos, Proterozóicos, metamorfizados, nos quais ocorreram também concentrações residuais: Angico dos Dias (BA) e Maecuru (PA).
- Orgânico – constitui uma concentração de excrementos de aves (guano), como os existentes na Ilha de Castilhos (SP) e Ilha Rasa (PE);
- Laterítico – materiais fosfatados aluminosos resultantes da laterização de rochas sedimentares e matassedimentos, com teores elevados de fosforo: Tauira e Pirocáua (MA);
- Sedimentogênico – nas bacias marginais mesozóicas: Paulista/Igarassu, Goiana (PE);
- Metassedimentares – nas bacias intracratônica de idade proterozóica: Patos de Minas, Lagamar (MG), Irecê (BA), Itataia (CE).

### Os principais depósitos e ocorrências de fosfato no Brasil

No Brasil, as principais jazidas de fosfato magmatogênico estão vinculados ao Mesozoico e associados à zona de influencia de plumas mantélicas Trindade e Tristão da Cunha, devido ao deslocamento da placa litosférica sobre estas plumas (Gomes et al. 1990). Neste contexto destaca-se as jazidas de Tapira (MG), Araxá (MG), Catalão (GO), Serra Negra/Salitre (MG), Alto Parnaíba (SP), Cajati (SP), Ipanema (SP) e Anitápolis (SC), cujas reservas são estimadas entre 987 e 120 Mt, com teores médios de 6 a 15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (BASTOS, 2011).

Depósitos de fosfato também ocorrem no nordeste, no estado da Bahia, destacando-se Angico dos Dias. Já no norte do país ressalta-se o depósito de fosfato de Maicuru (PA). O depósito do Repartimento (RR) associado a rochas alcalinas e os corpos alcalinos do Morro dos

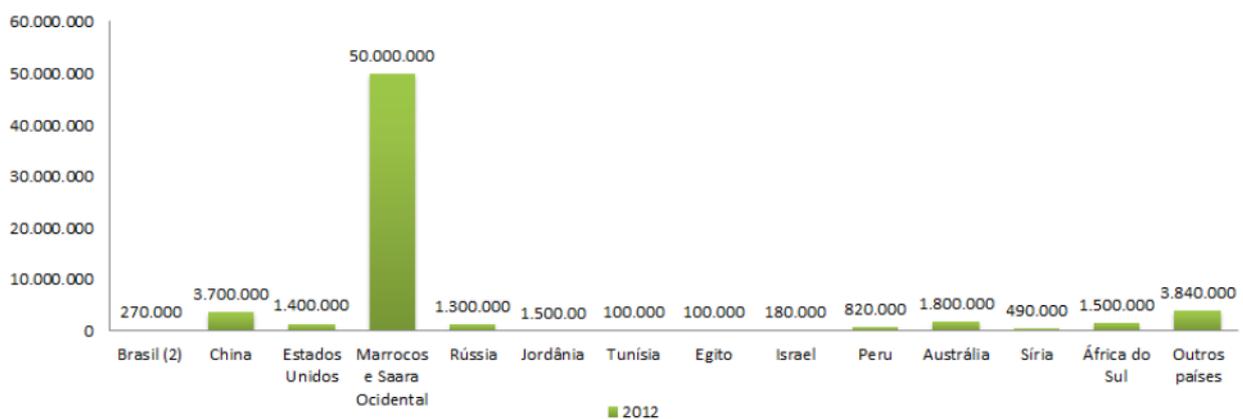
## Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato

Seis Lagos (AM) e Rio Mururé (AP), ainda permanecem com sua potencialidade desconhecida para minerais de fosfato (BASTOS, 2011).

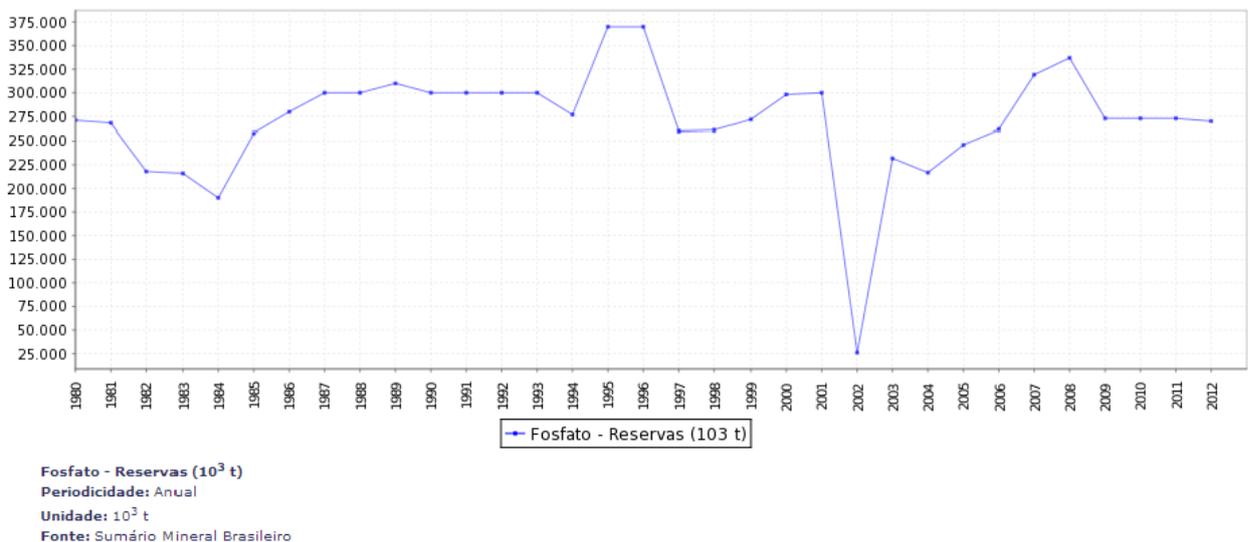
### Panorama econômico – reservas

Em termos mundiais, a rocha fosfática é a única fonte de fósforo viável economicamente, estando contida nos depósitos de origem sedimentar (em torno de 85% da oferta mundial), ígnea (próximo de 15%) e biogênica (menos que 1%). Segundo dados da United States Geological Survey (USGS) (BASTOS, 2011).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de alimentos e o agronegócio, um dos mais fortes segmentos da sua economia: representa um terço da riqueza do país. As reservas do Brasil em 2012 eram em torno de 270.000 10<sup>3</sup> t, e isso representa apenas 0.4% da reserva mundial, conforme mostra a tabela abaixo (Figura 3 e 4).



**Figura 3.** Reserva Mundial. Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – Mineral Commodity Summaries 2013; ANDA.



**Figura 4.** Reserva Nacional. Fonte: Mineral DATA. CETEM.

### Panorama econômico – produção

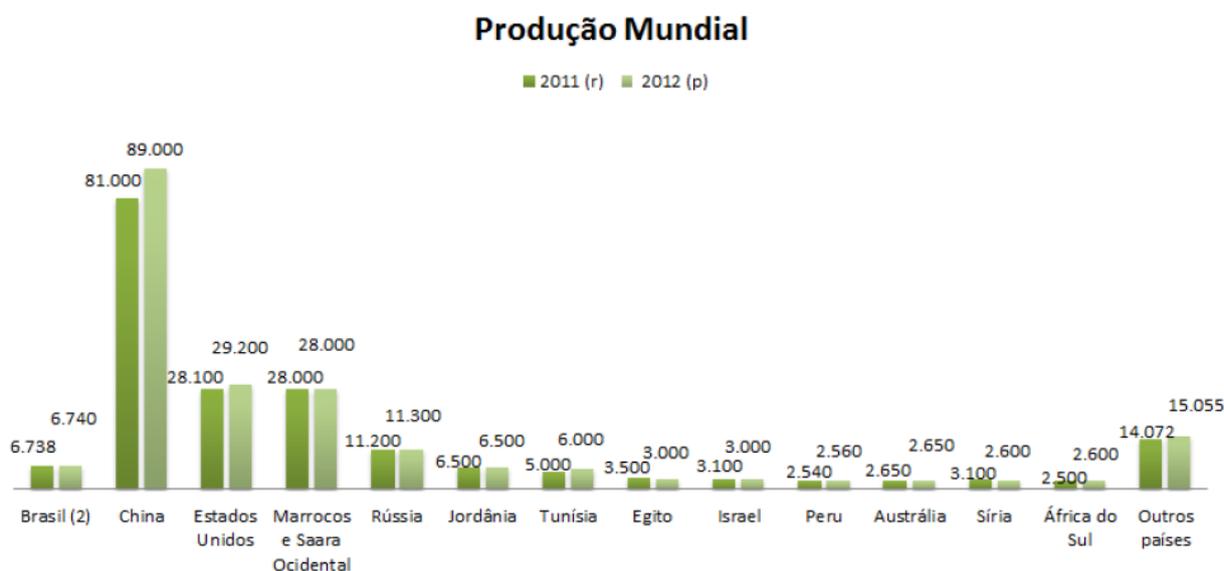
A produção de rocha fosfática no Brasil é realizada principalmente nos complexos de Tapira (MG), Araxá (MG), Catalão (GO) e Cajati (SP), cujos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na rocha estão em

torno de 12%. Após a extração do minério ocorre sua concentração em usinas localizadas nos próprios complexos que elevam os teores a cerca de 35% de  $P_2O_5$ , produto esse a ser utilizado na produção de ácido fosfórico (Figura 5).

O maior produtor nacional é o complexo de Tapira (MG), operado pela empresa Vale, que respondeu em 2012 por 30% da produção nacional de concentrado, que é enviado para Uberaba (MG) para a produção de ácido fosfórico e fertilizantes. No município de Catalão, há os complexos operados pelas empresas Anglo/Copebrás e Vale, sendo que a Anglo/Copebras foi responsável em 2012 por 20% da produção nacional de concentrado, enquanto que a Vale produziu 15%.

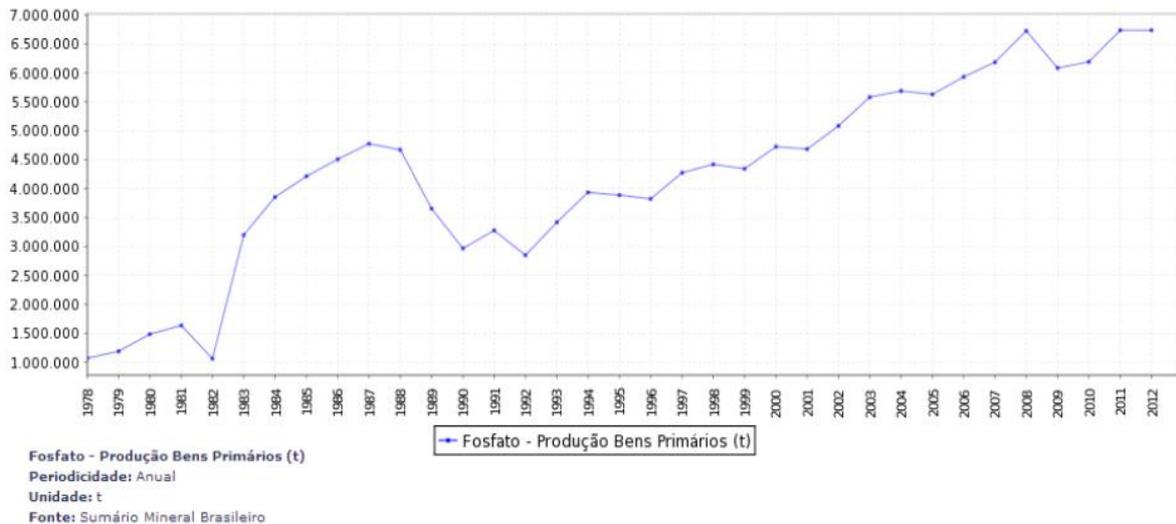
Desta forma, a empresa Vale detém 70% da produção nacional de concentrado, seguida pela empresa Anglo/Copebras, com 20%. O estado de MG é responsável por 50% da produção nacional de concentrado e GO por 35%.

A produção foi de 6,7 Mt em 2012, representou apenas 3,2% da produção mundial (Figura 5 e 6), a indústria dos fertilizantes fosfatados, que absorve mais de 90% da produção de fósforo, vem evoluindo consideravelmente, a produção passou a deslocar-se progressivamente para as regiões com matéria-prima abundante (LUZ e LINS, 2005).



**Figura 5.** Produção Mundial. Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – Mineral Commodity Summaries 2013; ANDA.

## Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato



**Figura 6.** Produção Nacional. Fonte: Mineral DATA. CETEM.

## Processos de produção

Desde a extração de rochas fosfatadas até a geração de produtos industriais, o fósforo segue diferentes etapas, em função da tipologia do minério, características mineralógicas, químicas e texturais, redução/eliminação de agentes causadores de impactos ambientais, aproveitamento de subprodutos, dentre outros aspectos de distribuição e consumo.

Em geral, as rochas fosfatadas são processadas para produzir os concentrados de fosfato (com teores acima de 32%  $P_2O_5$ ), que são então transformados em fertilizantes. Nesse contexto também estão inseridas aquelas rochas com teores muito baixos, como no caso de carbonatitos, cujos teores são da ordem de 5%  $P_2O_5$ . O processo envolve (Figura 7) (BASTOS, 2011):



**Figura 7.** Etapas de processo de produção.

Fonte: BASTOS 2011

A apatita é o principal mineral de fósforo. Seu uso está predominantemente relacionado à indústria dos fertilizantes. É um mineral pouco solúvel, havendo necessidade de transformá-lo em produtos que possam liberar fósforo para as plantas (BASTOS, 2011).

Algumas fosforitas são vendidas como fertilizantes após simples calcinação para remover o F e  $CO_2$ . Outras são calcinadas com rochas alcalinas para produzir termofosfato de uso restrito. Entretanto, os concentrados fosfatados, em sua grande maioria, são destinados à fabricação do ácido fosfórico, por reação com ácido sulfúrico ou clórico mais restritamente. De uso limitado, o ácido nítrico produz fosfatos nitrogenados. O ácido fosfórico é a base para a produção de fertilizantes fosfatados no Brasil. Pode-se também concentrar o elemento fósforo em fornos elétricos (concentrado + sílica + carvão), a partir do qual se gera um ácido fosfórico e produtos fosfatados mais puros para a indústria química (BASTOS, 2011).

## CONCLUSÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o Brasil é um importante *player* na Indústria Mineral Mundial. Todavia, o país ainda é dependente de alguns minerais

estratégicos para a economia. O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo e é responsável somente por 2% da produção mundial. O país importa 21% do potássio e 51% do fosfato necessários, ambos essenciais para a indústria de fertilizantes (IBRAM, 2012).

Na região Sudeste do Brasil, principalmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, concentram-se cerca de 25 pontos isolados de intrusões alcalinas, constituindo uma província magmática com características próprias. Como visto o nordeste do estado do Rio de Janeiro se apresenta como uma área de relevante interesse mineral de insumos para a agricultura, dentre outros recursos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. **The system of continental rifts bordering the Santos Basin.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 15-26. 1976.

ALMEIDA, F. F. **Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana.** Revista Brasileira de Geociências, v. 13, n. 3, 1983.

BASTOS, M. **Projeto Fosfato Brasil.** Salvador: CPRM, v. I. ISBN ISBN 978-85-7499-125-2. 2011.

CHAÚQUE, F. R. **Estudo geocronológico, litogeoquímico e de geoquímica isotópica de alguns carbonatitos e rochas alcalinas de Moçambique.** Universidade Federal de São Paulo. [S.l.]. 2008.

DAMASCENO, E. C.; DAMASCENO, P. F. T.; DAMASCENO, A. H. T. **A mineração no Século XX.** São Paulo: Brasil Mineral, 2005.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia.** Rio de Janeiro: [s.n.], v. 2, 1976.

DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. **Depósitos Minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas.** In: BIZZI, L., et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.** Brasília: CPRM. Cap. 7, p. 365 - 448. 2003.

DNPM. **Balço Mineral Fosfato,** 2008. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4003](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4003)>. Acesso em: 10 fev. 2014.

DNPM. **Sumário Mineral Fosfato,** 2012. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7392](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7392)>. Acesso em: 16 fev. 2014.

FITTON, J. G.; UPTON, B. G. J. **Introduction in Alkaline Igneous Rocks.** The Geological Society Blackwell Scientific Publications, Oxford, 20, 1987.

GERALDES, M. C. **Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000.** Belo Horizonte: CPRM, 2012.

GILL, R. **Rochas e Processos ígneos: um guia prático.** [S.l.]: Bookman, 2014.

## **Rochas alcalinas: conceitos e mineralizações de fosfato**

HEILBRON, M. **Segmento central da faixa Ribeira, exemplo de colisão continental oblíqua no evento termo-tectônico brasileiro.** Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú: SBG. 1995. p. 263-265.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Instituto Brasileiro de Mineração**, Dezembro 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em: 10 Maio 2014.

JUSTO, L. J. E. C. **Fosfato da Serra da Bodoquena - Mato Grosso do Sul.** Goiânia: CPRM, 1999.

LUZ, A. B.; LINS, F. F. **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações.** Rio de Janeiro: CETEM, 2005.

MACAMBIRA, E. M. B. **Indícios de rochas fosfatadas no flanco sul da Bacia Amazônica.** Congresso Brasileiro de Geologia. Recife: SBG. 1978. p. 1494-1509.

MOTA, C. E. **Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João: caracterização do magmatismo alcalino do Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro. [S.l.]. 2012.

MOTOKI, A. **Rumo da educação ambiental com base na geológica regional de Nova Iguaçu, RJ: de acordo com desenvolvimentos científicos ou desejos populares do vulcão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2007.

PEACOCK, M. A. **Classification of igneous rock series.** J. Geol., 39, 1931. 54-67.

RICCOMINI, C. **Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (Southeastern Brazil).** Journal of South American Earth Sciences, 2, 1989. 191-197.

SHAND, S. J. **Eruptives Rocks. Their Genesis, Composition, Classification and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite.** New York: John Wiley & Sons. 1943.

SILVA, A. B. **Geologia e petrologia do Complexo Angico dos Dias (BA), uma associação carbonatítica pré-cambriana.** Geochimica Brasiliensis, v. II, n. 1, p. 81-108, 1988.

SILVA, C. R. et al. **Panomaram de Geodiversidade Brasileira e suas Áreas de Relevante Interesse Mineral.** Ministerio de Meio Ambiente (MMA). Brasília. 2008.

SILVA, D. A. **Estudos petrográficos, litogeoquímicos e isotópicos (Ar-Ar) do Maciço Alcalino do Marapicu-RJ.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

THOMAZ, A.; RODRIGUES, A. L. **O alinhamento de rochas alcalinas poços de caldeirão frio (rj) e sua continuidade na cadeia vitória-trindade.** Revista Brasileira de Geociências, Junho 1999.

TUPINAMBÁ, M.; TEXEIRA, W.; HEILBRON, M. **Neoproterozoic Western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt, Soth-eastern Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, 30, n. 1, 2000. 7-11.

ULBRICH, H. H. G. J.; GOMES, C. B. **Alkaline rocks from continental Brazil.** Earth Science Reviews, 17, 1981. 135-154.

WEBMINERAL. **Mineralogy Database,** 2005. Disponível em: <[http://webmineral.com/dana/7\\_Phosphates.shtml](http://webmineral.com/dana/7_Phosphates.shtml)>. Acesso em: Junho 2014.

WERNICK, E. **Rochas Magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** São Paulo: Unesp, 2004. ISBN ISBN 85-7139-528-4.



## Capítulo 4

### **Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato**

*Flávia Compassi da Costa<sup>1</sup>; Ariadne Marra de Souza<sup>2</sup>; Mauro Cesar Geraldês<sup>3</sup>;*

**RESUMO.** As variedades alcalinas de rochas ígneas possuem grande diversidade mineralógica e importância econômica (associada às elevadas concentrações de elementos, tais como o Tântalo, Nióbio, Titânio e dos Elementos de Terras Raras (ETR) bem como a sua associação com depósitos de apatita). O objetivo principal deste trabalho consiste em caracterizar o maciço alcalino Morro de São João e identificar guias prospectivos, a partir de novos dados bibliográficos e levantamento de campo. O Morro de São João é caracterizado por conter rochas alcalinas cuja composição varia desde nefelina sienitos, quartzo monzonito, monzonito a rochas como tufo e traquito. Na área de estudo os guias prospectivos para encontrados foram minerais de fosfato como monazite e xenotímio além da própria a apatita. Pode-se concluir que não é viável a exploração para depósitos de fosfato, podendo, contudo, ser caracterizado bem como um modelo prospectivo e se apresentar potencial para produto supergênico de fosfato, sendo caracterizado como um protominério. Conjuntamente deve-se especial atenção ao titânio que apresenta concentrações significativas, sendo encontrado em minerais como titanita e granada de titânio.

**PALAVRAS-CHAVE.** Magmatismo Alcalino; Mineralização Fosfática; Morro São João.

## **INTRODUÇÃO**

Este trabalho tem como objetivo principal a geração de um mapa geológico preliminar do local de estudo para fins de prospecção mineral, além da caracterização das concentrações de minerais de fosfatos e de outras possíveis ocorrências economicamente interessantes, resultando em um indicativo para estudo de avaliação de viabilidade econômica, seja para as concentrações de minerais de fosfatos ou para outras concentrações minerais que também tenham alguma representação interessante.

Os objetivos específicos alcançados estão listados abaixo:

- Caracterização do maciço alcalino Morro de São João.
- Identificação dos guias prospectivos.

## **LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A área de estudo está localizada no sudeste do estado do Rio de Janeiro, dentro do município de Casimiro de Abreu, que faz divisa com os municípios de Rio das Ostras, Macaé, Nova Friburgo, Silva Jardim, Araruama e Cabo Frio (Figura 1). Trata-se do Morro de São João

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Ouro Preto, MG, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (CCENS-UFES) – Alegre, ES, Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

## Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato

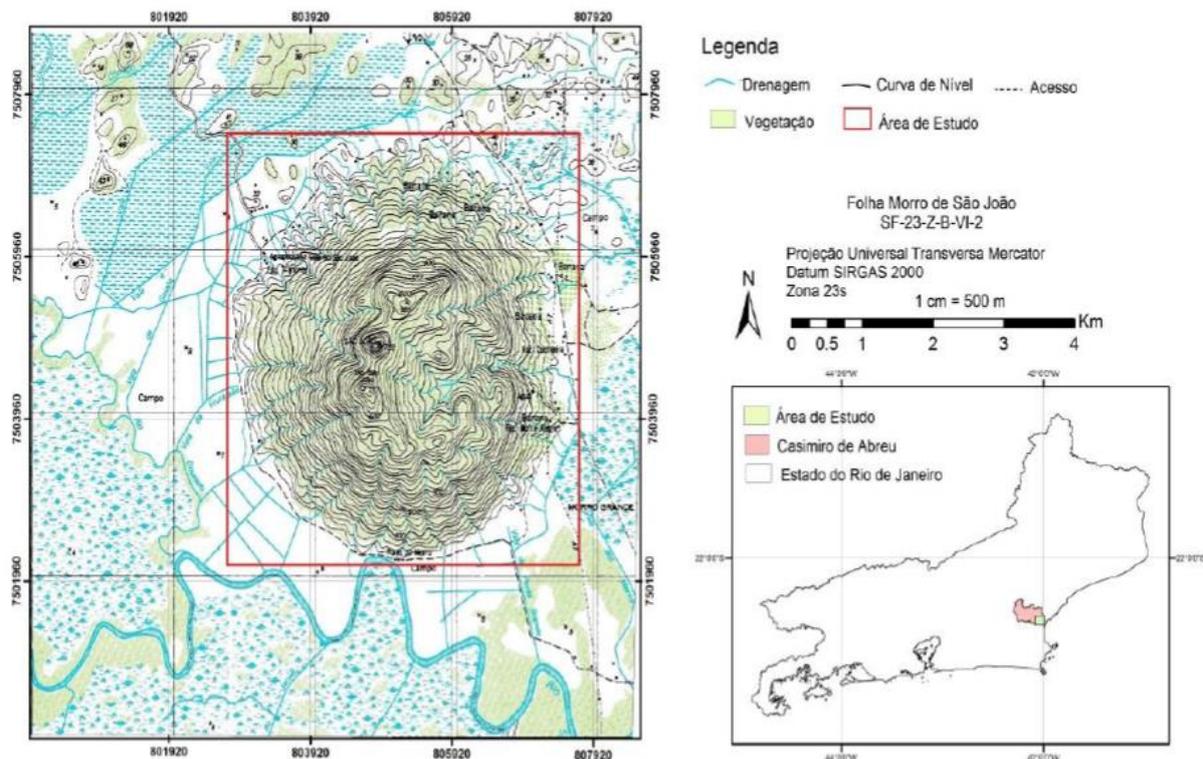
e se destaca pela sua forma arredondada e pelo desnível topográfico acentuado. A sudeste do maciço situa-se o centro urbano de Rio das Ostras.

Os principais acessos para a área são pela BR-101 e RJ-162, ficando cerca de 166 km da cidade do Rio de Janeiro. A norte, o acesso ao Morro de São João é feito pela rodovia BR-101, na localidade de Rio Dourado. Com isso, há a possibilidade de dois caminhos distintos: seguir pela estrada de terra Trimonte, ou pela estrada RJ-162, esta Rodovia liga a BR-101 até o distrito de Barra de São João e ao município de Rio das Ostras. Há acesso pela região da Fazenda São João, seguindo pela Rodovia Serramar, próximo à entrada de Rio das Ostras. Este caminho leva à extremidade leste do Morro de São João. À sul, é possível chegar por Barra de São João através da Rua Andrade Silva (bordeja o rio São João) ou pela Estrada Velha de Rio Dourado. Estes dois caminhos levam a estradas que circundam a intrusão alcalina. A única via que, efetivamente, adentra o Morro de São João é a trilha da Fazenda São João. Este acesso leva até as partes mais altas do maciço. O Morro de São João está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São João/Mico Leão Dourado e não há parques que englobam a área elevada.

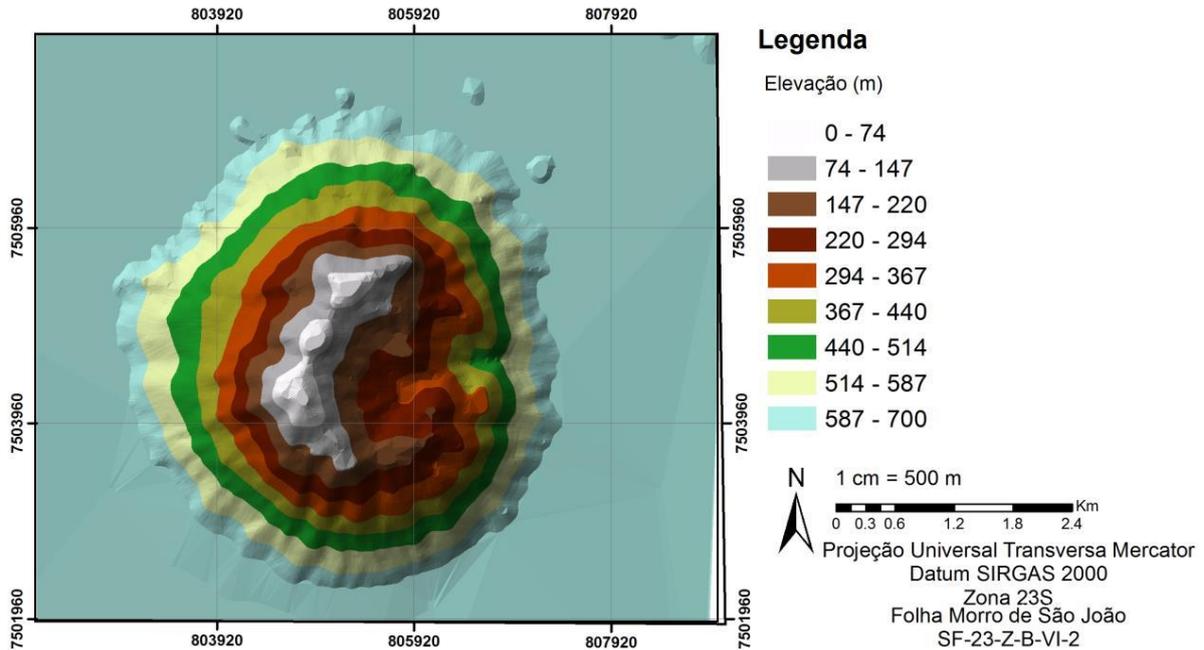
A área se destaca pelo Morro de São João que apresenta uma forma arredondada e, pelo desnível entre o morro e a planície do rio São João, devido à erosão diferencial das rochas ortoderivadas que compreendem as encaixantes das rochas alcalinas (Figura 2).

Os depósitos quaternários são muito expressivos através dos terrenos formados por sedimentos depositados nas planícies de inundação.

A região que abrange os Municípios de Silva Jardim, Araruama e Casimiro de Abreu, apresenta uma grande variedade de solos, em função do substrato geológico diversificado e das diferentes condições pedogenéticas locais, essa variedade de solos favorece que nas planícies em torno do Morro de São João, sejam explorados recursos minerais como areias e saibro que já estão legalmente requeridas e com lavra em funcionamento. Essa variedade de solo se deve tanto pela morfologia quanto pela variedade litológica que a área apresenta, onde o Morro de São João apresenta exclusivamente Argissolos vermelhos.



**Figura 1.** Localização da área de estudo (destacada em vermelho). Fonte: Adaptada de IBGE - Carta Topográfica Morro de São João, 1978.



**Figura 2.** Mapa com o modelo digital do terreno (MDT), adaptado das curvas de nível geradas do SRTM. Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2004)

## REVISÃO GEOLOGIA REGIONAL

Um episódio tectônico marcante está representado pela reativação tectônica que se desenvolveu no período entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, que originou o Sistema de Rifts da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976) ou Rifts Continentais do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), o processo de separação evoluiu para um período de deriva continental onde a plataforma da América do Sul migrou na direção E para W com esforços tectônicos predominantemente extensionais no interior do continente. Estes esforços tectônicos de caráter extensionais promoveram ajustes no interior da plataforma resultando na geração do Rift do Sudeste do Brasil.

Esta feição tectônica é expressa pelo alinhamento de bacias sedimentares isoladas desde o Paraná (Bacia de Curitiba), passando por São Paulo (Bacia de São Paulo e Taubaté) e se estendendo até o Rio de Janeiro (Resende, Volta Redonda, Macacú, Itaboraí e Barra do São João). A abertura para a formação destas bacias foi acompanhada pelo magmatismo alcalino representado por cerca de duas dúzias de corpos intrusivos (GERALDES, 2012).

Entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, durante o desenvolvimento da margem continental brasileira, já com ambientes marinhos francos, ocorreu evento magmático alcalino. Dezenas de ocorrências de corpos (plutons, stocks, diques e derrames vulcânicos) resultantes deste evento são observadas no embasamento emerso do sudeste brasileiro, compondo a Província Serra do Mar e o Alinhamento Mágmatíco de Cabo Frio (ALMEIDA, 1983), além de alguns corpos na região do Arco de Ponta Grossa.

No estado do Rio de Janeiro, a figura 3 destaca as áreas de Itatiaia, Tinguá, Mendanha, Itaúna, Rio Bonito, Morro de São João e Arraial do Cabo, que são resultado dessa antiga atividade ígnea, formando feições topográficas positivas. Essas elevações formam um notável

## Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato

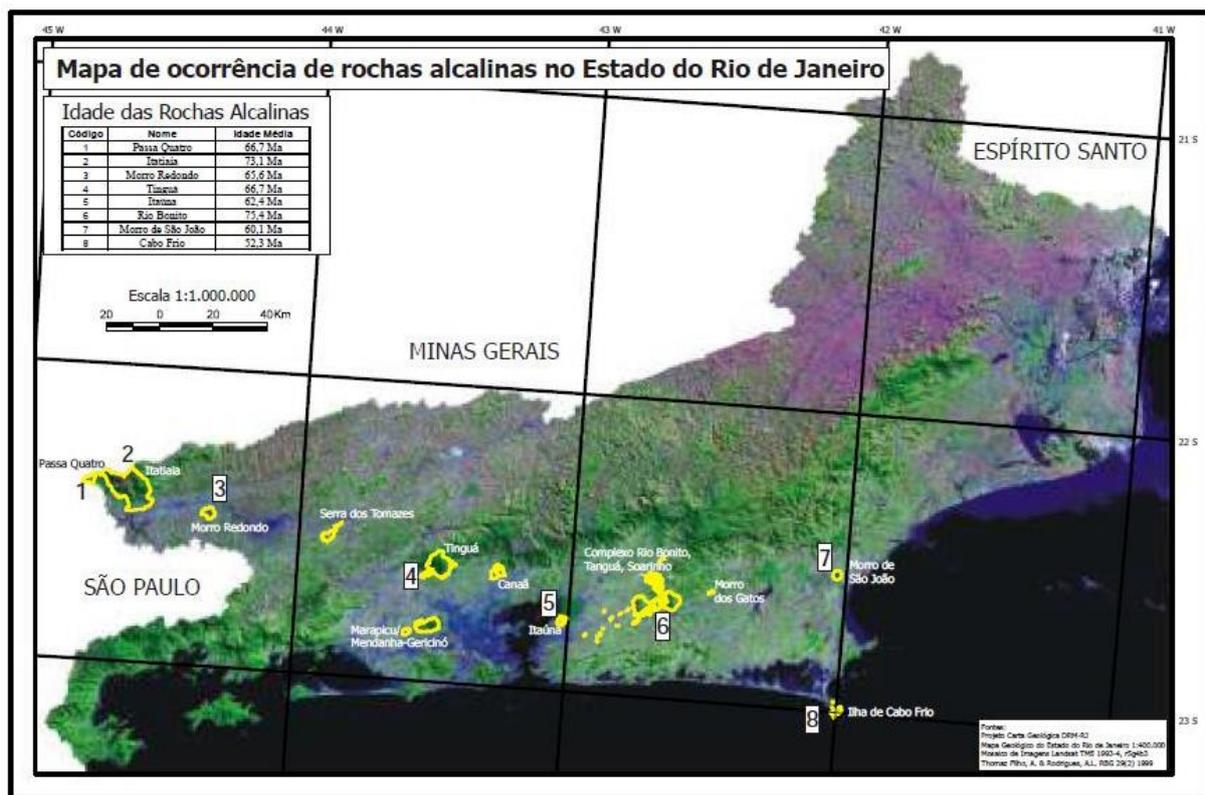
alinhamento na direção leste-oeste e estão separadas umas das outras por dezenas a centenas de quilômetros. O conjunto dos plútons faz parte do Alinhamento Magmático de Cabo Frio que inclui o maciço de Poços de Caldas, com idade em torno de 89 Ma (SILVA, 2011).

Em comparação com os outros complexos intrusivos alcalinos do Estado do Rio de Janeiro, o corpo Morro de São João é pouco estudado e apenas alguns trabalhos estão disponíveis por exemplo, Brotzu et al (2007), Mota (2019) e Mota (2012). De 2007 a 2012, os autores realizaram uma série de trabalhos de campo e estudos petrográficos e litogeoquímicos com os objetivos da caracterização geológica e petrográfica.

Foi evidenciado um aumento de idade, do litoral para o interior segundo um alinhamento de direção WNW-ESE, o qual, segundo Mota (2012) estaria relacionado à evolução das falhas transformantes, à época, do segundo estágio de abertura do Atlântico Sul, há 80Ma.

A tendência dos corpos alcalinos relacionados ao Alinhamento Magmático Poços de Caldas–Cabo Frio apresentarem, em geral, idades mais novas em direção a leste (do interior para costa), sugerem o traçado de um hot spot mantélico sob a placa Sul-Americana. Este traçado é reforçado pela conexão com as manifestações vulcânicas da área offshore: Bacia de Campos, arquipélago de Abrolhos, montes submarinos e na ilha de Trindade (MOTA, 2012).

A maior parte das intrusões ocorre sob a forma de plútons circunscritos ou também na forma de diques. Silva, (2007) descreveu rochas de composição básica, associadas aos maciços do Morro de São João e da Ilha do Cabo Frio. Dentre as rochas alcalinas sieníticas, destacou sienitos nefelínicos, pulaskitos ou umptekitos ligeiramente subsaturados ou saturados em sílica e foiaítos.



**Figura 3.** Imagem de satélite do Estado do Rio de Janeiro, com destaque para as montanhas alinhadas de origem ígnea e composição alcalina. Legenda: 1) Passa Quatro (66,7Ma); 2) Itatiaia (73,1 Ma); 3) Morro Redondo (65,5 Ma); 4) Tingua (66,7 Ma); 5) Itaúna (62,4 Ma); 6) Rio Bonito (75,4 Ma); 7) Morro São João (60,1 Ma) e 8) Cabo Frio (52,3 Ma).

**METODOLOGIA**

Procurou-se, de início, reunir todo material disponível e indispensável ao cumprimento das atividades de modo a se montar um esquema de trabalho que viesse a facilitar a execução desse trabalho.

A primeiramente foi realizado o estudo de mapas básicos, como projetos Geologia e Recursos Minerais da Folha Casimiro de Abreu SF.23-Z-B-I (escala 1:100.000, convenio CPRM/UERJ), IBGE Folha São João SF.23-Z-B-VI-2 (escala 1:50.000), além de outras fontes de informação tais como dissertação e teses de mestrado e doutorado, revistas, periódicos e artigos técnicos diversos. Selecionando os trabalhos de maior relevância, tanto no que diz respeito diretamente à região abordada quanto a temas correlatos em outras regiões, sempre enfocando o magmatismo alcalino e seu contexto tectônico, além dos processos e fontes de mineralizações em fosfato.

Reuniram-se os dados de interesse através de resumos com análise crítica e integração dos mesmos, encontrando-se na geologia regional deste.

Utilizou-se bases planimétricas (hidrografia e acesso) e altimétricas, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em meio digital de carta topográfica, ortofoto e o modelo digital de elevação. Os dados digitais adquiridos estão detalhados no quadro 1. Para padronização dos mapas gerados, todos os dados foram convertidos para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum de referência SIRGAS 2000, uma vez que este será o Datum obrigatório para o Brasil a partir de 2015. Utilizou-se o arcgis® 9.2 para criação do banco de dados, onde foram convertidos os dados e gerados os mapas para as saídas de campo.

O campo foi realizado no período de 17 a 20 de abril de 2014, onde o primeiro dia consistiu de reconhecimento da área e os demais separados para o mapeamento clássico, com amostragem de rochas de diferentes unidades litológicas para posterior confecção de lâminas petrográficas, e campanha prospectiva aluvial com amostragem de concentrado de minerais pesados com o auxílio de uma bateia, com o intuito de identificar as fases minerais prospectáveis e delimitar onde ocorreriam as anomalias na concentração de minerais fosfáticos.

A coleta das amostras de bateia foram feitas no leito ativo ou lit vif (leito vivo) das drenagens, que drenasse boa parte do complexo. Procurou-se encontrar locais favoráveis à deposição e acumulação de minerais, que são denominadas de trapas, na ausência dessas trapas, as amostras foram extraídas de qualquer ponto do leito ativo, dando preferencia aos pontos onde tinham zonas com a acumulação de cascalho ou areia grossa, pois junto desses materiais de granulação mais grossa que se encontram, em maior quantidade e tamanho, os minerais pesados.

Para a coleta propriamente dita usou-se duas peneiras com 50 cm de diâmetro e malhas de 1/14” e 1/16”, de um recipiente (balde) para medição do volume (12 litros) do material coletado, sendo coletados apenas 6 litros, de uma bateia de fundo cônico (ou pan) para a concentração e de sacos plásticos para o acondicionamento do material resultante do bateamento, i.e., o concentrado de minerais pesados.

Com os sedimentos realizou-se a diferenciação dos mesmos por densidade, por meio de concentrado de bateia e catação manual dos minerais de interesse. Utilizou-se também de concentrados de ácido nítrico com molibdato de amônia a 20%, que em contato com minerais fosfatados dá origem a um complexo precipitado de fosfomolibdato de amônio, de coloração amarelada, o que auxilia na distinção dos minerais fosfatados (Pereira, 2003).

O produto derivado das amostras coletadas em campo, o chamado concentrado de minerais pesados ou concentrado de bateia (CB), foi levado para o laboratório para ser trabalhado e classificado.

## **Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato**

Com a base cartográfica e a ortofoto da área em mãos, foi possível visitar afloramentos de rochas que possibilitaram a aquisição de grande volume de dados e um grande número de blocos distribuídos na área. A descrição dos afloramentos foi registrada em caderneta de campo, com o auxílio de GPS. Englobando informações litológicas, e outras, além de coleta de algumas amostras. Uma vez que a maior parte dos pontos observados foram em blocos, os contatos apresentados são amplamente inferidos, assumindo-se que o mesmo encontrava-se a montante ou na parte mais superficial da encosta.

No laboratório de sedimentologia do Departamento de Geologia (DGEO) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), as amostras dos concentrados obtidos com o bateamento em campo foram separados primeiramente por imã de mão emborrachado e com auxílio de lupa binocular, a partir de onde foi possível descrever os minerais presentes nas amostras separadas pelo bateamento. Para a definição das porcentagens, foi utilizado o método de visadas.

As rochas que foram analisadas no microscópio petrográfico passaram por uma preparação prévia utilizando equipamentos próprios, sendo confeccionadas no Laboratório de Laminação do DGEO – UFES. E posteriormente descritas, em microscópio de luz polarizada do Laboratório de Microscopia do DGEO – UFES. A análise modal foi feita por meio de visadas, sendo uma média de 8 campos para cada amostra que também permitiram definir uma estimativa modal dos teores de apatita encontrados no maciço.

As descrições petrográficas realizadas em campo e em laboratório (por meio das lâminas) serviram como base para a confecção do mapa geológico e delimitação das zonas de maior concentração de minerais fosfatados.

O Concentrado de bateia foi estudado em lupa binocular e foram observadas as principais propriedades dos minerais, como cor, brilho, forma, clivagem e fratura. Foi observado também o grau de trabalhamento do grão e, posteriormente foi estimado seu percentual na amostra. Sua classificação foi feita com base em Pereira et al. (2005) e Pereira (2012)

No quadro abaixo estão contidos os produtos gerados pelas atividades acima descritas (Quadro1).

**Quadro 1.** Dados físicos de produção.

Atividades	Quantidade
Afloramentos descritos	57
Amostras coletadas	22
Laminas Petrográficas	15
Concentrado de bateia	2

Concluídas as fases anteriores, todos os dados adquiridos foram integrados e interpretados de modo a permitir a elaboração de um mapa geológico e identificar o litotipo com a concentração expressiva de fosfato.

Com o auxílio de alguns programas, foi possível realizar a integração e montagem dos dados. Os principais programas utilizados foram: arcgis® 9.2, google earth®, spring® 5.2.1, terraview® 4.2.2, paint®, coreldraw® x3.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos intrusivos alcalinos do Estado do Rio de Janeiro formam elevações morfológicas, desde de 300m de altura até 900m. O fato sugere elevada resistência das rochas alcalina ao intemperismo tropical em comparação com o embasamento de rochas gnáissicas, favorecida ainda pela pouca idade.

A subida do morro ocorreu por uma trilha, onde o acesso era pela Pousada da Fazenda São João e por drenagens. As drenagens possuíam pouca vazão e haviam muitos blocos no seu leito, esses blocos variavam de 1m a 5m de diâmetro, não encontravam-se in-situ mas ainda estavam bem preservados.

Os afloramentos observados na área de trabalho, são escassos e quando encontrados são muito pequenos, onde as rochas com dimensões que variam de 10 a 100m.

As rochas plutônicas predominantes no Morro de São João tem aspecto variando entre leucocrática e mesocrática, critério adotado para separar classificação de campo, coleta de amostra e posterior confecção de lâminas delgadas. Foram mapeados Nefelina Sienito, Quartzo Monzonito, Monzonito, Traquito e Tufo, representados na figura 4 e no mapa da figura 5.

O traquito é uma rocha de coloração cinza escuro, de estrutura maciça. Holocristalina, equigranular afanítica. Rocha com aparência de recristalizado, com algumas concentrações de minerais máficos. Às vezes encontra-se inequigranular porfirítica, com cristais incolores a esbranquiçados em uma matriz afanítica. O traquito ocorre de duas formas distintas, uma sendo equigranular fina e outra onde é inequigranular porfirítico. Composta por Nefelina, ortoclásio, opacos. A rocha inequigranular porfirítica, possui coloração cinza, e com matriz afanítica. Observa-se fenocristais de feldspato alcalino, ou agregado de cristais composta de cristais tabulares de feldspato alcalino em uma matriz de granulação fina. A matriz é composta por cristais de egerina-egerinaugita e de feldspato orientados, caracterizando a textura traquítica. O ortoclásio da matriz é subédrico com hábito ripiforme, marcando a direção do fluxo ígneo. Os pórfiros são representados por ortoclásio, egerina-egerinaugita, plagioclásio, nefelina, titanita, sodalita, granada.

O tufo é uma rocha de coloração amarelo esbranquiçada, de estrutura maciça. Holocristalina, equigranular com granulação de fina. Composta por plagioclásio, quartzo, ortoclásio, vidro e fragmentos de rocha. A maioria deles tem uma forma angular com cantos agudos e nítidos. Esta textura, especialmente a grande variação no tamanho de cristal é característica de piroclastos. Em algumas partes ocorrem vesículas. E por vezes correm alguns pórfiros de um mineral cinza escuro a esbranquiçado. Tem aparência de um material “brechado”.

O nefelina sienito é uma rocha de coloração cinza, de estrutura maciça. Holocristalina, inequigranular com granulação média. Composta por k-feldspato, plagioclásio, nefelina, piroxênio e titanita. Nas porções mais finas, ocorre a maior concentração de minerais máficos. Também ocorre intercalação entre uma rocha mais félsica e com uma mais máfica. Entre essas rochas não ocorre borda de reação.

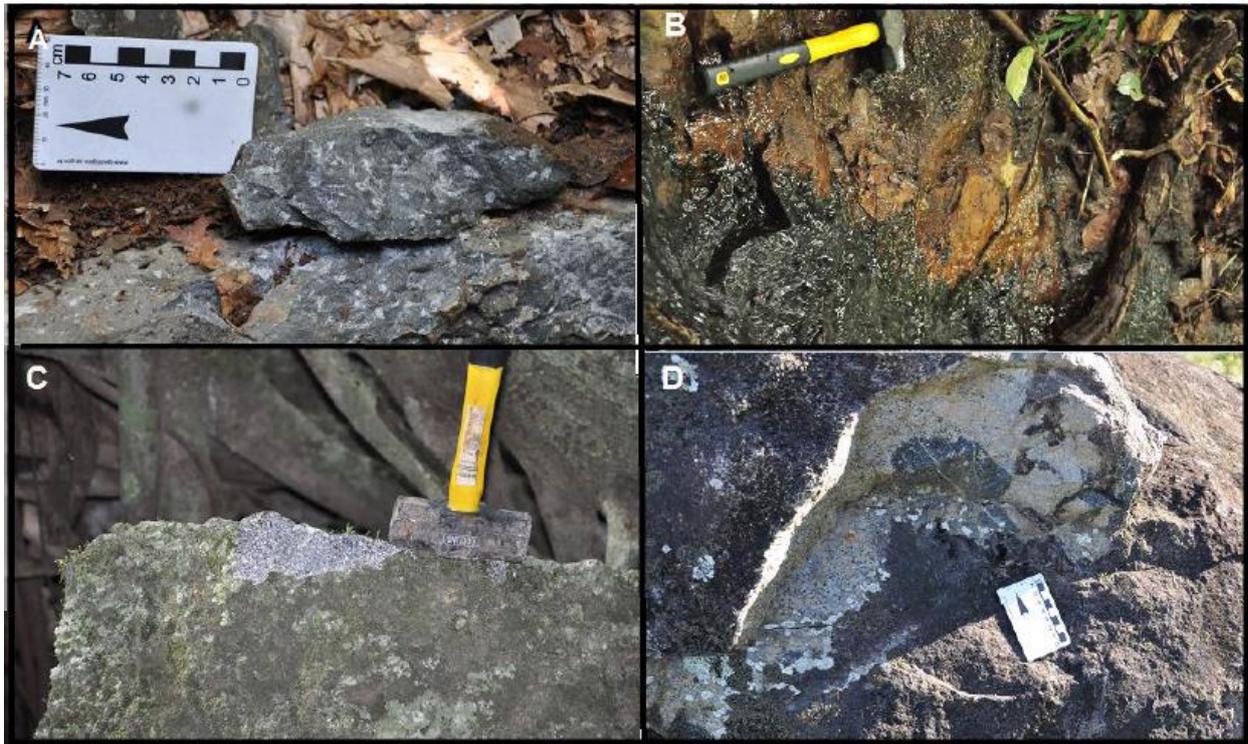
O quartzo monzonito é uma rocha inequigranular porfirítica, com granulação variando de média a grossa. Com 40% de pórfiros e 60% de matriz. Matriz orientada formada por quartzo na maioria recristalizado e ortoclásio de granulação fina. Pórfiros de hornblenda poiquilítica com granulação média, ortoclásio alterado de granulação média a grossa (a alteração ocorre nos cristais ripiformes). Opacos arredondados dispersos na lamina e/ou inclusos em cristais de hornblenda. Composta por ortoclásio, plagioclásio, quartzo, hornblenda, e zircão.

O monzonito é uma rocha intrusiva, holocristalina, inequigranular seriada, com granulação variando de fina a grossa. Composta por plagioclásio, ortoclásio, hornblenda, egerina-egerinaugita, biotita secundária, titanita, apatita e opacos.

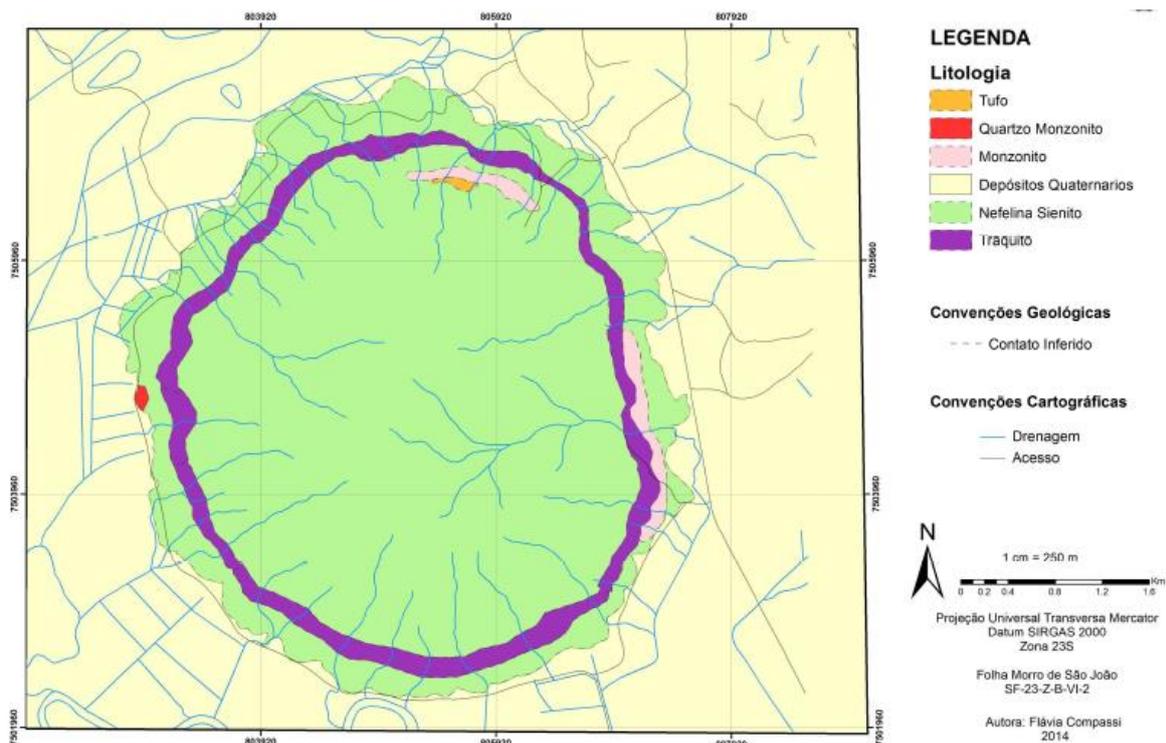
## Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato

Diversos tipos de rochas foram caracterizados quanto à composição mineralógica e textural, que variam no grupo das félsicas com sienitos e as máficas com os monzonitos, que ocorrem em menor proporção em relação as félsicas, sendo envolvidas por estas. Rochas indicando mistura entre magmas félsicos e máficos são observados localmente, o que sugere que esses magmas foram contemporâneos.

Com base na classificação de rochas alcalinas, estas foram descritas acima estão classificadas como rochas equítrico e miasquítica. O nefelina sienito e o monzonito seriam classificados como miasquítica e o quartzo sienito como equítrico de acordo com a classificação de Wernick (2004).



**Figura 4.** Amostras em campo. A-Traquito porfirítico. B- Tufo. C-Nefelina Sienito D-Mistura da rocha mais félsica com a mais máfica.



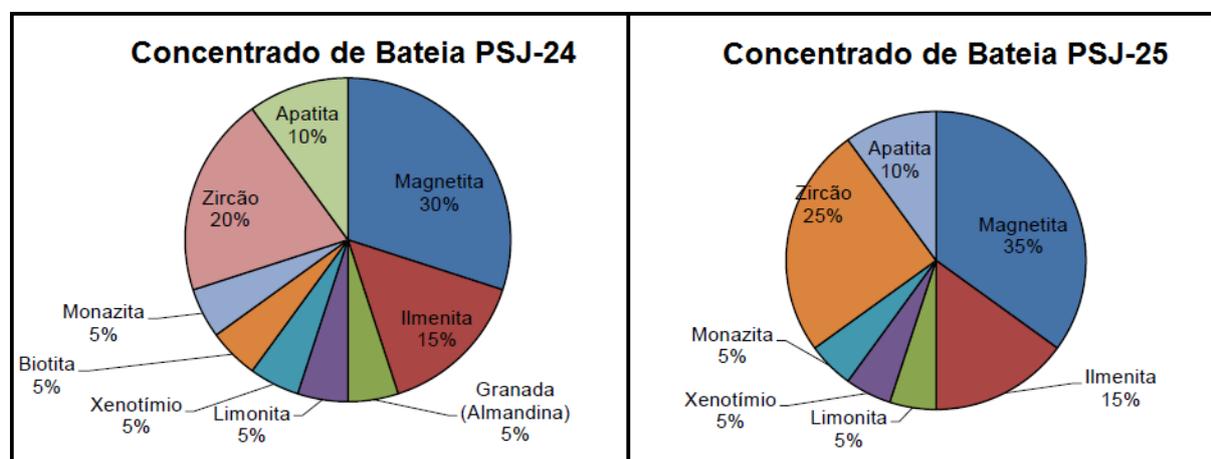
**Figura 5.** Mapa geológico do Morro São João. Identificação e caracterização dos minerais do concentrado de bateia.

Neste item serão descritos os principais minerais pesados encontrados na análise dos concentrados de bateia. Como guia para essa descrição foram usadas a seguinte referência (PEREIRA, 2005).

O estudo dos minerais pesados sempre teve ampla aplicação nos campos mais tradicionais da Geologia. Na Geologia Econômica e na Prospecção Mineral empregam-se direta ou indiretamente, os minerais pesados na busca dos depósitos minerais.

Os minerais pesados apresentam interesse para estudos tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista geológico. Eles podem servir como indicadores da natureza das rochas e das mineralizações/ocorrências minerais localizadas a montante do ponto de coleta de um sedimento de drenagem, da área fonte, bem como fornecer informações diretas sobre as associações mineralógicas contidas nos mais diversos litotipos.

Nos gráficos abaixo, estão representados as proporções de cada mineral que foi identificado no concentrado de bateia (Figura 6).



**Figura 6.** Análise Modal do Concentrado de Bateia no ponto PSJ-24 e PSJ-25.

## **Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato**

Como a diferença mineralógica e modal entre estas amostras foi pequena, optou-se por considerá-las como uma só. Procurou-se reproduzir, o mais fielmente possível, como visto em lupa binocular, as cores e as formas dos mais importantes minerais pesados em grãos. A ordem de apresentação segue o grau de suscetibilidade do grão mineral, ou seja, do mais magnético até os desprovidos de magnetismo ou diamagnéticos.

A magnetita esta a associada a quase todos os tipos petrográficos e ambientes sedimentares, sendo um mineral bastante comum. Presente em rochas ultrabásicas e básicas, em kimberlitos (alcalina), em rochas eruptivas de qualquer composição química, em granitos do tipo-I e tipo-A, em depósitos de metassomatismo de contato, em rochas metamórficas e em sedimentos em geral. O fato de ser atraída ao imã de mão a torna um mineral de fácil separação e caracterização. A magnetita foi observada nos dois pontos coletados, sendo atraída em quase toda sua totalidade a imã de mão, apresentando-se sob a forma de um mineral euédrico ou anédrico, de cor preta. Ela também foi observada sob a forma de inclusões em cristais de quartzo.

A ilmenita é um mineral bastante comum a todos os tipos de rochas, seja ígneas ou sedimentares, sendo frequentes em aluviões. Mineral característico dos granitos tipo-S. A ilmenita foi observada em ambas as amostras coletadas, apresentando-se sob forma, geralmente, bem a mal arredondadas, estando por vezes euédrica. Também é comum a presença de uma crosta de leucoxênio ( $TiO_2$ ), resultado da alteração da ilmenita.

Granada (Alamandina) comum em rochas crustais, sendo frequente em aluviões, devido ao seu caráter resistato. A almandina é comum em micaxistos e rochas metamórficas que contenham alumina e ferro e que tenham passado por processos de metamorfismo regional. Contudo pode ocorrer em granitos ricos em alumina. A granada foi observada na amostra do PSJ-24. No geral é subeuédrica, com alta esfericidade e subangular a bem arredada.

A Limonita é um mineral resultante da decomposição de diversos minerais de ferro, extensivamente, presente nos aluviões no Brasil, devido aos intensos processos de laterização sofridos em todo o território nacional. No geral aparecer amorfo, com coloração ocre e fraturas conchoidais. Também é comum, mas em menor quantidade, a presença de pseudomorfos tetraédrico de limonita.

A biotita ocorre em vários tipos de rochas e é muito comum em depósitos aluvionares recentes. A biotita ocorre raramente na amostra e foi encontrada apenas no ponto PSJ-24.

O xenotímio ocorre em granitos e pegmatitos. Nos granitos alcalinos encontram-se associado à cassiterita e à columbita. Mineral quase sempre presente em amostras de aluviões. No geral aparecer amorfo, com coloração ocre e fraturas conchoidais. Também é comum, mas em menor quantidade, a presença de pseudomorfos tetraédricos de limonita.

A monazita é comum a ocorrência em granitos, pegmatitos, granodioritos e em rochas alcalinas, sendo bastante comum em aluviões. A monazita no geral varia de subédrica à anédrica, de coloração amarelo-esverdeada, tendo alta esfericidade e grau de arredondamento que varia de anguloso a arredondado.

O zircão é um mineral acessório comum em granitos, pegmatitos e rochas magmáticas no geral, sendo bastante frequente também em aluviões. No geral, é euédrico, sob a forma de prismas bipiramidais, ora bastante alongados, ora bem curtos. Nas amostras apresentavam-se brancos, branco-leitosos, acinzentados e amarelados. Sendo caracterizado como duas famílias distintas.

Apatita está associada a maior parte das rochas ígneas e a rochas de tipos gnáissicos, ocorrendo com frequência em sedimentos fluviais. Devido à dificuldade em se diferenciar os grãos de apatita dos grãos de quartzo, fez-se uso do teste químico de fosfato, onde se atacou uma amostra com uma solução de ácido nítrico a 20% e molibdato de amônio, o que resultou em uma superfície de coloração amarelada sobre as apatitas, auxiliando na caracterização e na

contagem modal. A apatita apresenta-se de duas formas, uma euédrica, de coloração esverdeada, e uma anédrica, incolor com alta esfericidade e bem arredondada. Essa diferença, tanto em coloração como morfológica, sugere duas possibilidades, uma em que a apatita tenha mais de uma fonte de proveniência, sendo a euédrica mais proximal e a anédrica mais distal. A segunda seria que todas elas teriam áreas fonte proximais, algumas mais fortemente retrabalhadas, pois devido a sua baixa dureza ela pode ser considerada rara em aluviões

Durante as descrições dos concentrados de minerais pesados, observou-se que as concentrações de zircão eram elevadas, possibilitando incluir este mineral como mais um prospecto a ser analisado, o que culminou com uma melhor descrição deste, onde se observou a presença de duas famílias distintas ressaltando a presença da mistura de magma.

Um ponto importante é a quantidade expressiva de apatita, alvos deste estudo, na área. Que apresenta concentrações razoáveis, em torno de 10% nos concentrados de bateia, e em torno de 5% em lâminas delgadas do monzonito e 10% no nefelina sienito. Apesar dessa concentração considerável de apatitas em relação a outros tipos de rocha, estas quando comparadas aos depósitos supergenicos apresentam baixo teores. Isso pode ser explicado com relação a diferença nas idades entre o depósitos já explorados de fosfato aqui no Brasil com o apresentado pelo Complexo Morro de São João: Os depósitos que ocorrem no Brasil são do Mesozoico, já o complexo aqui estudado é do Cenozoico. Podendo indicar que as rochas que foram formadas no Mesozoico já tinham uma alta concentração de minerais de fosfato o que diminuiu nas rochas do Cenozoico. E também os depósitos do mesozoico possuem elevados teores devido ao enriquecimento supergênico e o Morro de São João por ainda ser mais novo não passou por esse enriquecimento.

O complexo São João apresenta concentrações média de 0,72% de fosfato, sendo que a suíte com teores de 39 a 47% de sílica são mais enriquecida em fosfato e apresentam uma média de 2,14% de fosfato. Contudo todo complexo apresenta concentrações de 0,02% a 3,71%.

Quando comparado com os depósitos já explorados no Brasil, se aproximando apenas do depósito de Barreiro, em Araxá – MG, que é de 3,3% de fosfato e que é explorado em conjunto nióbio e elementos terras raras, além de bário e titânio como subproduto (BIONDE, 2003).

Com base nas características do depósito citado, pode-se notar uma correlação, pois o Morro de São João, também apresenta altas concentrações de titânio, explicitado tanto pela química quanto pela intensa ocorrência de titanita e pela presença de granada titanífera.

### **CONCLUSÃO**

O Morro de São João é caracterizado por conter rochas alcalinas que cuja composição varia desde nefelina sienitos, quartzo monzonito, monzonito a rochas como tufo e traquito.

Apesar das rochas alcalinas estarem associadas à depósitos de importância econômica, como tântalo, nióbio, elementos de terras raras (ETR) e depósitos de fosfato (principalmente minerais de apatita); nem sempre estas possuem altas concentrações desses bens, que viabilizem uma lavra.

Na área de estudo os guias prospectivos para encontrados foram minerais de fosfato como monazita e xenotímio além da própria apatita.

Devido a todas as características discutidas ao longo do trabalho, e além disso por se encontrar em área de preservação permanente e ambiental, o complexo alcalino do Morro de São João, no momento não é viável a exploração para depósitos de fosfato, podendo, contudo, ser caracterizado bem como um modelo prospectivo e se apresentar potencial para produto supergênico de fosfato, sendo caracterizado como um protominério.

Conjuntamente deve-se especial atenção ao titânio que apresenta concentrações significativas, sendo encontrado em minerais como titanita e granada de titânio.

**Petrografia e concentrado de bateia do morro São João em Casimiro de Abreu (RJ) com ênfase em minerais de fosfato**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, F. F. **The system of continental rifts bordering the Santos Basin.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 15-26. 1976.

ALMEIDA, F. F. **Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana.** Revista Brasileira de Geociências, v. 13, n. 3, 1983.

BIONDE, J. C. **Processos metalogênicos e os depósitos minerais brasileiros.** São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

BROTZU, P.; AL., E. **Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 24, 2007. 93-115.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia.** Rio de Janeiro: [s.n.], v. 2, 1976.

EMBRAPA. **Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras – Quadrículas de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro.** Boletim de Pesquisa, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <[http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/bp23\\_2001\\_silva\\_jardim.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/bp23_2001_silva_jardim.pdf)>. Acesso em: Maio 2014.

GERALDES, M. C. **Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000.** Belo Horizonte: CPRM, 2012.

IBGE. **Carta Topográfica Morro de São João.** [S.l.]: [s.n.], 1978.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Instituto Brasileiro de Mineração,** Dezembro 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em: 10 Maio 2014.

MOTA, C. E. **Características Isotópicas (Nd e Sr), Geoquímicas e Petrográficas da Intrusão Alcalina do Morro de São João: Implicações Geodinâmicas e Sobre a Composição do Manto Sublitosférico.** Revista do Instituto de Geociências -USP.São Paulo, v. 9, n. 1, p. 85-100. 2009

MOTA, C. E. **Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mendanha e Morro de São João: caracterização do magmatismo alcalino do Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro. [S.l.]. 2012.

PEREIRA, R. M. **Fundamentos de prospecção mineral.** 2<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

PEREIRA, R. M.; ÁVILA, C. A.; LIMA, P. R. A. D. S. **Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. ISBN 978-85-7975-025-0.

RICCOMINI, C. **Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (Southeastern Brazil).** Journal of South American Earth Sciences, 2, 1989. 191-197.

**SILVA, D. A. Estudos petrográficos, litogeoquímicos e isotópicos (Ar-Ar) do Maciço Alcalino do Marapicu-RJ.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

**SILVA, J. R. S. D. Estudo do Levantamento Aerogeofísico do Estado do Rio de Janeiro na Região dos Lagos - Brasil.** Observatório Nacional. Rio de Janeiro. 2007. Disponível em: [http://www.on.br/conteudo/dppg\\_e\\_iniciacao/dppg/ferramenta\\_teses/teses/GEOFISICA/\[200\\_52-21\\_C\]ribamar.tese.3.pdf](http://www.on.br/conteudo/dppg_e_iniciacao/dppg/ferramenta_teses/teses/GEOFISICA/[200_52-21_C]ribamar.tese.3.pdf).

**WERNICK, E. Rochas Magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** São Paulo: Unesp, 2004. ISBN 85-7139-528-4.



## Capítulo 5

### **Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

*Allison Augusto Gonçalves de Freitas<sup>1</sup>; Jenesca Florencio Vicente Lima<sup>2</sup>, Marcelo Henrique Gonçalves de Freitas<sup>2</sup>; Lilian Gabriella Batista Gonçalves de Freitas<sup>2</sup>*

**RESUMO.** A exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a ocupação irregular do solo e a ausência de normas legais põem em risco a qualidade natural das águas subterrâneas. A dificuldade de recuperação dos aquíferos, devido à persistência dos contaminantes e custos excessivos, faz com que a identificação das áreas de vulnerabilidade e risco à contaminação sejam imprescindíveis colocando os aquíferos, principalmente os não confinados em programas de prevenção a contaminação da água subterrânea. O principal objetivo deste trabalho desenvolver um estudo de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas na Região Administrativa de Campo Grande na cidade do Rio de Janeiro, utilizando a metodologia GOD que é caracterizada devido à simplicidade e sua fácil aplicação. A área de estudo possui uma grande concentração de área urbana em regiões de baixadas com aquíferos muito próximos à superfície, o que favorecem a uma maior vulnerabilidade. Com a realização da metodologia foi possível classificar a área com dois intervalos de pesos que variaram entre 0,24 a 0,315 que deram ao aquífero a classificação de baixa à média vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Apesar da baixa vulnerabilidade, mostra-se a necessidade da adoção de políticas públicas que visem à proteção dos recursos hídricos subterrâneos da região.

**PALAVRAS-CHAVE.** Água subterrânea, Vulnerabilidade de aquífero, Metodologia GOD.

## INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam a principal fonte de água doce do mundo, sendo responsável pela sobrevivência da maioria das formas de vida no planeta. Correspondendo cerca de 96% de todo o recurso hídrico consumido pelos humanos, as águas subterrâneas em seu estado natural se encontram relativamente livres de contaminação (CPRM, 1997).

Em função do crescimento das cidades e aumento da demanda por água, tanto em ambiente urbano quanto rural, associados a uma ocupação irregular do solo, a superexploração, ou seja, a extração de água em volume maior do que o reposto pela natureza gerando impactos negativos como a seca das nascentes, esgotamento dos reservatórios entre outros, põem em risco a qualidade e quantidade natural das águas subterrâneas (MMA; MEC; IDEC, 2005).

IYPE (2005) considerada a água subterrânea um recurso natural indispensável para a humanidade e para o meio ambiente sendo frequentemente utilizada na agricultura, maior consumidora de água no mundo (70%), nas indústrias (20%) e nos lares (10%)

Com a frequente utilização deste recurso associado ao grande desperdício e a crescente perda de sua qualidade devido às ações antrópicas, se torna interessante determinar medidas de controle de contaminação e áreas de proteção a este recurso que já perdeu sua característica especial de recurso renovável em muitas regiões do mundo, na medida em que os efluentes e/ou

<sup>1</sup>Geólogo autônomo – Timóteo, MG, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo (CCENS-UFES) – Alegre, ES, Brasil

## Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ

os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada (Capucci et. al., 2001).

Desse modo a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos, do potencial e do risco à contaminação, especialmente nas zonas de recarga, torna-se indispensável para futuros planejamentos de desenvolvimento e controle da poluição e da qualidade da água subterrânea.

Este trabalho tem como principal objetivo desenvolver um estudo de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas através da metodologia “GOD” (Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table), elaborando um mapa de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, a fim auxiliar a elaboração de políticas de ordenação territorial adequadas ao aproveitamento sustentável e conservação destas reservas, contribuindo para reduzir os impactos sofridos pelos recursos hídricos subterrâneos.

### LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo compreende a Região Administrativa de Campo Grande constituída pelos bairros de Campo Grande, Cosmos, Inhoaíba, Senador Vasconcelos e Santíssimo e o bairro de Paciência situados na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro. Essa região é constituída por serras, planícies e descampados, e está inserida em um grande vale da planície de Sepetiba (OLIVEIRA, 1960). Os limites são definidos ao norte pelo Maciço Gericinó, também conhecido como Serra do Mendanha, ao Sul e leste pelo Maciço da Pedra Branca e a oeste pela Serra de Inhoaíba.

Campo Grande está envolvido nas coordenadas UTM 639500 E / 7472000N e 6537000 E / 7462000 N, na zona 23K, datum SIRGAS 2000 e compreende uma área de 11.912,53 hectares.

De acordo com o censo do IBGE 2010, 328.370 habitantes, sendo o mais populoso da cidade.

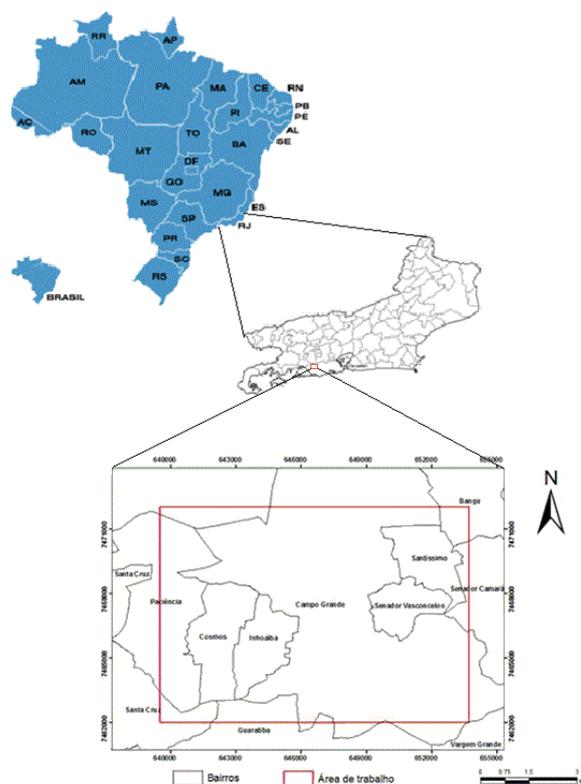


Figura 1: Localização da área de estudo.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA/GEOLOGIA REGIONAL

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência de toda vida na Terra. Entretanto, 97,6% da água do planeta são constituídas pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,4% restante, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrânea (CAPUCCI et al., 2001).

A água subterrânea é a parcela que se encontra no subsolo da superfície terrestre, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras, disponível em todas as regiões da Terra, constituindo importante recurso natural (TUNDISI, 2003).

Ao infiltrarem na superfície as águas preenchem os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, onde parte desta água sob a ação da força de adesão ou de capilaridade subterrânea fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada, enquanto a outra parte, submetida à força da gravidade, atinge zonas mais profundas no solo, constituindo a zona saturada (ABAS, 2006).

De acordo com a Resolução Nº 15, de 11 de Janeiro de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), entende-se por Aquífero, o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Cardoso (2010) classifica os aquíferos em relação à superfície limitante à zona saturada indicando o seu grau de confinamento (Figura 4). Desta forma, quando o limite superior do aquífero é a superfície freática ou saturada, sendo este delimitado por uma camada impermeável e outra camada permeável denomina-se aquífero livre, freático ou não confinado, onde a pressão que a água exerce na superfície freática é igual à pressão atmosférica. Quando o aquífero se encontra sob pressão, entre duas camadas impermeáveis, onde a pressão da água no topo é superior que a pressão atmosférica, este aquífero é chamado de aquífero confinado. Quando o aquífero se encontra adjacente a uma fina camada de material semipermeável, limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si, é chamado de semi-confinado.

As águas subterrâneas, são naturalmente mais protegidas que as águas superficiais, também estão sujeitas à contaminação.

O aumento das atividades humanas em uma bacia hidrográfica resulta no aumento da demanda dos recursos hídricos, causando poluição e contaminação da água.

Pode-se entender então como contaminação dos recursos hídricos subterrâneos qualquer degradação em relação à qualidade da água sendo esta resultado de algum tipo de atividade antrópica

A introdução de qualquer substância indesejada na água, alterando além das suas propriedades físico-químicas, as características do ambiente aquático podem ser considerados como contaminação (ABAS, 2016).

Segundo Foster et al. (2002, p. 4) “A contaminação de aquíferos ocorre quando a carga de contaminantes sobre o subsolo gerados por descargas ou lixiviados de atividades urbanas, industriais, agrícolas ou mineiras não são controladas adequadamente, e certos componentes excedem a capacidade natural de atenuação do subsolo e estratos suprajacentes”.

A contaminação das águas subterrâneas geralmente é mais difícil de detectar uma vez que são bem mais resistentes à poluição dos que os de água superficial, devido à camada de solo sobrejacente que atua como filtro físico, químico e biológico (CGEE, 2005).

Segundo Foster et al. (2002), Os principais causadores da contaminação são a urbanização, a expansão industrial, a atividade agrícola e a extração mineral, assim como

## **Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

tratamento inadequado dos resíduos sólidos, que é uma das principais fontes contaminantes das águas subterrâneas.

As fontes de contaminação estão associadas à falta ou ineficiência de um sistema de esgotamento sanitário, a despejos domésticos e industriais, à contaminação por chorume proveniente dos lixões, à implantação inadequada dos postos de gasolina, à excessiva irrigação por fertilizantes, uso de pesticidas, ao necrochorume, dentre outras (HYPÓLITO & EZAKI, 2006; HILDEBRANDT et al., 2008; ALMEIDA et al., 2006).

Foster e Hirata (1988) define a vulnerabilidade como as características naturais que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente antrópica aplicada. Sendo assim, entende-se que o conceito de vulnerabilidade é diferente de risco de poluição, onde o risco depende além da vulnerabilidade, também da existência de cargas poluentes significativas que atinjam o subsolo.

Segundo Foster et al. (2002) a vulnerabilidade de um aquífero corresponde a um conjunto de características intrínsecas dos estratos, ou seja, dos solos e substratos geológicos que determinam sua suscetibilidade e fragilidade à presença de cargas contaminantes, também conhecida como vulnerabilidade intrínseca. Este termo é utilizado por Foster e Hirata (1988) para expressar as características intrínsecas naturais de um aquífero que determinem a sensibilidade deste aquífero de ser afetada por poluentes antrópicos

A análise de vulnerabilidade é determinada de acordo com um conjunto de características dos estratos entre a zona saturada e a superfície do solo como: litologia, tipos de solo, topografia, profundidade do lençol freático, uso e ocupação do solo. Estes fatores determinam a suscetibilidade do aquífero de sofrer os efeitos causados pelos contaminantes acima do nível freático (FOSTER, 1987).

A vulnerabilidade de um aquífero depende também do tipo de poluente potencial, como por exemplo, a qualidade da água subterrânea pode ser muito vulnerável a uma carga de nitratos, originada por práticas agrícolas incorretas e, no entanto, ser pouco vulnerável a cargas patogênicas (Leitão et al, 2003).

Tendo em consideração esta realidade é fundamental avaliar a vulnerabilidade à poluição em relação a casos específicos de poluição. Nesse sentido, Leitão et al (2003) lista diversas metodologias desenvolvidas através dos conjuntos de características: método DRASTIC (ALLER et al, 1987), o método GOD (FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA, 1988), o método AVI (VAN STEMPEVOORT, EWERT E WASSENAAR, 1992), o método SINTACX (CIVITA et al, 1990), assim como vários outros.

O método GOD, desenvolvido em 1987 por Foster, e modificado em 1988 por Foster e Hirata consiste num método bastante simples em seu conceito e em sua aplicação. Entende-se como o primeiro passo para a avaliação do perigo de poluição do aquífero com a finalidade de criar prioridades, determinando a vulnerabilidade intrínseca, logo não tem em consideração o tipo de contaminante. Este método denomina índices entre 0 e 1 às três seguintes variáveis: G - grau de confinamento hidráulico da água subterrânea; O - ocorrência de estratos geológicos e grau de consolidação da zona não saturada ou camadas confinadas; D - profundidade do nível d'água subterrâneo (Bracho et al., 2004).

A região possui um clima tropical quente e úmido. Devido a grande diferença topográfica entre as baixadas e as encostas que a envolvem, encontram-se duas zonas pluviométricas distintas. Os ventos úmidos que vem da Baía de Sepetiba fazem com que o verão se torne úmido e o inverso mais seco nas baixadas, já nas encostas das serras, a pluviosidade é mais elevada sem uma estação seca definida. De acordo com dados obtidos entre 1931 e 1995 (Figura 9) foi possível observar a média anual de temperatura na região da baixada com valor de 23,5° (CAMPOS, 1996).

Os Maciços do Gericinó e da Pedra Branca atuam como barreiras à passagem de ventos e de massas úmida, sua vegetação contribui para a absorção de calor e para o aumento do nível de umidade do ar, todas essas características influenciam no microclima da região.

As unidades geomorfológicas da região foram subdivididas por Dantas (2000) de acordo com os agrupamentos de relevo de agradação e dos relevos de degradação. Nos relevos de agradação, caracterizados pelas planícies flúvio-marinhas, flúvio-lagunares, colúvio-alúvio-marina e costeiras, predominam os processos deposicionais, onde a superfície são observadas planas a subhorizontais. Nos relevos de degradação com predomínio de processos denudacionais, representados pelos domínios de colinas isoladas, morrotes e morros baixos isolados, alinhamentos serrados isolados compreendem as formas de relevo residuais. Além destes tipos de relevos, os maciços intrusivos alcalinos e maciços costeiros e interiores, também dominado por processos denudacionais, caracterizam relevos dômicos e relevos montanhosos respectivamente.

O relevo da área é formado basicamente por duas grandes unidades: Maciço Pedra Branca; e as planícies sedimentares que compõem as baixadas (Figura 10).

A região é composta por maciços rochosos e regiões de baixada, sendo assim, a ocorrência dos solos está associada à geomorfologia da área.

De acordo com a EMBRAPA (2014), nas cristas dos maciços com altitudes superiores a 300 m o solo é composto por Latossolos (Amarelo e Vermelho-Amarelo) e Cambissolos no topo; Argissolos (Amarelo e Vermelho-Amarelo) e Chernossolo Argilúvico/Luvissole Háplico nas encostas; e Argissolos (Amarelo e Vermelho-Amarelo) moderadamente drenados. Por outro lado, as baixadas diferenciam-se das elevações, principalmente pelos topos horizontais, com Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos latossólicos nas encostas. As regiões de baixada são caracterizadas principalmente por solos orgânicos e argilosos, influenciados pela proximidade com o mar. Gleissolos, organissolos, espodossolos e solos de mangue são os predominantes neste tipo de ambiente. No relevo muito acidentado do Maciço Pedra Branca, os pontões são afloramentos de Rocha e Neossolos Litólicos.

O estado do Rio de Janeiro é constituído basicamente por rochas Pré-cambrianas cristalinas, também por vezes eopaleozóicas, frequentemente cortadas por diques de rochas básicas e alcalinas do Mesozóico e Terciário (CAMPOS, 1996).

A região de estudo é composta por: Depósitos Flúvio-Lagunares, Granitóides pós-tectônicos (Maciço Pedra Branca), Suíte Rio de Janeiro e o Complexo Rio Negro (Figura 12).

Segundo Silva (2001), os depósitos flúvio-lagunares São constituídos por areias e lamias sobrejacentes a camadas de areias biotriticas e/ou sedimentos lamosos de fundo lagunar e ocorrências de turfas, nos depósitos associados ao canal fluvial (depósitos residuais de canais) caracterizado como areias e cascalhos. Estes depósitos têm sua origem a partir de regiões que sofreram a deposição fluvial em um ambiente transicional marinho raso CPRM (2000).

O Granitóide pós-tectônico conhecido como Maciço Pedra Branca (MPB) é caracterizado por conter um conjunto de rochas gnáissicas e graníticas.

Os granitóides presentes neste conjunto com idades cambrianas são os seguintes: Granito Tardi- a Pós-Colisional (Granito Pedra Branca) e Granito Pós-Colisional (Granito Favela/ Andorinha). Além de um conjunto de rochas com idade cambriana presumível corresponde a Granitóides e Rochas Máficas Tardi- a Pós-D3 (Gabro Grota Funda e Tonalito Tachas).

A Suíte Rio de Janeiro é constituída por granitóides com texturas e estruturas magmáticas bem preservadas, se divide em Granito Corcovado e Granito Pão de Açúcar.

O Granito Corcovado ocorre como tipo-S com granada, muscovita e biotita, textura megaporfirítica (augen) com superposição de foliação tangencial em estado sólido. Xenólitos e

## **Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

restitos de paragnaisse são abundantes, bem como intrusões de diques aplíticos tardios de leucogranito tipo S.

O Granito Pão de Açúcar possui fácies metaluminosa do Granito Corcovado com hornblenda e biotita como minerais acessórios; localmente com bolsões em manchas de granada-ortopiroxênio charnockito. (PETROBRAS, 2009).

O Complexo Rio Negro é composto por ortognaisses formados há aproximadamente 600ma. Foi definido por Tupinambá et al. (2012) como um arco magmático formado por ortognaisses e granitoides com pouca deformação e são compostos por diorito, tonalito gnaisse, leucogranito e gnaisse porfirítico.

Cerca de 80% do território do Estado do Rio de Janeiro é composto essencialmente por rochas cristalinas (gnaisses, migmatitos, granitos, rochas alcalinas, entre outras). Nesse sentido, as águas subterrâneas mostram-se espacialmente distribuídas em aquíferos fissurais que o compõe essa parte do território. O restante do território, aproximadamente, 20% de sua área se encontra inseridos nas planícies litorâneas e bacias sedimentares. Nestas rochas e sedimentos os aquíferos são do tipo poroso. Condicionada por estes aquíferos, as águas subterrâneas desta região se encontra armazenada a profundidades de em média 1,5 metros (CAPUCCI, 2001).

### **METODOLOGIA**

A avaliação do índice de vulnerabilidade se divide em três fases. Primeiramente é feita a identificação do tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, apresentada num intervalo de 0-1; depois é feita a caracterização da ocorrência e caracterização geológica da zona não saturada, representada numa escala de 0,4-1; e por último foi feito a determinação da profundidade do nível d'água, exibido numa escala 0,6-1.

O produto das fases se dá pela multiplicação dos três parâmetros entre si é o índice natural à poluição do aquífero, expresso em escala de 0,1-1, determinando as áreas mais susceptíveis à contaminação através do índice de vulnerabilidade definindo as classes de vulnerabilidade do aquífero.

Assim, o índice de vulnerabilidade adquirido através da metodologia GOD é transformado num mapa, que definem áreas de índices relativos de vulnerabilidade natural dos recursos hídricos subterrâneos.

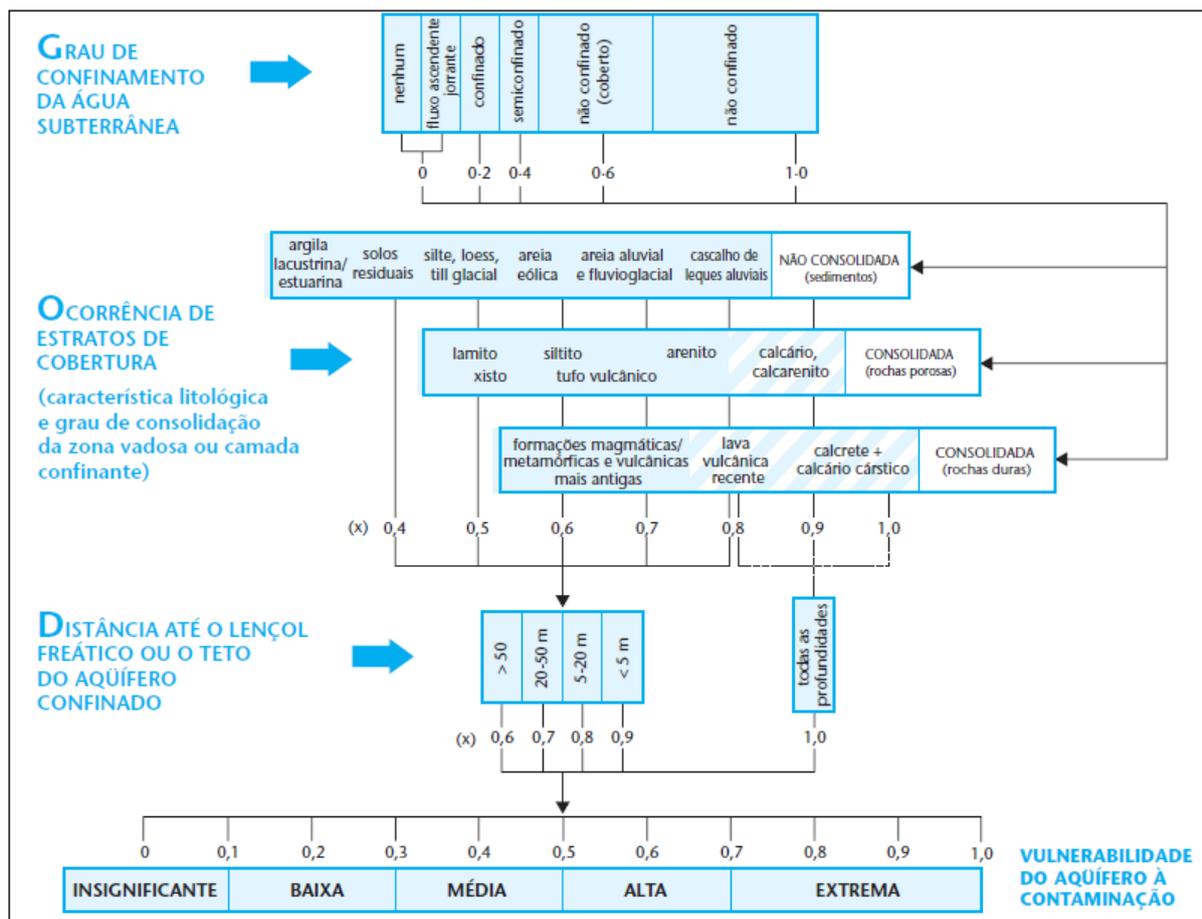


Figura 2: Método de avaliação de vulnerabilidade GOD

Fonte: Foster et al. (2002).

Para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade primeiramente foi realizada a criação do banco de dados, digitalização de dados vetoriais, edição de polígonos, geração dos mapas, cruzamento de mapas, integração de arquivos de softwares como AutoCAD e Excel.

Para a confecção dos mapas de geologia, litologia, solo e nível freático foram utilizados arquivo vetorial, utilizando a extensão analysy tools do ArcMap 10.1, extraíndo a área de estudo através da função Clip. Para fundir as distintas camadas do mapa de estudo, foi utilizado a extensão Data management tools e General.

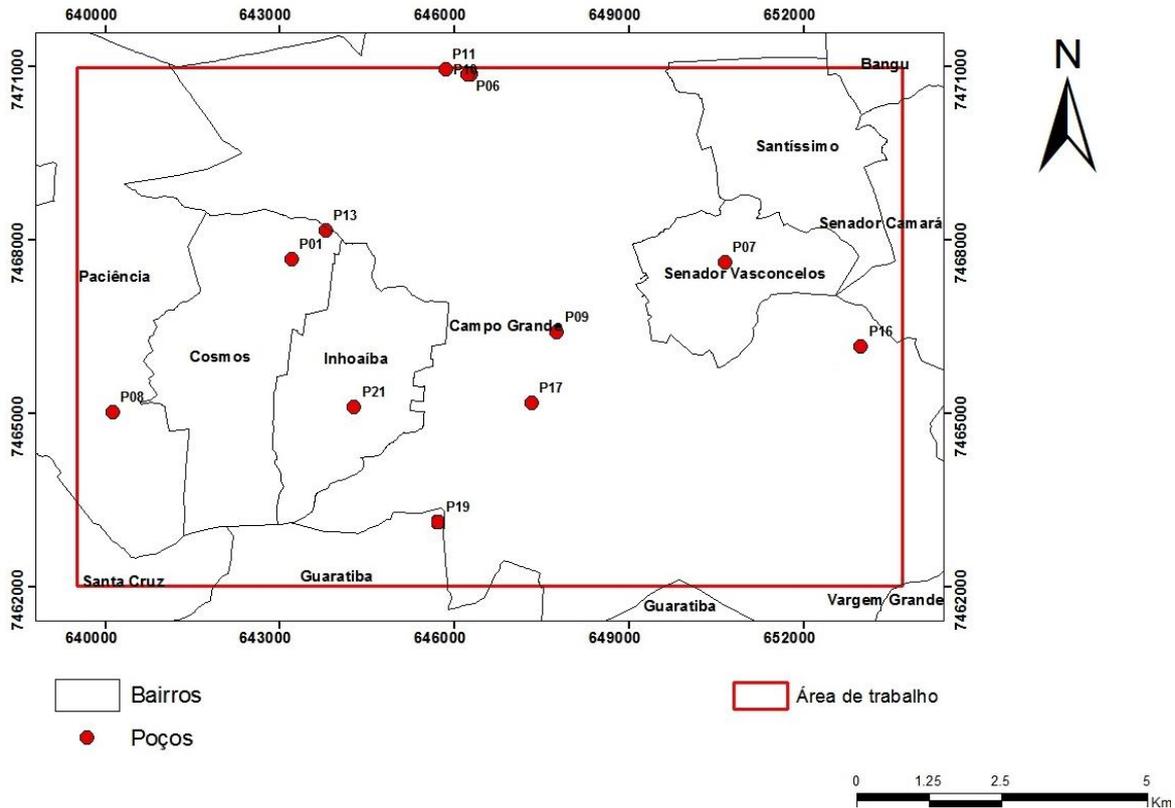
Para a confecção dos mapas dos parâmetros G (Grau de confinamento), O (Ocorrência litológicas), D (Distância no nível da água), elaborou-se uma tabela de atributo com as informações obtidas ao longo do estudo através de mapas e dados de campo. Nesse seguimento, foram atribuídos os pesos da metodologia para cada mapa utilizando a função reclassify, onde cada classe é identificada com uma cor diferente.

O mapa final da vulnerabilidade foi gerado a partir da transformação dos mapas dos três parâmetros da metodologia GOD, do formato shapfile para o formato raster, com a função polygon raster onde após a transformação utilizando Raster Calculator.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização do trabalho, foram utilizados os dados obtidos através do Relatório de Avaliação Hidrogeológica e da Qualidade das Águas Subterrâneas nas Regiões Administrativas de Campo Grande e Guaratiba – Município do Rio de Janeiro/ RJ, onde foram analisados 13 poços (Tabela 3) dispostos na região de estudo conforma a figura 17.

## Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ



**Figura 3:** Distribuição dos poços na área de estudo.

A área de estudo é caracterizada pela ocorrência de aquífero fraturado, onde o armazenamento e a circulação da água subterrânea estão relacionados às fraturas abertas que se intercomunicam. Devido a seu comportamento diferenciado entre os tipos de aquíferos (livre ou confinado) em função dos condicionantes geológicos (estruturas primárias e tectônicas), condições heterogêneas de circulação e armazenamento de água, além de vazões variáveis e capacidades específicas baixas, o índice GOD atribuído para este parâmetro foi 0,5 para toda a área de estudo, conforme apresentado na figura 18.

A área de estudo se encontra inserida na bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba que é composta por planícies litorâneas quaternárias e pelo embasamento pré-cambriano, granito-gnáissico, que constituem a Serra do Mar, onde se desenvolvem aquíferos fissurais relacionados às elevações rochosas da região (PETROBRAS, 2009).

Às áreas compostas pelos depósitos sedimentares normalmente possuem alta permeabilidade e porosidade devido às suas características composicionais, dão a essa região uma característica de mais alta vulnerabilidade em relação as outras, sendo atribuído o peso de 0,7. Nas regiões que incluem as outras três litologias compostas por rochas ígneas e metamórficas o peso atribuído foi de 0,6.

Na área de estudo o nível do lençol freático variou entre 0 a 7,29 m, A maior proximidade da superfície então favorece a vulnerabilidade do aquífero, sendo assim peso adotado na metodologia GOD é maior quando comparado a demais profundidades. Sendo assim foi possível obter dois pesos diferentes entre os poços. A metodologia GOD propõe que profundidades inferiores ou igual a 5 recebem o peso 0,9 e profundidades entre 5 e 20 metros de profundidades recebem o peso 0,8.

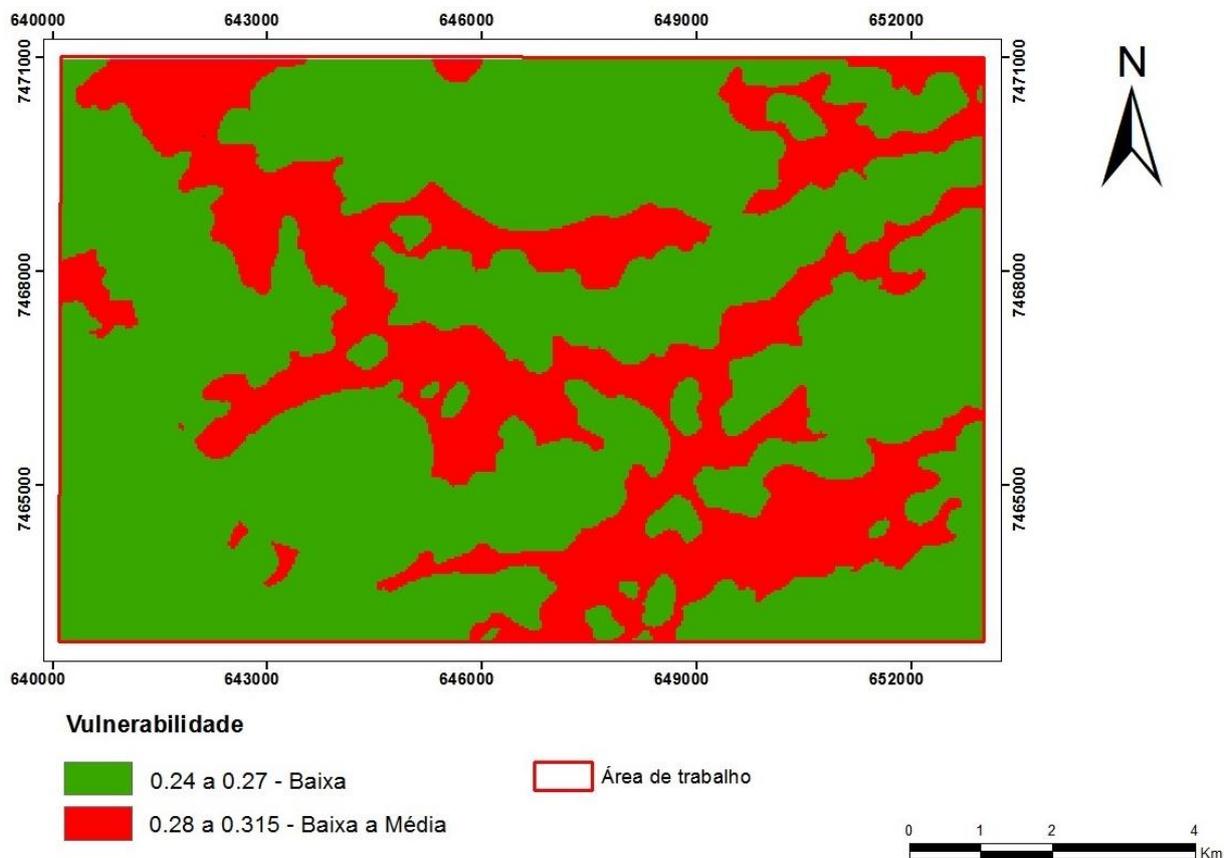
Definidos os parâmetros que compõem o Método GOD e após a aplicação do procedimento metodológico, foi possível gerar o mapa de vulnerabilidade natural à contaminação das unidades hidrogeológicas da região de estudo.

A área de estudo recebeu a classificação de baixa a média vulnerabilidade à contaminação. Na região onde ocorre a zona urbana cerca de 31,94 km<sup>2</sup> (30,25%) obteve peso 0.28 a 0.315 indicando uma baixa a média vulnerabilidade à contaminação. A região classificada como de baixa vulnerabilidade, correspondendo 73,67km<sup>2</sup> (69,75%) da área, recebeu peso 0.24 a 0.27 (Figura 22).

Nas regiões de aquíferos fraturados os solos tem grande importância, pois influenciam na recarga e desempenham um papel importante na proteção dos processos de contaminação podendo contribuir com a atenuação da contaminação do aquífero. A ocorrência de solos argilosos na região pode oferecer ao ambiente uma maior proteção das águas subterrâneas já que as argilas possuem uma menor permeabilidade e a vulnerabilidade dos aquíferos está relacionada com o tempo que o contaminante leva para percolar a zona não saturada e os processos de adsorção e atenuação dos contaminantes por esta zona (MONTERO, 2012).

A presença da zona urbana nesta área também é um fator que pode influenciar na vulnerabilidade do aquífero, devido ao uso e ocupação do solo de forma inadequada, detritos dos esgotos domésticos e efluentes industriais que são considerados uns dos principais contaminantes em áreas urbanas. Devido à baixa profundidade do nível freático estes fatores são potencializados assim como pela baixa profundidade do nível estático, pela recarga direta, material pouco consolidado e a permeabilidade intrínseca do solo da região.

De acordo com Hirata e Fernandes (2008), uma baixa vulnerabilidade indica que o aquífero é vulnerável a longo prazo, para contaminantes conservativos quando os mesmos são bastante lançados e lixiviados no subsolo. Quando os aquíferos possuem uma vulnerabilidade intermediária, isso indica que o aquífero é vulnerável a alguns contaminantes como sais, nitratos e hidrocarbonetos clorados e não clorados, quando estes são continuamente lançados.



**Figura 4:** Mapa de Vulnerabilidade do aquífero.

## **Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

### **CONCLUSÃO**

A simplicidade conceitual do método GOD é uma alternativa para a análise de vulnerabilidade e risco à contaminação de aquíferos, com o objetivo de criar ações de controle e proteção do aquífero, principalmente nas áreas urbanas, onde as fontes potenciais de contaminação são mais frequentes.

Foster et al. (2002), diz que o método GOD, assim como qualquer outro método, possui limitações durante a análise da vulnerabilidade e cita algumas considerações hidrogeológicas que funcionam como limitantes, como: Presença de cursos d'água superficiais indefinidos;

Excessiva exploração do aquífero; Compactação de argilas e; Aplicação em aquíferos fissurados.

Sendo assim a aplicação de um método apenas, pode acarretar a generalização de determinadas características do meio físico, levando a uma interpretação subestimada uma vez que as atividades antrópicas podem ser o principal fator que leva um aquífero a possuir um alto risco de contaminação. Assim para uma caracterização mais correta da vulnerabilidade, é necessária a associação de mais métodos.

Quando há contaminação, o aquífero é necessário um custo muito alto de recuperação e longo tempo no processo de recuperação, uma vez que esta contaminação não é visível e sua exploração é muito distribuída principalmente neste tipo de aquífero que possui bastante heterogeneidade em suas características de armazenamento e circulação, o que dificulta a identificação e a caracterização dos problemas de contaminação.

Considerando então a importante relação entre as atividades antrópicas e o recurso hídrico subterrâneo, deve ser realizar estudos que determinem a vulnerabilidade e o risco de contaminação das águas subterrâneas para que assim seja feito o manejo e controle do uso e ocupação do solo nas regiões em que se apresentam uma elevada vulnerabilidade natural à contaminação.

Essa avaliação permitiu definir que os aquíferos fraturados da região possuem uma boa proteção natural, uma vez que ela se mostra bastante resistente à contaminação, com vulnerabilidades baixas a médias. Porém devemos dar atenção na questão de uso e ocupação do solo criando medidas que promovam a proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<http://www.abas.gov.br/>>. Acesso em 17 de abril de 2016.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. **Drastic: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hidrogeologic settings**. US.EPA Report 600/2-85/018, 1987.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil. Cadernos de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANA [et al.]. v. 1. 175 p. 2005.

IYPE - International Year of Planet Earth. **Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede?**. Leiden, 2005.

BÓS, SIDIANE MANFRON **Métodos para avaliar vulnerabilidade das águas subterrâneas / Sidiane Manfron Bós**, Antônio Thomé. – Porto Alegre, RS: POA Comunicação, 2012. 82 p.: il., color.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R.; ROSA, E.F.F. **Aquífero Guarani – A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004.

BRACHO, JAVIER DE JESÚS CORTÉS; MORENO, LUÍS SAMANIEGO; NIETO, ARTURO MONROY; MÉNDEZ, ABELMAR LÓPEZ, **Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación**. Disponível em [www.uaaan.mx/DirInv/Resul\\_PI-04/](http://www.uaaan.mx/DirInv/Resul_PI-04/) (índice por autor \_ programa: ingeniería agrícola \_ J. J. Cortés Bracho (2)). Acesso em 10/04/2016, 23h55min.

BROLLO, M. J.; VEDOVELLO, R.; ODA, G. H. 2000. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural de Aquíferos à Contaminação Através de um Sistema Gerenciador de Informações Geoambientais - Um Instrumento de Gestão Ambiental**. XXVII Congresso Interamericano de Ingeniaria Sanitaria y Ambiental. Memorias...Ambiental. Asociación Interamericana de Ingeniaria Sanitaria y Ambiental - AIDIS, Porto Alegre, RG, Brasil. 17p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução n.º 32**. Brasília: Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2003. Disponível na página na internet: <http://www.cnrh-srh.gov.br/deliber>.

CAMPOS, J. C. V. **Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio Cabuçu – Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro – RJ**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UFRJ. 100p. 1996.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 70p.

CARDOSO, L.V.R.Q. **Estudo Comparativo dos Métodos Drastic e God na Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à Poluição da Bacia Hidrográfica do Rio Cabril – Vila Real**. 2010.

CERQUEIRA, F. C. **Hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no município de São João da Barra, RJ**, Flavio Costa de Cerqueira. – Campos dos Goytacazes, 2014.

CHRISTOFIDIS, D. **Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos**. In: THEODORO, S. **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

CIVITA, M. **Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all inquinamento: teoria & pratica**. Pitagora Editore Bologna, Itália, 1994.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: **Manual de educação**. Brasília: Consumers International/MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p.

CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Disponível em :<<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 15 de Maio de 2016.

CPRM. **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília. 2000.

**Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

CUSTODIO, E.; **Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos.** En: **La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica.** Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 83–108.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Contaminación de las aguas subterráneas.** In \_\_\_\_\_. **Hidrología Subterránea.** 2. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996. cap.18.3, p.1905.]

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM. 2000.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Manual de Métodos de análise de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solo. 2011.

FEITOSA, FERNANDO A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, LABHID–UFPE), 1997.

FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy.** In: **Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants**, 38., 1987, Noordwijk. **Proceedings and Information of the International Conference held in the Netherlands.** Noordwijk: TNO Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69-8

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterráneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R. **Poluição das águas subterráneas. Um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável.** São Paulo: Instituto de Geologia, 1993.

FOSTER, S.; GARDUÑO, H.; KEMPER, K; TUINHOF. A; NANNI, M.; DUNCAN, C.. **Groundwater Quality Protection: defining strategy and setting priorities.** GW-MATE Briefing Note n.8. 2003b.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies.** Washington: The World Bank, 2002.

FOSTER, STEPHEN; HIRATA, RICARDO; GOMES, DANIEL; D'ELIA, MONICA; PARIS, MARTA. **“Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies;** s.l., The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2002; Tradução: Silvana Vieira, , Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, Brasil, 2006.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.** BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 411-437. 2003.

HIRATA, R.C.A. **Os recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais.** Revista IG, v.14, n.1, p.39-62, 1993.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. **Vulnerabilidade a Poluição de Aquíferos.** In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3ª ed. rev. e ampl. Rio da Janeiro: CPRM:LABHID, 812p. 2008.

HYPÓLITO, R.; EZAKI, S. **Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo - SP.** Águas Subterrâneas. v.20, n.1, p. 99-114, 2006.

INEA-Base legal para a gestão de águas do estado do rio de janeiro. n 2.Rio de Janeiro 2014. Disponível em:  
<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062144.pdf> Acesso em: 07 de Junho de 2016.

LEITÃO, T. E. et al. **Poluição de águas subterrâneas: principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação.** Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Cabo Verde, nov./2003.

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Disponível em:  
<[http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/text](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/text)>  
Acesso em 09 de abril de 2016,.

MAIA, P.H.P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos.** 2011. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UFBA, 2011.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia.** Santa Maria: Editora da UFSM, 1997.

**Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do Município do Rio de Janeiro** / editores técnicos, José Francisco Lumbreras & João Bosco Vasconcellos Gomes.- Sergipe: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

MARTINS, A. M., CAPUCCI, E., CETANO, L. C., CARDOSO, G.; BARRETO, MONSORES A. B. C. A. L. M., Leal, A. S; Viana, P. XIV **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.Curitiba.** 2006.

MARTINEZ, M. M.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; LOPES, G. N. **Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS/Brasil.** Agro@mbiente On-line, v. 2, p. 1–8, 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente: Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>.  
Acesso em 14 de março de 2016.

**Avaliação preliminar da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos na região administrativa de Campo Grande, RJ**

MONTERO, RAFAEL CARRION. **Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos nas sub-bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe-SP.**(Dissertação).Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 2012.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos.** 2º ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

OLIVEIRA, LÚCIA DE. **Aspectos Geográficos da Zona do Rio da Prata.** Revista Brasileira de Geografia, n.1, 1960. 140p.

**Prospecção Tecnológica em Recursos hídricos** / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília: CGEE, 2005 100 p

PETROBRAS – CARVALHO, M. G.; BARBOSA, G. R.; VICENTE, J.F.; CEZAR, M. R.; CARVALHO, L. **Avaliação Hidrogeológica e da Qualidade das Águas Subterrâneas nas Regiões Administrativas de Campo Grande e Guaratiba – Município do Rio de Janeiro/RJ.** Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnologia da UFRRJ – FAPUR. 2009.

RIO DE JANEIRO. Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos - IPP. Disponível em: <[http://www2.rio.rj.gov.br/smu/imagens/PEU/ZONEAMENTO\\_CG.pdf/](http://www2.rio.rj.gov.br/smu/imagens/PEU/ZONEAMENTO_CG.pdf/)> Acesso em 04 abr. 2016 às 14:27.

REGINATO, P. A. R. **Integração de dados para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas (RS).** 2003. 254f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. **Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe.** Águas Subterrâneas, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2011.

SANTOS, Vanessa Sardinha Dos. **"Diferença entre água poluída e água contaminada"**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/diferenca-entre-agua-poluida-agua-contaminada.htm>>. Acesso em 16 de junho de 2016.

SOUZA, NATHÁLIA ASSUNÇÃO DE, 1984 – **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas: um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, Mg/** Nathália Assunção de Souza. – 2009. 135 f. : il.

SILVA, FLORILDA VIEIRA DA. **Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemiterial na cidade de Maceió-AL** / Florilda Vieira da Silva. – 2012. 150 f. : il., tab.

SILVA, L.C. e CUNHA, H.C.S. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Rio de Janeiro.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 2001.

SMU - Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio de Janeiro. Disponível em: [www2.rio.rj.gov.br/smu/imagens/PEU/ZONEAMENTO\\_CG.pdf](http://www2.rio.rj.gov.br/smu/imagens/PEU/ZONEAMENTO_CG.pdf) acesso em **04 abr. 2016 às 14:27.**

Tundisi, J. G. **Água no século XXI, enfrentando a escassez.** São Carlos: RIMA, 247 p. 2003.

TOMAZ, P. **Infiltração e balanço hídrico Recarga, infiltração, drenagem, noções de hidrogeologia, economia ecológica.** São Carlos-SP. 2007



## Capítulo 6

### Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo – ES

*Ana Carolina Ferreira Xavier<sup>1</sup>; José Augusto Costa Gonçalves<sup>2</sup>*

**RESUMO.** A utilização e sem critérios das águas superficiais e subterrâneas vem trazendo consequências drásticas ao meio ambiente, além de gerar índices exorbitantes de degradação das mesmas. A crescente exploração da água subterrânea, devido, principalmente, a sua boa qualidade, tem exigido a necessidade de controle tanto em questões quantitativas como qualitativas. Com isso, a avaliação da possibilidade de contato entre substâncias contaminantes e sistemas aquíferos, classificada como vulnerabilidade, torna-se uma ferramenta indispensável na tomada de decisões a respeito da exploração das águas subterrâneas, uso e ocupação do solo, entre outros. A Gruta do Limoeiro, localizada no município de Castelo, ES, é parte de um importante sítio arqueológico do estado, e nela foi possível registrar a presença de um manancial de água subterrânea, que dentre inúmeras funções, é a principal responsável por esculpir e dar formas aos terrenos cársticos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade natural desse sistema, utilizando a metodologia GOD, com base nos seguintes parâmetros: tipo de aquífero; litologia da zona vadosa e solos residuais; e a profundidade do nível d'água. Com base nos resultados calculados, pôde-se classificar a vulnerabilidade natural do aquífero cárstico como moderada, sendo o valor limite para esta categoria é 0,5. Trabalhos como este devem ser encarados com o caráter preventivo, objetivando mais a preservação dos recursos hídricos que sua própria recuperação. Tais investigações podem auxiliar os órgãos responsáveis quanto às estratégias para um melhor gerenciamento da gruta e do recurso hídrico subterrâneo.

**PALAVRAS-CHAVE.** Aquífero cárstico, GOD, Vulnerabilidade.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que desempenha papel fundamental em vários processos globais, como, por exemplo, a transferência de calor por meio das correntes marinhas, o que interfere nas mudanças climáticas. É também essencial para todas as formas de vida no planeta, principalmente para os seres humanos, pois além de vital, a água é utilizada como insumo básico para a maioria das atividades, como: produção de energia, agricultura, indústria e transporte, essas todas apresentando um alto potencial poluidor.

Na Terra, este recurso é encontrado de forma livre em diferentes quantidades, principalmente nos oceanos, geleiras, aquíferos, rios, lagos e atmosfera, sendo também muito susceptível às interferências, no quesito qualidade.

Segundo o relatório da ONU, do dia 12 de março de 2009, sobre o Desenvolvimento da Água no Mundo (Ingham, 2009)

*“o aumento populacional, as mudanças climáticas, a irrigação irresponsável e o desperdício crônico ameaçam o abastecimento mundial de água doce.”*

<sup>1</sup>Geóloga – AngloGold Ashatnti – Nova Lima, MG, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira – Itabira, MG, Brasil

## **Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES**

Os sistemas aquíferos são importantes fontes de água doce, além de possuírem grande valor estratégico, seja em razão do seu grande potencial hídrico, bem como pela qualidade de suas águas. Atualmente, com o intenso e, muitas vezes, inadequado uso, esses sistemas vêm se tornando susceptíveis às interferências antrópicas e, por isso, o estudo da vulnerabilidade torna-se cada vez mais necessário, permitindo uma análise dos riscos de poluição e dos fatores que possam alterar a qualidade da água, indicando assim onde interferir para a sua proteção.

Dentre as importâncias de se avaliar o grau de vulnerabilidade de um aquífero, destaca-se aquela relacionada em oferecer estratégias eficientes nas resoluções de planejamento e ordenamento territorial, visando à proteção do recurso hídrico subterrâneo (Chaves *et al.*, 2007), uma vez que, a contaminação deste torna-se um problema ainda maior, em relação às águas superficiais, em questões de dificuldade de tratamentos e elevados custos.

São muitos os métodos que podem ser utilizados, para a avaliação da vulnerabilidade de um aquífero cárstico.

Neste trabalho, em específico, realizado na “Gruta do Limoeiro”, optou-se em empregar o método simplificado, proposto por Foster e Hirata, denominado “GOD” (Foster & Hirata, 1993). Os dados obtidos em campo foram utilizados na confecção de um mapa de pontos, com auxílio de *softwares* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), localizando e discriminando áreas de anomalias de vulnerabilidade da região.

Vale salientar que, os sistemas cársticos, foco do presente trabalho, devido à sua natureza específica, são facilmente afetados pela ação antrópica, em virtude de ocupação urbana, atividades agrícolas e turísticas, exploração da água, entre outras. Tais atividades, quando desenvolvidas de maneira não planejada e sem critérios técnicos adequados, geram processos que induzem os acidentes geológicos, além de destruírem áreas espeleológicas e impactarem os aquíferos, visto que o carste é uma importante fonte de água.

Em consequência deste fato, torna-se necessário, principalmente aos órgãos gestores, uma base de conhecimento sobre os recursos hídricos locais, de modo a identificá-los, quantificá-los e qualificá-los para uma melhor gestão, visando à proteção ambiental, além de oferecer ao meio científico, um melhor entendimento do ambiente cárstico.

### **OBJETIVO**

O presente trabalho objetivou o estudo e a avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero cárstico, onde se localiza a “Gruta do Limoeiro”, importante sítio geológico e arqueológico do estado do Espírito Santo. Como objetivos específicos, citam-se: a compreensão da vulnerabilidade natural dos terrenos cársticos em decorrência do uso dos recursos hídricos locais; e a aplicação do método GOD nos terrenos cársticos da Gruta do Limoeiro.

### **LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

O município de Castelo está localizado no sul do estado do Espírito Santo e apresenta uma área total de 670 quilômetros quadrados, o equivalente a 1,45 % do território estadual, em área geográfica. Encontra-se entre latitude 20°36'13" sul e longitude 41°11'05" oeste, com altitude de 100 metros (Celin & Machado, 2011).

A sede municipal situa-se a 144 quilômetros da capital do Estado, Vitória, e ligam-se através das rodovias estaduais ES-166; ES 482; ES 289 e pela BR 101 com afluência pela BR 262 através da região serrana. Seus limites geográficos ao norte, ao sul, a leste e a oeste são, respectivamente, os municípios de Muniz Freire, Venda Nova do Imigrante, Conceição do Castelo e Domingos Martins; Alegre e Cachoeiro de Itapemirim; Vargem Alta; e Muniz Freire.

A Gruta do Limoeiro encontra-se no distrito homônimo, na propriedade da família Camporez, a nordeste do município de Castelo (**Figura 5**), a 15 quilômetros do centro da cidade, pela rodovia ES – 166 (Rodovia Pedro Cola), sendo essa a única via de acesso ao parque. Tal gruta, considerada o sítio arqueológico mais importante do estado, foi tombada em 1984, como Patrimônio Histórico do Espírito Santo pelo Conselho Estadual de Cultura (CEC), através da Resolução 01/84. Em sua entrada, tem-se um paredão superior a 30 metros de altura com uma garganta de 40 metros de largura e 6 metros de altura. No seu interior, aparecem vários salões, alguns ainda não explorados, e formações rochosas, ambos retrabalhados pela água (Prefeitura Municipal de Castelo).



**Figura 5.** Mapa de localização da área de estudo, destacada em vermelho, no âmbito regional (IJSN).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Caracterização da área de estudo

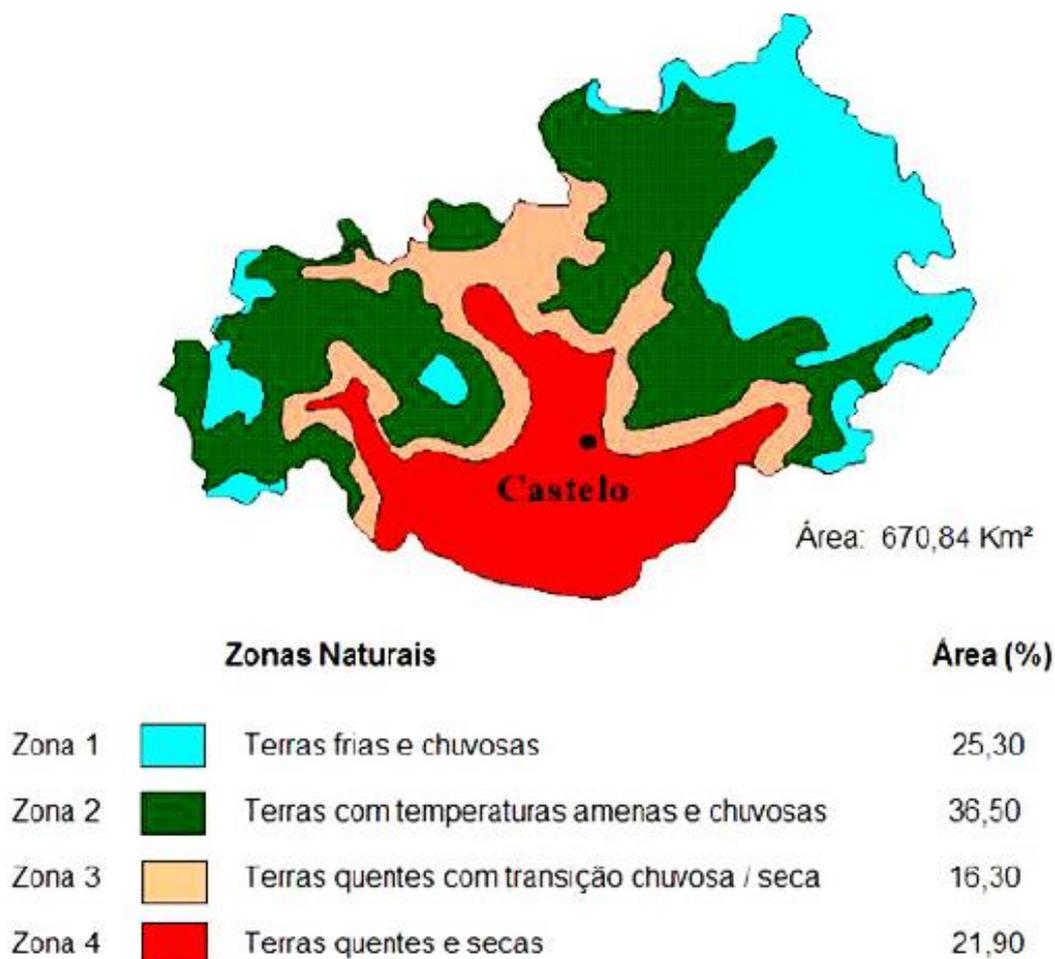
#### *Aspectos edafoclimáticos*

O município de Castelo, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Köppen & Geiger, 1936 *apud* Peel *et al.*, 2007), apresenta o clima predominante é o tropical úmido (ou tropical Atlântico) – Aw – o qual se caracteriza pela presença de três meses secos, com variações locais para parcialmente úmido, de quatro a cinco meses.

O índice pluviométrico anual varia entre 1.000 mm e 1.200 mm, sendo sua maior concentração nos meses de novembro a abril e menor concentração entre os meses de maio a outubro. Enquanto a temperatura média anual está em torno de 34° C, podendo atingir 7° C no inverno (Prefeitura Municipal de Castelo).

Segundo dados concebidos pela EMCAPA/NEPUT (1999) *apud* Celin & Machado (2011) - Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária e Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra – o município de Castelo apresenta-se dividido em quatro zonas naturais específicas (**Figura 6**), sendo:

- 61,80% apresentam-se como Terras frias e de temperaturas amenas e chuvosas.
- 16,30% apresentam-se como Terras quentes e de transição chuvosa / seca.
- 21,90% apresentam-se como Terras quentes e secas.



**Figura 6.** Zonas naturais de Castelo (Celin & Machado, 2011).

Com base nestas zonas naturais (**Quadro 1**), é possível analisar e tomar determinadas decisões relacionadas ao uso do solo para implantação de atividades agrícola, pecuária e reflorestamento de maneira sustentável para desenvolver atividades produtivas, além de oferecer critérios para o surgimento de atividades complementares geradoras de serviços, renda e cidadania.

**Quadro 1.** Características das zonas naturais de Castelo (Celin & Machado, 2011).

Zonas Naturais	Temperatura			Água											
	Média Min. Mês mais frio (°C)	Média Máx. Mês mais quente (°C)	Nº meses secos <sup>1</sup>	Meses secos, chuvosos / secos e secos <sup>2</sup>											
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Terras frias e chuvosas 	7,3 - 9,4	25,3 - 27,8	3,0	U	U	U	U	P	P	P	S	P	U	U	U
Terras com temperaturas amenas e chuvosas 	9,4 - 11,8	27,8 - 30,7	3,0	U	U	U	U	P	P	P	S	P	U	U	U
Terras quentes com transição chuvosa / seca 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	4,5	U	U	U	U	P	S	S	S	S	U	U	U
Terras quentes e secas 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	6,0	U	P	P	P	P	P	S	S	S	P	U	U

<sup>1</sup> Cada 2 meses parcialmente secos são contados como um mês seco;

<sup>2</sup> U – Chuvoso; S – Seco; P – Parcialmente Seco.

### Aspectos ambientais

O município de Castelo apresenta um relevo bastante acidentado, pelas derivações da Serra da Mantiqueira, e altitudes que variam de 2 a 92 metros. Atualmente, apenas uma cobertura florestal secundária predomina na região, representada por formações densas de gramíneas (pastagens) e cultivos diversos nas encostas, principalmente o café. Ou seja, da cobertura original restaram-se somente 11.256 hectares, que equivale a 17,0% da área total do município (Celin & Machado, 2011).

A região é constituída por remanescentes de Mata Atlântica, que apresenta Floresta Estacional Semidecidual, comumente com formações vegetais de áreas úmidas e submetidas a regimes homogêneos de chuvas, dentre as quais se destacam angicos, canjeranas, cedros, embaúbas e jacarés (Celin & Machado, 2011). Esta diversidade de ambientes corrobora com a existência de uma série de espécies animais, que apesar da ocupação antrópica, ainda podem-se observar alguns tipos de símios e pássaros como bem-te-vi, canário da terra, coleiro, coruja, jacu, siriema, etc.

A área apresenta grande variedade de tipos de solos, destacando-se, nas regiões de relevo montanhoso – os latossolos vermelho-amarelo e os cambissolo. Podem aparecer também solos podzólicos vermelho-amarelo e os solos orgânicos (Celin & Machado, 2011).

### Aspectos geomorfológicos

A região mostra feições de relevo resultantes dos importantes eventos tectono-estruturais, tipos litológicos e fatores paleoclimáticos. Está inserida no contexto geomorfológico denominado Mantiqueira Setentrional, representado pela Faixa de Dobramentos remobilizados. Tal unidade geomorfológica é caracterizada como Patamares Escalonados do Sul Capixaba devido ao conjunto de relevos que funcionam como degraus de acesso aos seus diferentes níveis topográficos (Radam, 1983).

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES

A área em questão apresenta relevo ondulado e rebaixado, típico de dissecação tropical em meia-laranja de vertentes convexas e manto de alteração profundo, além de escarpas e vários corpos arredondados, que se destacam topograficamente. Por vezes, aparecem diversas saliências topográficas com ocorrência de vales estreitos, fortemente encaixados, e vertentes abruptas, onde ocorrem depósitos gravitacionais de encosta (Vieira, 1997).

Quanto à geomorfologia cárstica, pode-se citar algumas feições típicas e diversificadas como os maciços rochosos aflorantes ou parcialmente encobertos; dolina limitada por paredões calcários lineares; lagos associados à dolina; e uma complexa trama e condutos subterrâneos, comumente conectados com o relevo superficial e, assim, acessíveis ao homem. Todo esse conjunto de grandes feições dissolutivas expostas marca uma paisagem que tem um mérito cênico, e, portanto turístico.

### Aspectos hidrográficos

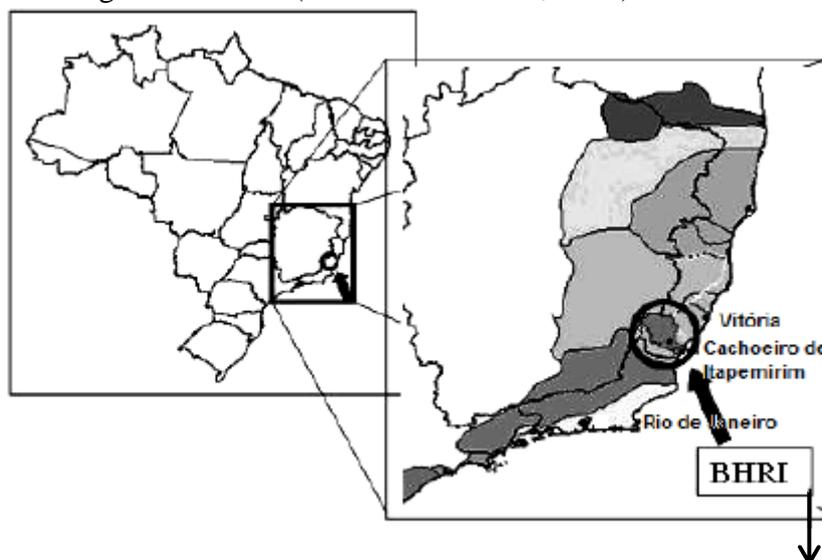
O município de Castelo apresenta uma rede de drenagem densa e que sofre interferência quanto à topografia e a geologia do terreno. Encontra-se no contexto da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Castelo (SBHRC), localizada no sul do Espírito Santo, entre os meridianos 41°23' e 41°01' de longitude oeste e entre os paralelos 20°13' e 20°44' sul. A SBHRC complementa a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) (**Figura 7**), que por sua vez pertence à Região Hidrográfica Costeira do Sudeste (RHCS), sendo essa última constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico – trecho Sudeste (Castro Junior *et al*, 2007).

A Sub-bacia do Rio Castelo abrange os municípios de Castelo, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, Vargem Alta, porção oriental do município de Muniz Freire e parte setentrional do município de Cachoeiro de Itapemirim e apresenta uma área de drenagem com cerca de 1.500 km<sup>2</sup> de superfície.

O Rio Castelo (**Figura 8**) é o principal curso d'água da SBHRC, e corresponde ao principal afluente do Rio Itapemirim. Enquanto que o principal afluente do Rio Castelo é o Rio Caxixe, sendo que o Ribeirão São João e o Ribeirão Mão Forte Frio Forte também têm forte contribuição (Castro Junior *et al*, 2007).

Os limites da Bacia consistem: a Norte, as bacias do Rio São Domingos Grande, Rio do Peixe e Rio da Cobra; a Leste, as bacias do Rio São João de Viçosa e Rio Jucu Braço Norte; a Oeste, a bacia do Rio Braço Norte Esquerdo; e ao Sul, as bacias do Rio Itapemirim, Rio Fruteira e Rio da Prata (Castro Junior *et al*, 2007).

A SBHRC é responsável por aproximadamente 35 % dos investimentos em agroturismo do Espírito Santo, detendo 40 % da produção cafeeira e conservando seus limites cerca de 45% de toda a cobertura vegetal da BHRI (Castro Junior *et al*, 2007).



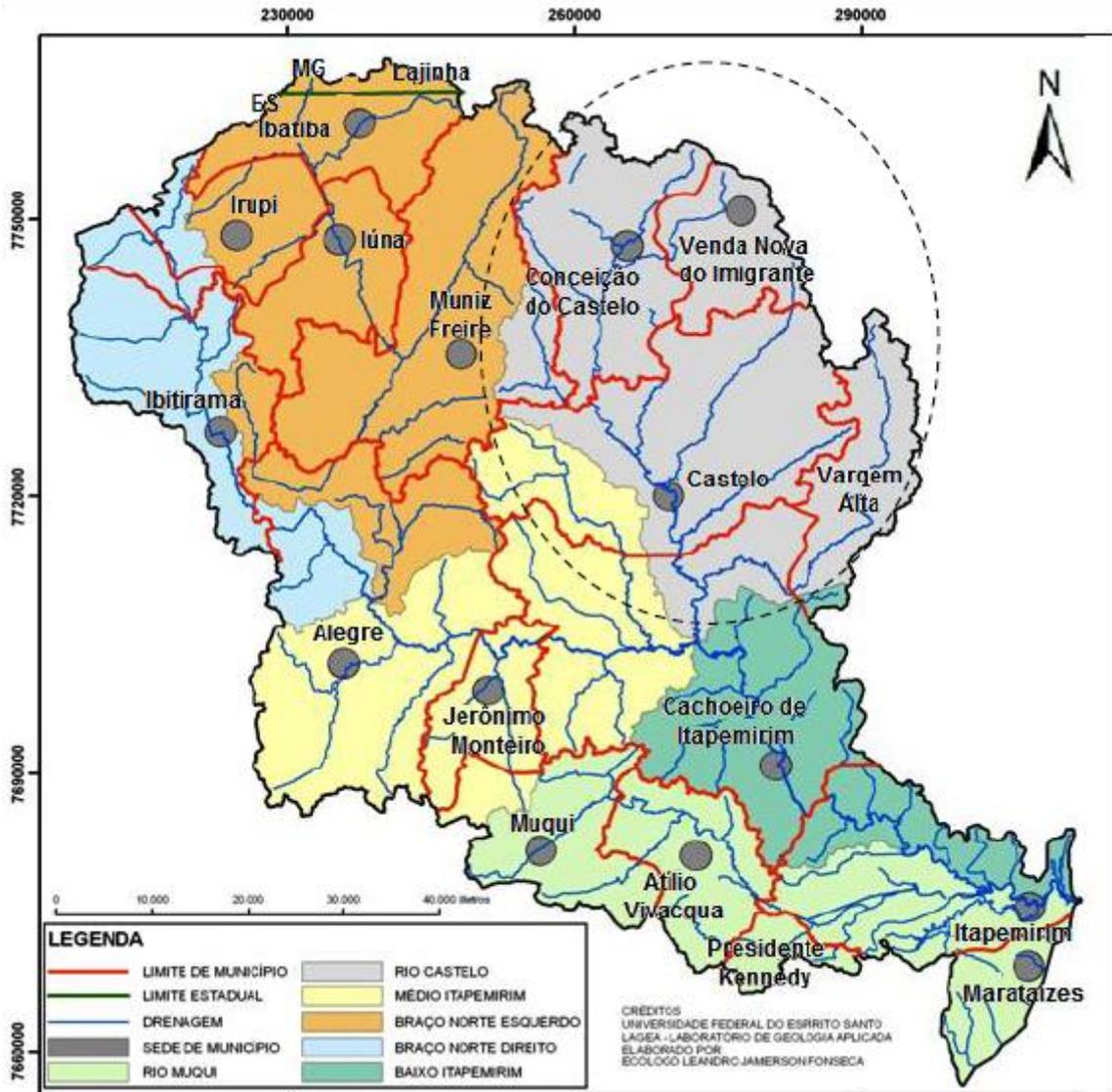


Figura 7. Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (Fonseca , 2009).

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES

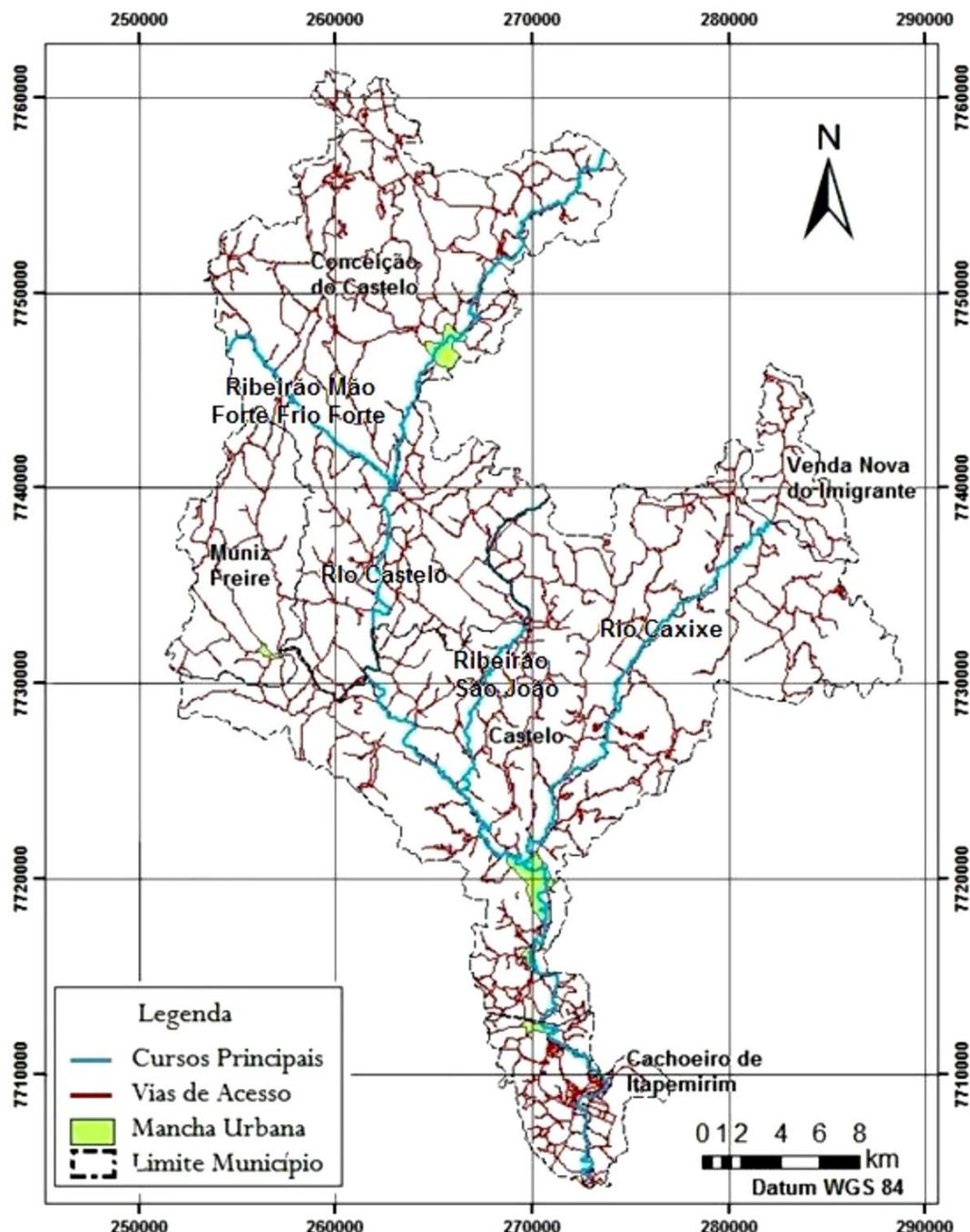


Figura 8. Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Castelo (Lopes & Lana, 2010).

### Geologia regional

A região compreende rochas pertencentes aos domínios metavulcano-sedimentar do Complexo Paraíba do Sul, intrusivas ácidas gnaissificadas e alguns depósitos quaternários (Vieira, 1997).

No âmbito tectônico, insere-se na denominada Faixa Ribeira ou Cinturão Móvel Costeiro (Almeida, 1981), mais precisamente na fronteira entre os orógenos Araçuai (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000) e Ribeira (Machado *et al.* 1996; Ebert & Hasui, 1998), conforme podemos observar na **Figura 9**.



Figura 9. Localização das faixas móveis e da área de estudo (Tupinambá *et al.*, 2007).

As rochas da área datam desde o Proterozóico Médio até o Cambriano (Figura 10), além dos sedimentos quaternários (Vieira, 1997).

A área compreende rochas do Complexo Paraíba do Sul, rochas intrusivas gnaissificadas e de composições ácida, intermediária e básica, além de depósitos aluvionares e coluvionares.

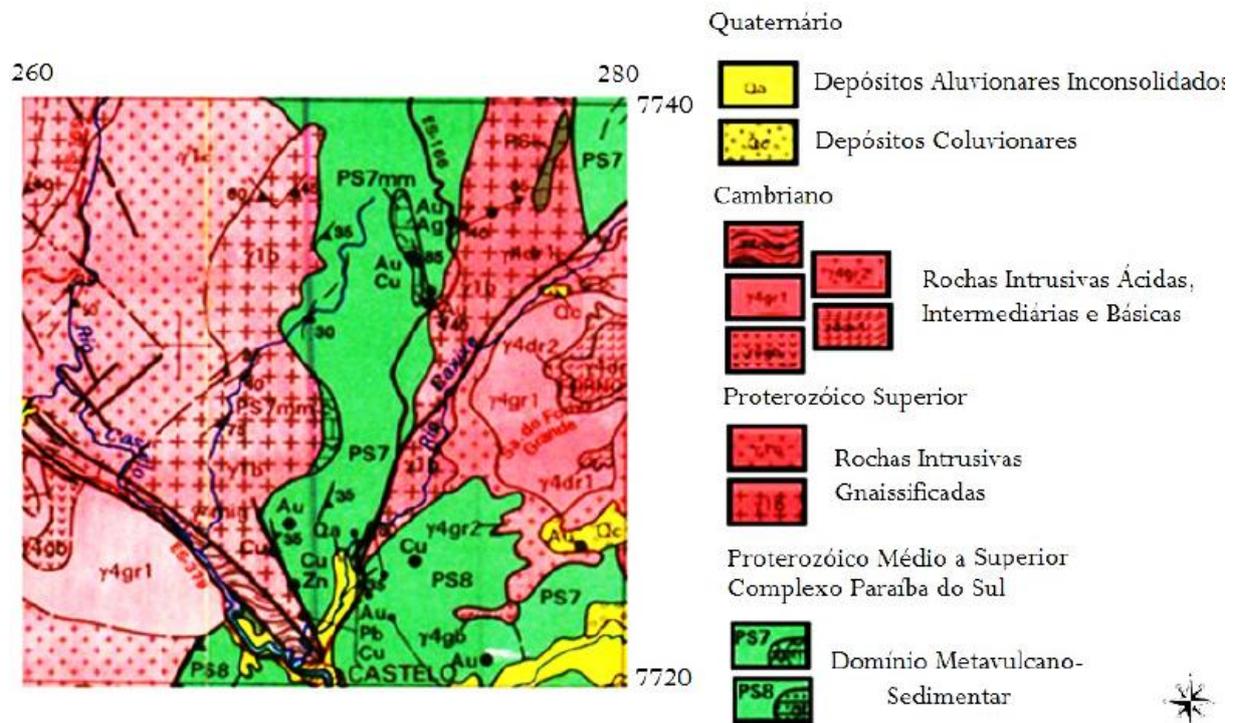


Figura 10. Mapa geológico da área (modificado de Vieira, 1997).

## **Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES**

### ***Complexo Paraíba do Sul***

As unidades do Complexo Paraíba do Sul, do Proterozóico Médio a Superior, foram agrupadas em dois domínios - Domínio Metassedimentar e Domínio Metavulcanosedimentar (Vieira, 1997). O primeiro é constituído por gnaisses aluminosos a cordierita, granada e sillimanita que apresentam níveis de quartzitos, anfibolito e calcissilicáticas.

Na área em apreço, aparecem apenas as unidades correspondentes ao Domínio Metavulcano-sedimentar. Esse domínio é caracterizado pela presença frequente de biotita-anfibólio gnaiss, bandado, de coloração cinza, granulação fina a grossa, contendo níveis de anfibolito, quartzito, rochas calcissilicáticas e mármore. Na região do distrito de Itaóca, município de Cachoeiro de Itapemirim, esse último apresenta-se como uma lente quilométrica caracterizada por uma grande variação composicional. Ora o mármore é puramente calcítico/dolomítico, ora possui muitos níveis calcissilicáticos e intrusões de rochas máficas e granitos (Jordt-Evangelista & Viana, 2000). Os diques graníticos são mais novos que os máficos, apresentando-se metamorfizados, e formando zonas de escarnito centimétricas nos mármore.

### ***Rochas Intrusivas Gnaissificadas***

Correspondem aos ortognaisses, do Proterozóico Superior, com dimensões até batolíticas, retrabalhadas no ciclo brasileiro. Apresentam composições granodioríticas, graníticas e tonalíticas, de granulação variando de média a grossa. Estão também compreendidos corpos de idade Cambriana, pós-tectônicos, de formato circular a elíptico, com composição variando de ácida, como granitos porfiríticos e titanita-granitos; intermediária, como dioritos de granulação fina a grossa; e básica, como gabros e migmatitos (Vieira, 1997). Na área, a ocorrência destes se restringe ao Parque do Forno Grande, no município de Castelo – ES.

### ***Depósitos Quaternários***

Abrangem os depósitos aluvionares inconsolidados, constituídos de material de granulometria variada, desde cascalho até areia muito fina a argila, bem como os depósitos coluvionares de granulação variando desde fina até matacões, formados por material inconsolidado que sofreu pouco transporte, depositados ao longo da meia encosta e sopés das serras (Vieira, 1997).

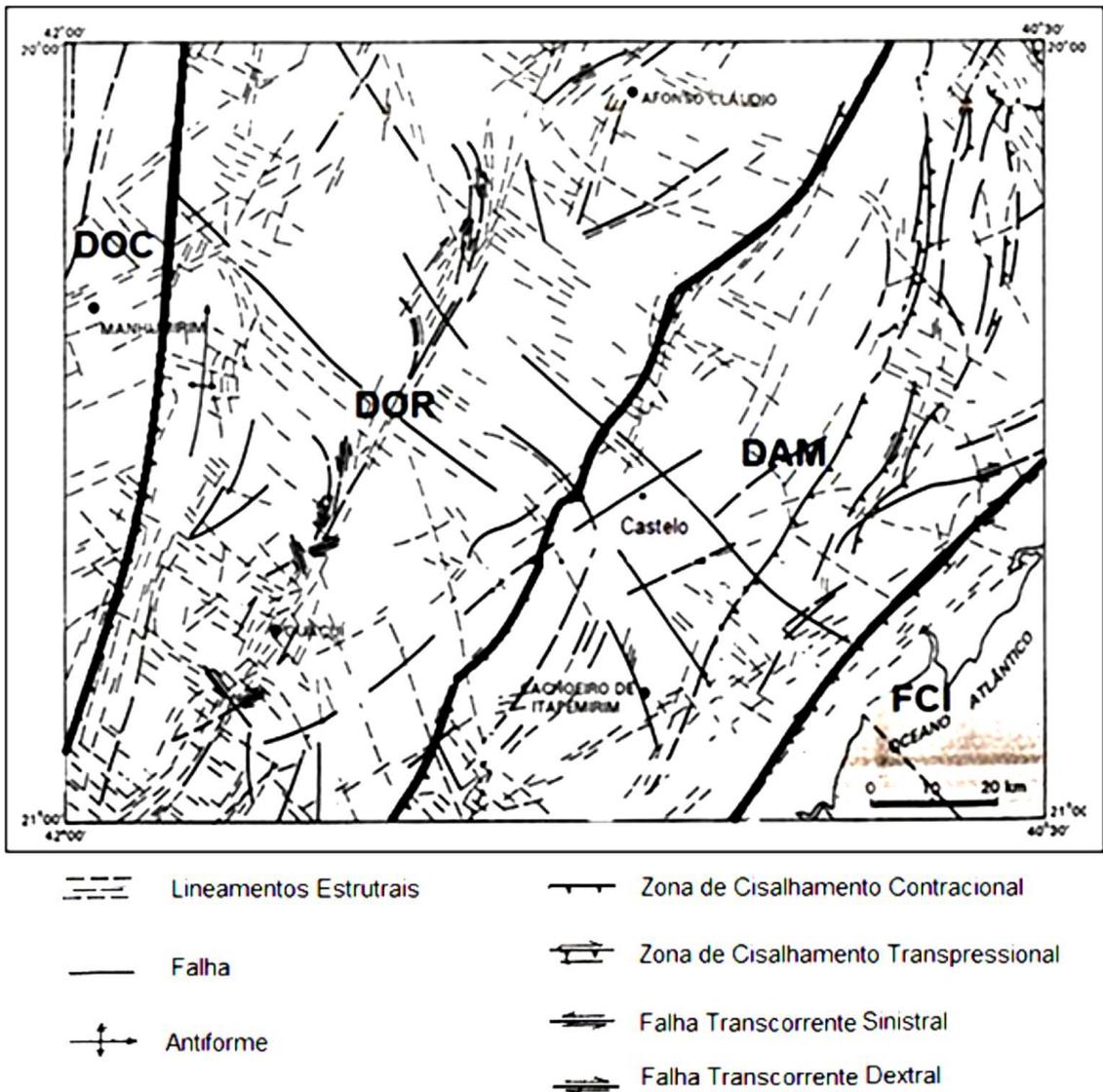
### ***Geologia estrutural***

A região em estudo situa-se no contexto da Província Estrutural Mantiqueira, antes denominada de “Cinturão Móvel Costeiro”, considerada, por Almeida (1981), uma faixa de evolução policíclica, dentro da qual se inclui um domínio brasileiro, denominado Cinturão Móvel Ribeira (CMR).

De acordo com Vieira *et al.*, (1993), a área divide-se em quatro domínios tectono-estruturais (**Figura 11**), os quais estão delimitados por zonas de cisalhamento dúctil transcorrentes, de direção NNE/SSW. São eles: Domínio Central (ou Domínio do Arco Magmático – DAM), Domínio Oriental (DOR), Domínio Ocidental (DOC) e Domínio Litorâneo, considerado um Fragmento de Crosta Inferior (FCI).

A área de estudo, inserida no DAM, está entre duas zonas de cisalhamento contracional de direção NE/SW, uma na porção leste, separando o DAM do DOR e outra na porção oeste, separando o DAM do DOC. Ambas representam uma fase de deformação, acompanhada de

metamorfismo regional e migmatização, posterior à que gerou o bandamento metamórfico regional de baixo ângulo. Ainda é possível observar algumas falhas de direção NW/SE (Vieira, 1997).



**Figura 11.** Domínios tectono-estruturais do Cinturão Móvel Ribeira (modificado de Vieira, 1997).

### Os recursos hídricos

O rápido crescimento populacional ocasiona uma maior demanda, destacando água, alimentos, tecnologias e energia, o que justifica o aumento exorbitante de resíduos, desperdícios, poluição e consequentes problemas ambientais.

Hoje, a preocupação em relação aos riscos ambientais é o motivo de vários congressos e reuniões para a tentativa de organização sócio-política, em nível mundial, em função dos direitos de um meio ambiente equilibrado e uma melhora na qualidade de vida.

Desde a década de 80, a preocupação, antes relacionada com a quantidade, tomou novos rumos: a qualidade dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, que vem sendo reduzida devido às atividades antrópicas (Manuel Filho, 2000).

## **Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES**

Tentando conseguir soluções para tal problema, vários trabalhos foram desenvolvidos buscando maneiras de avaliar a vulnerabilidade dos mananciais subterrâneos. No Brasil, o número de trabalhos de mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos aumentou por volta da década de 90, quando apareceu a verdadeira necessidade e preocupação de ordenar e equilibrar o meio ambiente (Andersen & Gosk, 1989 apud Meaulo, 2006). Alguns trabalhos utilizados para o desenvolvimento deste estão descritos a seguir.

No estado de São Paulo, foi elaborado um mapa de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas, envolvendo o Instituto Geológico (IG/SMA), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB/SMA) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE/SRHSO), todos estimulados pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS/OMS), por meio do *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente* (CEPIS) no Peru.

O trabalho consistiu no registro de fontes poluidoras, como indústrias, aterros sanitários, lixões, mineração e saneamento doméstico e na definição das áreas de risco potencial de contaminação. Os índices de vulnerabilidade apresentaram-se elevados em grande parte dos aquíferos, mostrando que um mapa de vulnerabilidade é uma ferramenta eficaz no subsídio para estabelecer uma base técnica para o planejamento de ações e medidas de controle e preservação das águas subterrâneas (IG/CETESB/DAEE, 1993).

A análise da vulnerabilidade à poluição do aquífero localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Sordo, em Portugal, também possibilitou a identificação de índices elevados, os quais foram relacionados às zonas que estavam recobertas por aluviões, materiais mais permeáveis os quais facilitam o processo de infiltração (Pacheco & Carvalho, 2004),

Na cidade de Coronel Fabriciano, MG, a avaliação da vulnerabilidade do aquífero aluvionar do Bairro Amaro Lanari tornou-se uma ferramenta importante a respeito do uso dos recursos hídricos, bem como a ocupação dos solos. Foram utilizados 22 poços para estudo e a partir do método GOD, obteve-se valores que definiram tal aquífero como moderadamente vulnerável. A partir desse resultado, a avaliação passou a ser tomada como preventiva, focando mais na proteção que na sua recuperação, já que este aquífero abastece a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), na região do Vale do Aço (Alvarenga & Gonçalves, 2007).

### ***As águas subterrâneas***

Por ser um dos mais abundantes recursos naturais, a água, na concepção popular, tinha sentido inesgotável e com isso seu uso não tinha limites. Entretanto, dos 2,5% de água doce do planeta, apenas 1% é ideal para o consumo humano. Infelizmente, devido sua exploração não sustentável, a água, principalmente a superficial, apresenta índices exorbitantes de degradação (Hirata, 2000).

Desde que águas subterrâneas foram consideradas um reservatório estratégico e vital, por sua maior quantidade e melhor qualidade, faz-se necessária uma atenção especial relacionada à sua preservação. Estima-se que no Brasil, aproximadamente 51% do abastecimento público e privado é feito através de captações de águas subterrâneas, nos mais de 400.000 poços tubulares e quase um milhão de poços-cacimba escavados (Zoby & Matos, 2002).

Salienta-se que as águas subterrâneas apresentam uma série de vantagens em relação às superficiais como; maior qualidade (física, química, biológica), maior número de reservas, equilíbrio da temperatura, menor influência de alterações climáticas, maior preservação natural, resultante do total ou parcial confinamento (Foster & Hirata, 1993). Segundo Mota (1997),

*“As águas superficiais e subterrâneas, muitas vezes, se interligam. Em algumas situações, os mananciais de superfície proporcionam a recarga dos reservatórios subterrâneos, enquanto, em outras, as águas do subsolo descarregam em recursos hídricos superficiais. Assim, um manancial de superfície poluído, pode causar a poluição de um aquífero subterrâneo, e vice-versa”.*

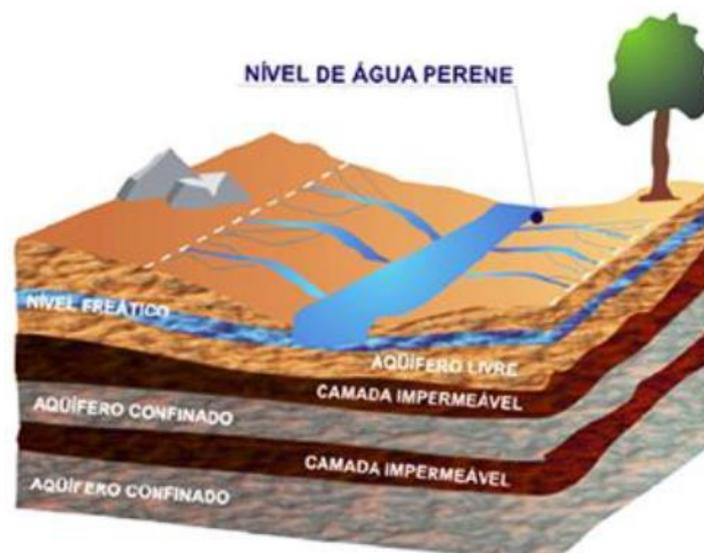
### **Os sistemas aquíferos**

Segundo a definição da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental **ABGE** (1981), um sistema aquífero consiste em um local onde as águas subterrâneas estão em movimento, sem a influência de condições externas de seus limites. Para o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2001, Resolução n° 16):

*“Aquíferos são corpos hidrogeológicos com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.”*

Utiliza-se o termo aquíclude para definir unidades geológicas que, apesar de saturadas e com grande quantidade de água, lentamente absorvida, são incapazes de transmitir um volume significativo de água. Um aquícludo é uma camada ou um corpo de rocha semi-permeável, limitada por camadas de permeabilidade muito maior no topo e/ou na base, podendo assim transmitir a água lentamente. Já os denominados aquífugos são unidades geológicas que não absorvem e nem transmitem a água (Caicedo, 2002; Fetter, 2001; Manuel Filho, 2000).

De acordo com Cleary (1989), os aquíferos podem ser divididos em dois grupos, confinados ou não confinados (livres), dependendo da presença ou não de camadas de baixa permeabilidade ou então impermeáveis (**Figura 12**).



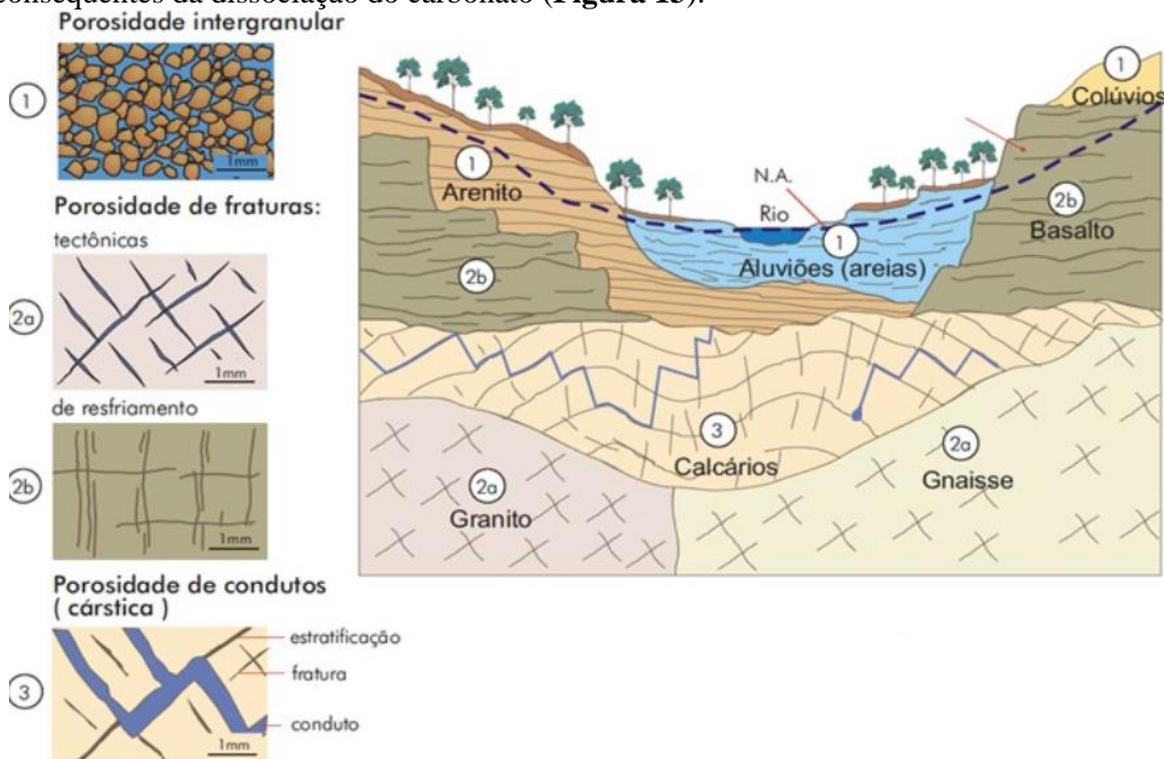
**Figura 12.** Tipos de aquíferos (BORGUETI *et al.*, 2006).

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES

Nos aquíferos fissurais (ou fraturados), representados por um meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo, o movimento das águas se dá pelas discontinuidades rúpteis da rocha (falhas, fraturas), enquanto nos aquíferos porosos, a água flui pelos poros das rochas. Nesses tipos de aquíferos, a porosidade pode ser classificada como secundária e primária, respectivamente.

Os aquíferos cársticos apresentam características comuns aos dois tipos já citados, acrescidas de particularidades próprias resultantes da dissolução química, tornando-o um meio muito heterogêneo, isotrópico e descontínuo (Borghetti *et al.*, 2006).

Constituem aquíferos de porosidade cárstica (ou de condutos), que apresentam, na maioria das vezes, grandes volumes de água, a qual circula pelas fraturas e outras discontinuidades consequentes da dissociação do carbonato (**Figura 13**).



**Figura 13.** Tipos fundamentais de porosidade em diferentes materiais (Karmann, 2000).

### Os aquíferos cársticos

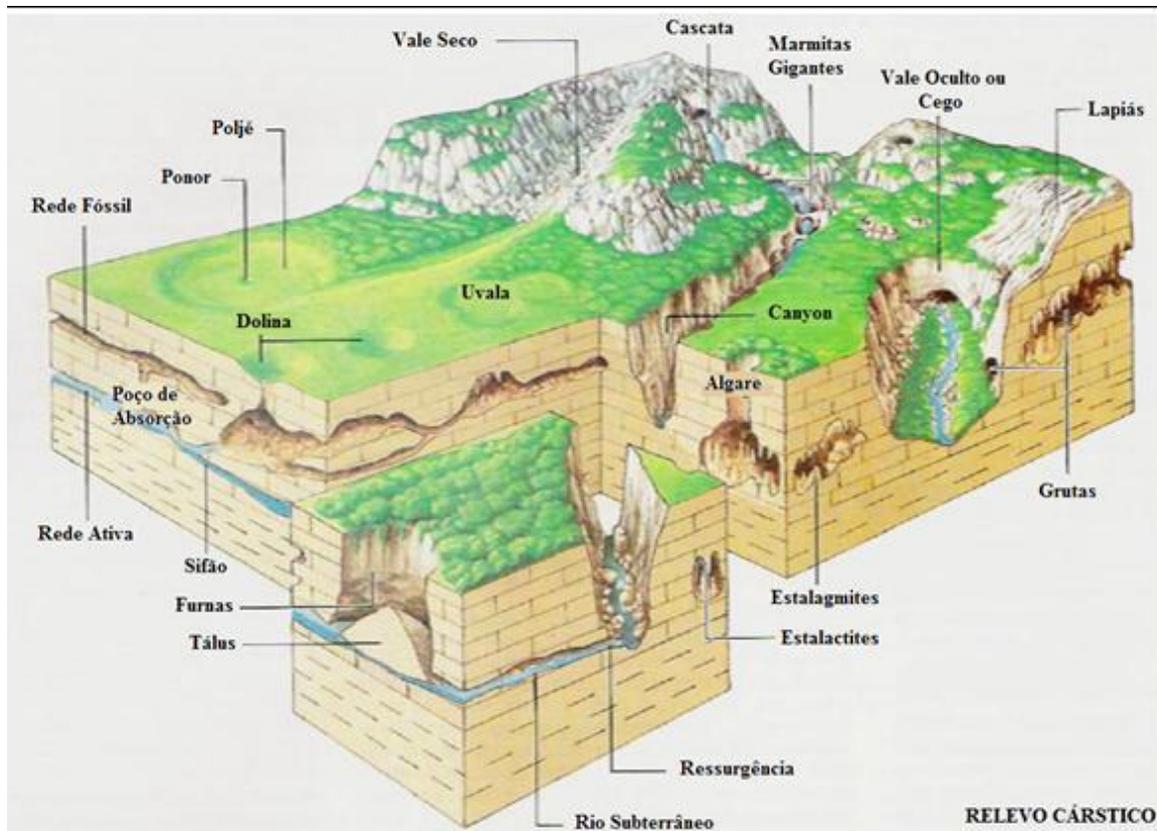
As pesquisas em ambientes cársticos, tanto no Brasil como em outros países, aumentaram em consequência da busca de entendimento dos mecanismos da gênese e do desenvolvimento desses aquíferos, da grande ocupação nesse tipo de sistema, além da necessidade de melhorar as maneiras de exploração destes recursos hídricos (Pessoa, 2005). Porém, esses sistemas ainda são desprovidos de muito estudo (White, 2002 apud Pessoa, 2005).

O ambiente cárstico é definido, segundo Albrecht & Zuquette (1996) como:

*“[...] um terreno que apresenta unidades geomorfológicas e hidrogeológicas, típicas da dissolução química, que podem desenvolver-se tanto em superfícies como em condições subsuperficiais e, sempre, relacionadas às áreas de ocorrência de rochas carbonáticas.”*

Os aquíferos cársticos são formações geológicas que podem se desenvolver em rochas permeáveis, representadas pelos calcários, dolomitos, gessos e mármore. Compreendem um

relevo caracterizado pelo intemperismo químico, resultante da dissolução da encaixante por ácido carbônico, determinando formas físicas superficiais e subterrâneas. Como resultado da dissolução do calcário por ácido carbônico, esses sistemas podem desenvolver estruturas espeleogenéticas, como as estalactites e estalagmites e relevos exuberantes, como cavernas, dolinas, vales, entre outros (Figura 14).



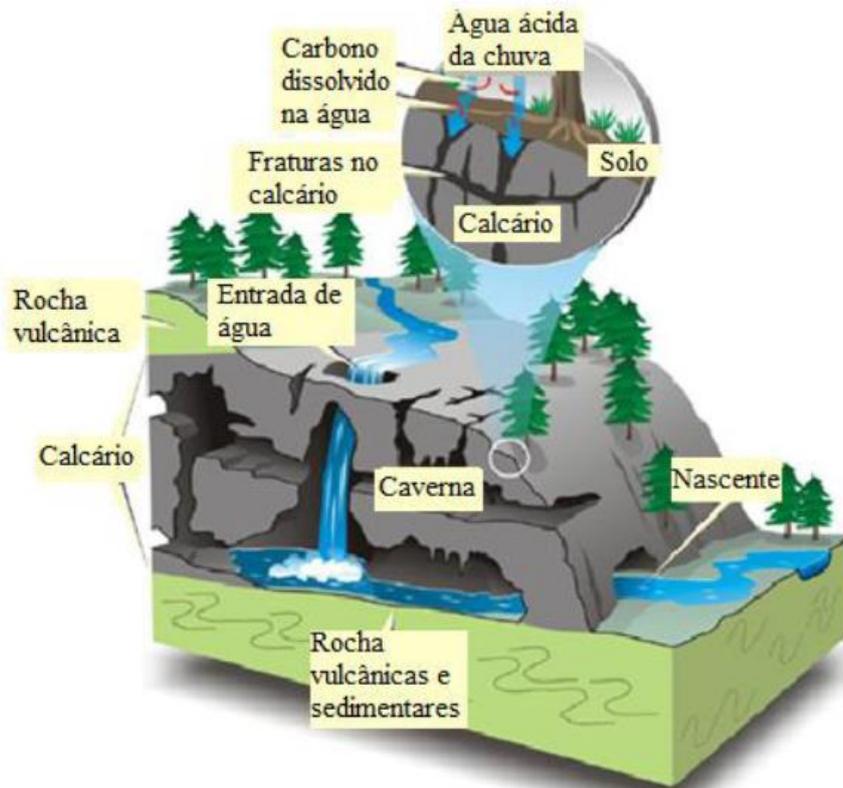
**Figura 14.** Elementos tradicionais de um ambiente cárstico (Almirante Tamandaré, 2006 *apud* Gasparin, 2009).

Os sistemas aquíferos cársticos são considerados de alta vulnerabilidade natural, devido sua estrutura original. Para Frantz (2005), essa alta vulnerabilidade natural está relacionada com sua escassa interação contaminante-rocha e à alta velocidade do fluxo da água subterrânea, que ocorre por grandes espaços, carregando, por vezes, poluentes que estejam em solução, fazendo com que a “filtração” natural se torne inexistente (Smith, 1993 *apud* Hardt, 2008).

Nas palavras de AULER *et al.*, (2005):

*“Drenagens superficiais em regiões cársticas tendem a serem absorvidas através de sumidouros, feições associadas a pontos de absorção de água, como bocas de cavernas ou zonas de infiltração difusa (Figura 15). O sumidouro marca o ponto final da drenagem superficial, pois ela se torna, a partir daí, subterrânea. As nascentes (ou surgências) representam os pontos onde a drenagem subterrânea torna-se superficial.”*

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES



**Figura 15.** Representação da hidrologia em terreno cárstico (Geoscape Nanaimo, 2007).

Os níveis de água nas zonas de recarga dos aquíferos oscilam entre as estações de estiagem e as úmidas, podendo às vezes secar nas porções mais elevadas enquanto que as zonas de descargas não apresentam tantas variações, com isso, a vazão nesses locais é constante durante o todo ciclo hidrológico.

No caso dos aquíferos cársticos, por possuírem uma capacidade de armazenamento que varia plurianualmente, esses apresentam variação regional e natural da superfície potenciométrica, durante o ciclo, que, dependendo do volume de infiltração anual das águas superficiais, pode ser ascendente ou descendente (Feitosa & Manuel Filho, 2000).

Estes ambientes possuem um padrão individual de drenagem vertical e subterrânea que acompanha as fraturas dos afloramentos, como as estruturas, tipo condutos e cavernas, resultando na escassez de águas superficiais (Foster *et al.*, 1988 *apud* Meaulo, 2006).

Os sistemas cársticos apresentam permeabilidade influenciada pelas formas de alargamento das juntas e planos de acamamento dos maciços rochosos, conforme a remoção do material carbonático através da dissolução pela ação da água (Smith, 1993 *apud* Hardt, 2008). Esse comportamento distinto em relação aos outros aquíferos, além do fluxo de conduto diferenciado, gera grande obstáculo para análise de seus impactos ambientais (Smith, 1993 *apud* Hardt, 2008).

Portanto, frente ao que foi explanado, pode-se dizer que os aquíferos cársticos, onde é encontrada grande parte da água doce do planeta, correspondem a importantes alternativas para obtenção desta. Por isso, sua preservação torna-se cada vez mais indispensável a toda sociedade.

### ***Vulnerabilidade natural***

Uma maneira clássica para conceituar o termo vulnerabilidade de um aquífero, usada por Le Grand (1964) e Albine & Margat (1970) e adaptada por outros vários autores, dentre os quais, Aller *et al.* (1985); Bachmat & Collin (1987), Foster & Hirata (1998), consiste em

características essenciais que analisam a susceptibilidade de um aquífero a ser contaminado por algum material de origem antrópica (Hirata & Ferreira, 2001).

Um mapa de vulnerabilidade é o primeiro passo para a avaliação da susceptibilidade à contaminação de aquíferos, afinal a condição para o desenvolvimento de táticas, objetivando a proteção das águas subterrâneas, é estabelecer áreas ou atividades com maior risco de contaminação dos aquíferos, para assim priorizar a aplicação dos recursos técnicos e financeiros em locais de maior interesse sócio-econômico e ambiental (Foster & Hirata, 1993). Entretanto, um único mapa não é suficiente para a representação de todos os dados geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos que afetam o comportamento dos contaminantes, afinal cada dado é influenciado por vários fatores, incluindo as características do aquífero, a espessura da zona não saturada, entre outros (Paralta *et al.*, 2005).

A partir de então, de acordo com Hirata & Ferreira (2001), é importante lembrar que a análise da vulnerabilidade de aquíferos, bem como a elaboração destes mapas necessita muita cautela, pois abrange elevada quantidade de variáveis e dados, criando restrições e possíveis erros de interpretação.

As principais limitações ao método de mapeamento da vulnerabilidade, de acordo com Andersen & Gosk (1989) *apud* Meaulo (2004) estão associadas às escalas dos mapas, aos poluentes e ao cenário no qual o poluente está inserido. Também podem ser citadas aquelas relacionadas com a hidrogeologia, como: presença de cursos d'água superficiais indefinidos (perenes ou intermitentes), incertezas na avaliação das suas condições hidrológicas, qualidade da água e capacidade de atenuação das camadas da zona não saturada, excessiva exploração do aquífero, com propósito de abastecimento e conseqüente variação na profundidade do nível da água e, que também pode variar o grau de confinamento do aquífero, fraturamento de sedimentos argilosos compactados que geralmente significam incertezas sobre a magnitude de qualquer componente de fluxo preferencial e aplicações em aquíferos fraturados (Foster *et al.*, 2002 *apud* Chaves *et al.*, 2007).

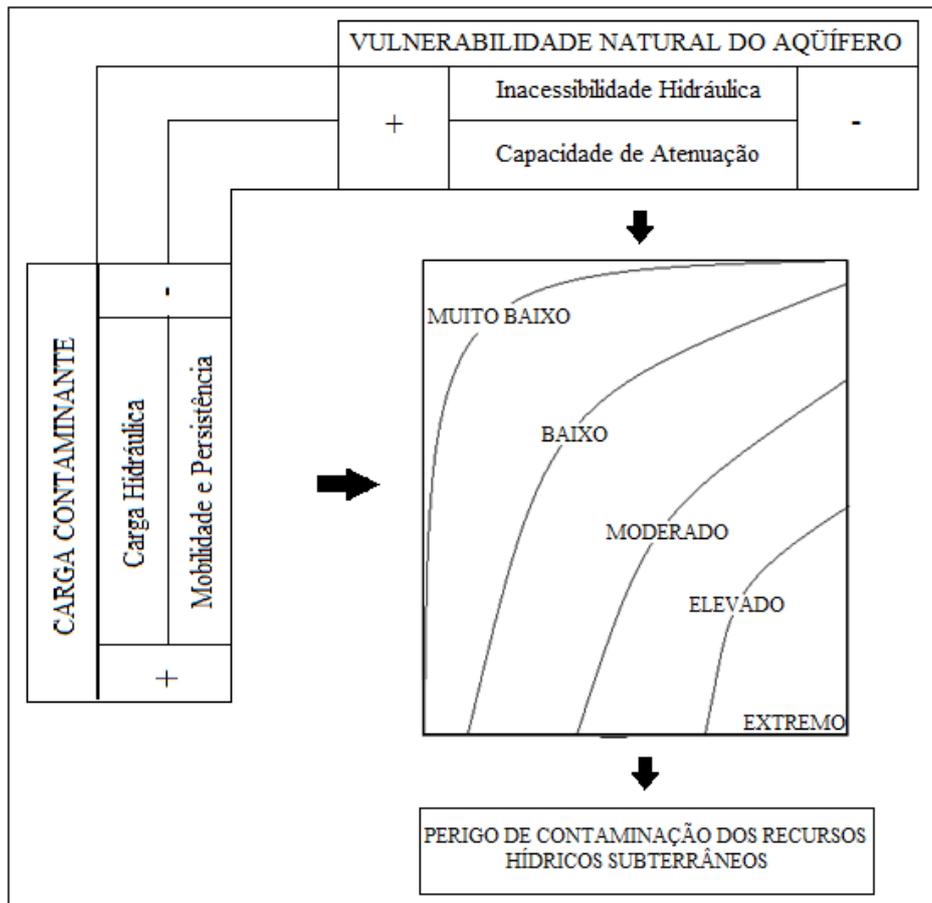
Apesar de tudo, o mapa de vulnerabilidade é uma ferramenta preliminar de precaução usada como instrumento que espacializa regiões mais sensíveis à poluição. Portanto, tais mapas apresentarão certeza a partir de que estas limitações relacionadas ao método utilizado sejam esclarecidas (Foster & Hirata, 1998).

### ***Riscos às águas subterrâneas***

Os aquíferos apresentam menor vulnerabilidade à poluição, quando comparados com aos mananciais de águas superficiais, em virtude da lenta circulação das águas subterrâneas e da capacidade de adsorção dos terrenos e de canalículos de pequenos tamanhos que fazem com que a contaminação de aquíferos pode demorar tempos para se revelar, podendo até mesmo, não ser visível a percepção comum. Assim, torna-se complexa a identificação do problema causador, tanto em termos técnicos quanto econômicos, bem como o convencimento à sociedade e/ou poder público.

O risco de poluição gera em uma ameaça à qualidade da água subterrânea depende de vários fatores, como mostra a Figura 16.

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES



**Figura 16.** Esquema para avaliação do risco de poluição de aquíferos e fontes de abastecimento de águas subterrâneas (Foster & Hirata, 1993).

É interessante lembrar que o conceito de “vulnerabilidade geral para um poluente universal em um cenário típico de poluição” não tem tanta representação científica. Todo aquífero é vulnerável a poluentes persistentes provenientes de uma atividade contaminante de longo prazo (Foster & Hirata, 1993).

### METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em três etapas:

1. Delimitação da Área e Coleta de Informações:
  - *Área de estudo:* Estabelecimento de base cartográfica regional e escala de trabalho a ser adotada e definição da área de estudo, utilizando tais bases cartográficas;
  - *Pesquisa bibliográfica:* Fase inicial na qual foi feito recolhimento e aquisição de materiais bibliográficos relacionados aos aspectos geológico/hidrogeológico específicos do tema estudado;
  - *Coleta de informações técnicas:* Nessa fase foram feitos contatos com a Prefeitura Municipal de Castelo e com os moradores do distrito de Limoeiro, visando à obtenção de informações referentes à área de interesse desse trabalho para a complementação de dados referentes à hidrogeologia da região.
2. Fase de Campo:

Nessa fase foram realizadas duas campanhas de campo.

- Na primeira foi feito um reconhecimento da área de estudo, utilizando mapas topográficos adequados, bem como a caracterização, descrição e registro fotográfico dos litotipos encontrados na mesma. Com o auxílio de um aparelho GPS (*Geographical Positioning System*) de navegação, foram posicionados os pontos litológicos.
- Na segunda campanha, foi realizado o cadastramento de poços e lagoas, levando em consideração a localização em coordenadas UTM, com o auxílio do GPS. As drenagens não foram incluídas no estudo. Nessa mesma fase, foi realizado um levantamento do nível estático, através de uma trena (5 metros) e a verificação da litologia da zona não saturada e dos tipos de aquíferos presentes em cada um dos pontos de água.

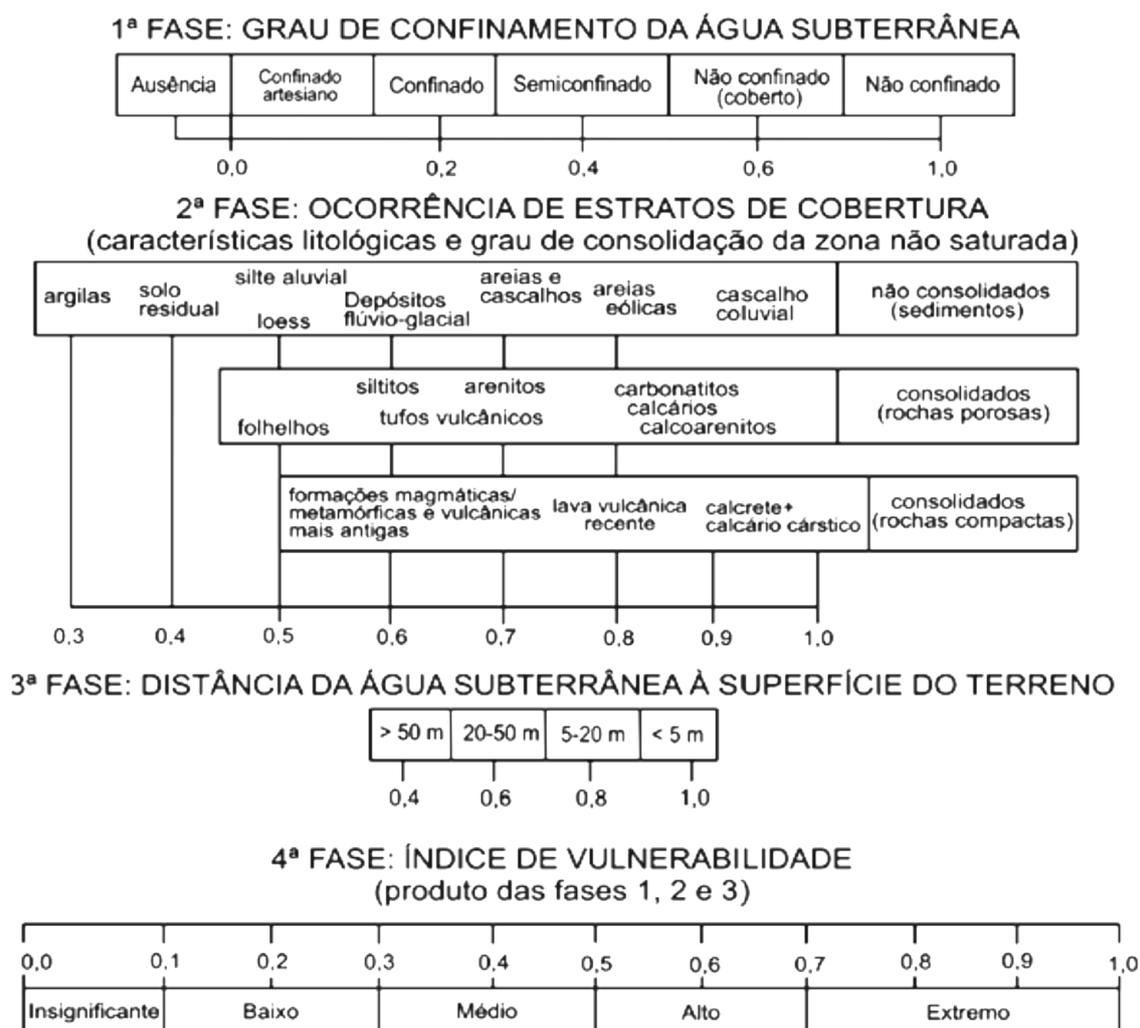
### 3. Tratamento de dados:

- *Determinação dos índices:* Nessa fase foi utilizada a metodologia GOD (Foster & Hirata, 1993) para a geração de valores dos índices dos parâmetros obtidos em campo. A síntese dessa metodologia está simplificada na Figura 17, adiante, a qual se baseia nos seguintes parâmetros:
  - G (*Groundwater occurrence*): tipo de aquífero (livre, semi confinado ou confinado), atribuindo-se valores entre 0 e 1,0;
  - O (*Overall aquifer class*): classe de aquífero em termos de grau de confinamento e litologias, com índices que podem variar de 0,4 a 1,0;
  - D (*Depth to groundwater*): profundidade do nível da água subterrânea, em uma escala de 0,4 a 1,0.

O valor do índice de vulnerabilidade natural resulta de um conjunto de operações sequenciais. Desde modo, primeiramente é atribuído ao parâmetro G um valor, que é multiplicado pelo valor atribuído ao parâmetro O e finalmente multiplica-se o resultado desta operação pelo valor atribuído ao parâmetro D. Esse índice de vulnerabilidade varia num intervalo de 0 a 1,0 e o resultado é expresso em termos qualitativos, em índice de vulnerabilidade extremo, alto, moderado, baixo e negligível (*Quadro 2*), segundo Paralta *et al.* (2005).

- *Trabalhos Cartográficos:* Fase constituída por um estudo cartográfico, utilizando os programas ArcGis para a elaboração de mapa geológico e Surfer8, para criar mapas de nível de água, fluxo hídrico subterrâneo e vulnerabilidade natural. Para a interpolação dos dados, utilizou-se o método de Krigagem, pois, segundo a bibliografia é o mais recomendado para esse tipo de trabalho.
  - Para a elaboração do mapa de nível de água, foram utilizadas as coordenadas geográficas e a profundidade do nível do freático em cada ponto, assim sendo possível gerar as isolinhas dos diferentes níveis de água, no software Surfer 8.
  - A construção do mapa de fluxo subterrâneo dependeu das coordenadas geográficas e o valor potencial hidráulico, que foi determinado pela diferença da altitude elipsoidal e do nível de água de cada ponto. Com tais dados foi gerado as isolinhas de potencial hidráulico, no Surfer 8.
  - O mapa de isolinhas relacionado a vulnerabilidade natural do aquífero foi elaborado a partir das coordenadas geográficas e dos índices de vulnerabilidade obtidos a partir d metodologia GOD, anteriormente explicada.
- *Conclusões e Elaboração do Texto Final:* Essa fase consistiu na apresentação de um texto técnico agrupando um conjunto de características obtido durante o trabalho.

**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES**



**Figura 17.** Sistema para avaliação de vulnerabilidade de aquíferos (modificado de Foster *et al.*, 2002).

**Quadro 2.** Classes de vulnerabilidade do índice GOD.

Classes de Vulnerabilidade	Definição Prática	Índice de Vulnerabilidade
Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.	0,7 – 1,0
Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.	0,5 – 0,7
Moderada	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados.	0,3 – 0,5
Baixa	Somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados.	0,1 – 0,3
Desprezível	Camadas confinadas com fluxo vertical descendente não significativo.	0 – 0,1

Fonte: Foster & Hirata, 1998.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Aspectos geológicos e hidrogeológicos locais

Durante as etapas de campo foram visitados afloramentos rochosos e pontos d'água, como nascentes e drenagens. Os resultados das observações e estudos de campo de cada um desses pontos estão descritos abaixo, bem como o mapa geológico local gerado (**Figura 18**).

#### *Ponto 01*

Bloco rolado (**Foto 1 - A**) localizado ao lado da entrada da Gruta do Limoeiro. O bloco, de aproximadamente 3 metros de altura e 2,5 metros de espessura, encontra-se bem intemperizado, sendo constituído por mármore de composição carbonática. Apresenta coloração acinzentada e algumas porções beges e estrutura bandada resultante de segregação mineral, evidenciado pela presença das bandas máficas e félsicas, contínuas e regulares, variando de milimétricas a centimétricas (**B**). Sua mineralogia é constituída essencialmente por carbonato e, nas bandas félsicas, por quartzo e minerais micáceos (muscovita), e nas bandas máficas, por biotita, piroxênio e quartzo (em proporções menores em relação à banda félsica) e com granulação variando de fina a grossa (**C**). Apresenta, além de sigmóides de calcita, intrusões pegmatíticas tardias concordantes com a foliação. O solo do local apresenta cor avermelhada.

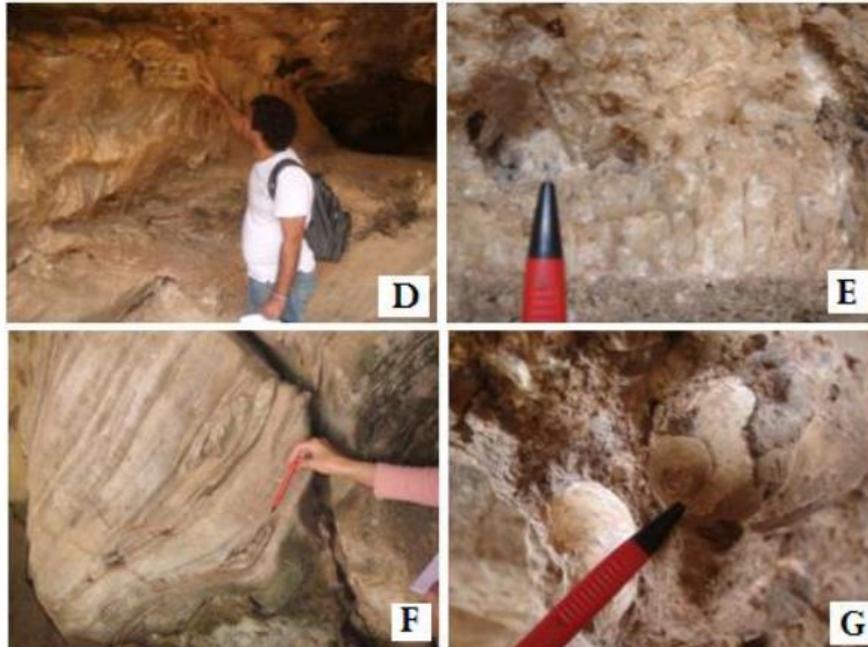


**Foto 1.** (A) Vista geral do bloco rolado; (B) Estrutura bandada; (C) Granulação da rocha.

#### *Ponto 02*

Afloramento pertencente à Gruta do Limoeiro. Composto por mármore de coloração bege (**Foto 2 - D**). Sua mineralogia é constituída por carbonato, com granulação variando de média a muito grossa (**E**). Apresenta xenólitos máficos de composição anfibolítica (**F**), de tamanhos centimétricos a métricos, concordantes com a foliação e muitas vezes aparecem dobrados e preenchidos por calcita. Além disso, pode-se observar a presença de veios de calcita, discordantes com a foliação, fraturas também preenchidas por calcita, bem como fósseis e moldes (gastrópodes) preservados no carbonato de dissolução do mármore (**G**). O solo do local apresenta cor avermelhada.

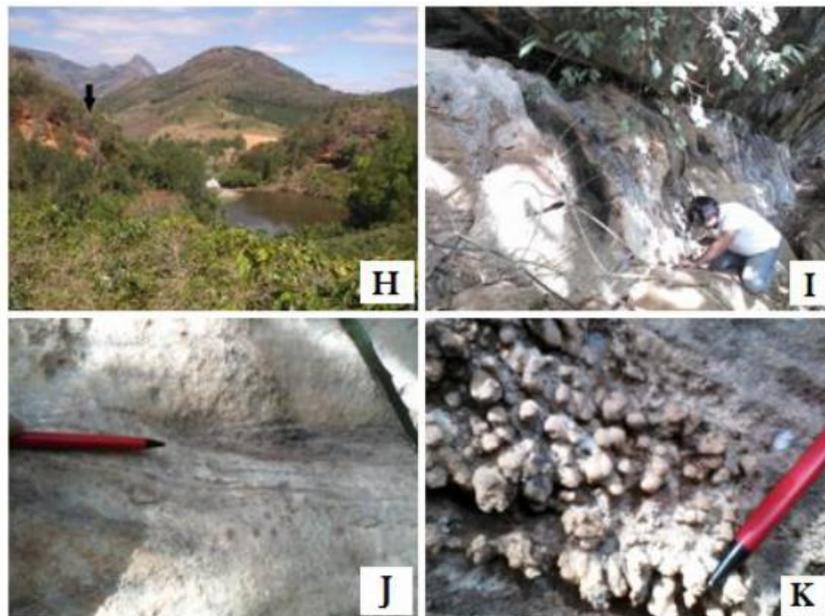
**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”,  
Castelo - ES**



**Foto 2.** (D) Vista geral; (E) Granulação da calcita; (F) Xenólitos máficos; (G) Fósseis - gastrópodes.

**Ponto 03**

Afloramento localizado dentro da mata, ao lado da lagoa (**Foto 3 - H**). Apresenta-se parcialmente intemperizado e constitui um mármore (I) de coloração bege e estrutura levemente bandada (J). Sua mineralogia é constituída pela calcita que, nas partes internas apresenta granulação fina enquanto nas partes externas, apresenta granulação variando de média a grossa. Pode-se observar, além de evidências de dissolução do carbonato (K) e veios de calcita rodeados por mica (muscovitas), xenólitos máficos de composição anfibolítica concordantes com a foliação e muitas vezes *boudinados*.



**Foto 3.** (H) Vista geral do afloramento; (I) Mármore de coloração bege; (J) Estrutura levemente bandada; (K) Evidências de dissolução de carbonato.

**Ponto 04**

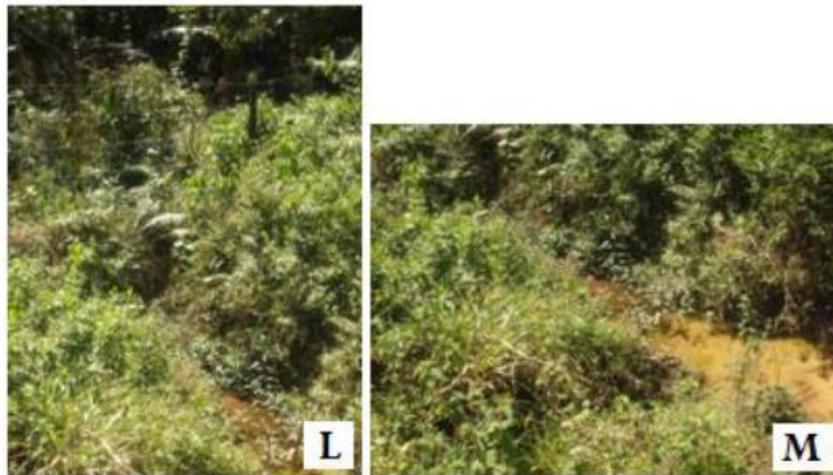
Ponto localizado próximo ao estacionamento do Parque da Gruta do Limoeiro, registrando a presença de nascente.

**Ponto 05**

Bloco rolado localizado no sopé do morro, ao lado de uma nascente. A rocha encontra-se superficialmente intemperizada e constitui uma rocha magmática, definida como um leucogranito. Apresenta coloração acinzentada e mineralogia constituída por quartzo, feldspato e proporções bem menores de minerais micáceos (biotita), todos com granulação variando de fina a média. É possível observar a presença de veios porfiríticos ricos em quartzo.

**Ponto 06**

Ponto localizado próximo à mata, registrando a presença de drenagem (**Foto 4**).



**Foto 4.** (L), (M) Drenagem.

**Ponto 07**

Bloco rolado localizado ao lado de uma drenagem seca (**Foto 5- N**). A rocha mostra-se pouco alterada e compreende uma rocha metamórfica – definida como um biotita-gnaiss (O). Apresenta coloração acinzentada com algumas porções esbranquiçadas e estrutura bandada, marcada pelas bandas máficas e félsicas, contínuas e regulares, variando de milimétricas a centimétricas. Sua mineralogia é constituída por quartzo, feldspato, biotita e magnetita, como mineral acessório, todos de granulação média. Presença de veios pegmatíticos. Bloco rolado, localizado ao lado do litotipo anterior, mostrando-se pouco alterado. Constitui-se a mesma rocha metamórfica – biotita-gnaiss. Apresenta-se semelhante ao anterior, porém com mineralogia composta por biotita, em grande quantidade, feldspato e quartzo, em pequenas proporções. Os grãos são equigranular e de granulação fina.

**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”,  
Castelo - ES**



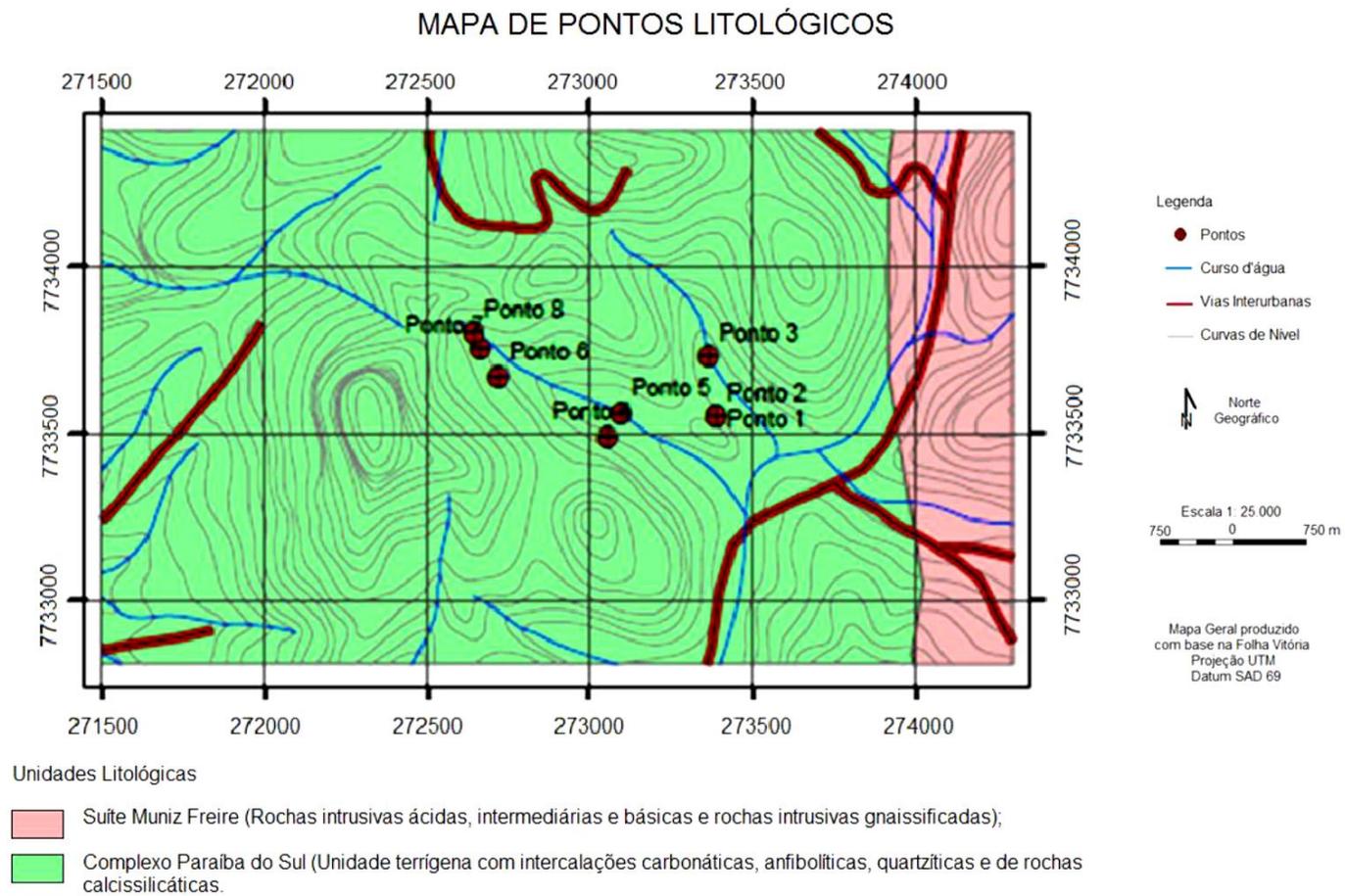
**Foto 5.** (N) Vista geral; (O) Biotita-gnaiss.

**Ponto 08**

Ponto localizado próximo à mata, registrando a presença de nascente perene (**Foto 6**).



**Foto 6.** (P) Nascente intermitente.



**Figura 18.** Mapa de localização dos pontos litológicos.

**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”,  
Castelo - ES**

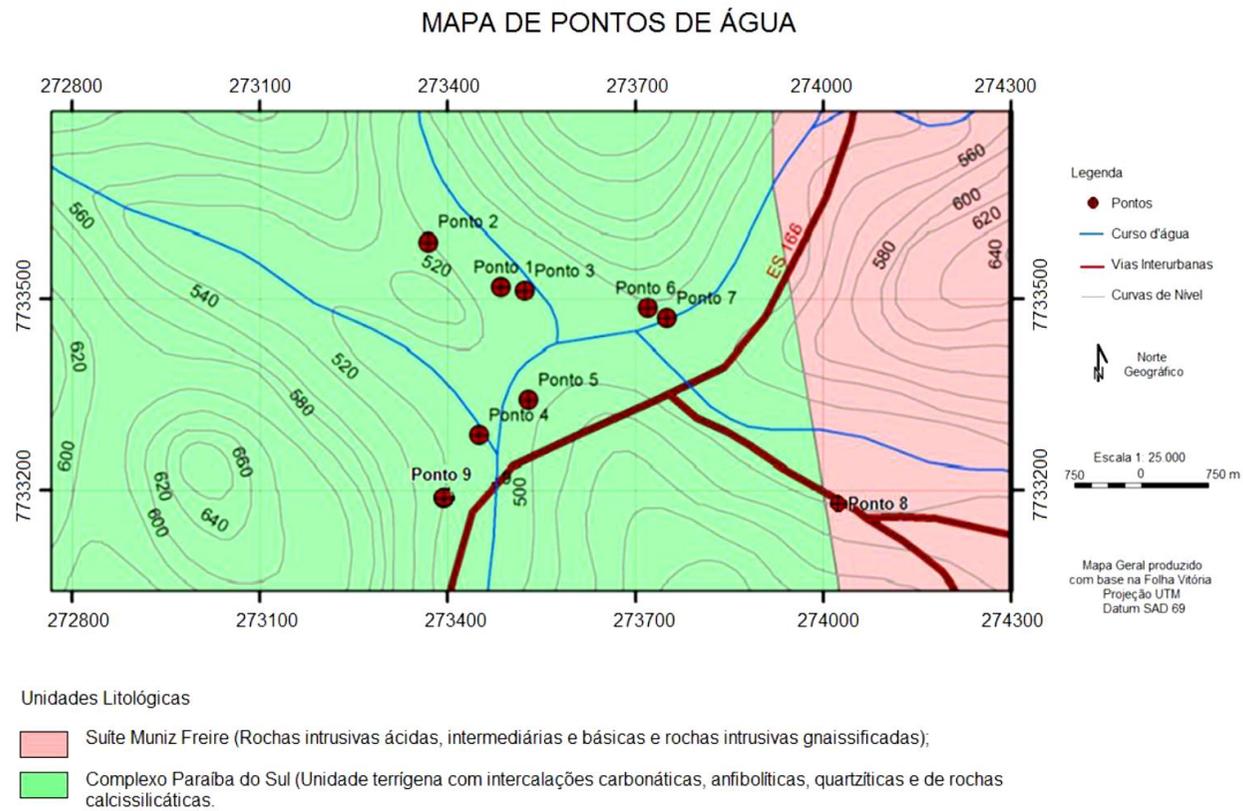
**Avaliação da vulnerabilidade do sistema aquífero cárstico**

As principais informações relacionadas à posição dos poços e das lagoas registrados na área estão reunidas no **Quadro 3**. Com base nesses dados, foi confeccionado o mapa de pontos de água, ilustrado na **Figura 19**.

**Quadro 3.** Pontos registrados em campo.

Pontos	Coordenadas (metros)		Altitude Elipsoidal (metros)	Nível de Água (metros)	Carga Hidráulica Total Potenciométrica (metros)
	Longitude (N)	Latitude (E)			
01	273485	7733519	480	0,65	479,35
02	273369	7733589	487	1,90	485,10
03	273523	7733513	482	6,00	476,00
04	273450	7733286	482	0,63	481,37
05	273529	7733342	483	6,00	477,00
06	273720	7733486	498	3,90	494,10
07	273750	7733470	497	9,50	487,50
08	274113	7733194	506	0,90	505,10
09	273394	7733188	502	2,20	499,80

O **Quadro 4**, na sequência, apresenta os valores atribuídos aos parâmetros G (tipo de aquífero), O (litologia) e D (profundidade), juntamente com os resultados obtidos através da metodologia utilizada.



**Figura 19.** Mapa de localização dos pontos de água.

## Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES

**Quadro 4.** Utilização do método GOD na determinação da vulnerabilidade do aquífero cárstico da “Gruta do Limoeiro”.

Pontos	Tipo de Aquífero - G		Litologia - O		Profundidade do Nivel Estático - D		Vulnerabilidade do Aquífero	
	Tipo	Índice	Litologia	Índice	Metros	Índice	Total	Classificação
01	Livre	1,0	Solo Residual	0,4	0,65	0,9	0,36	Moderada
02	Livre	1,0	Solo Residual	0,4	1,9	0,9	0,36	Moderada
03	Livre com Cobertura	0,6	Mármore	0,7	6,0	0,8	0,336	Moderada
04	Livre	1,0	Solo Residual	0,4	0,63	0,9	0,36	Moderada
05	Livre com Cobertura	0,6	Mármore	0,7	6,0	0,8	0,336	Moderada
06	Livre com Cobertura	0,6	Mármore	0,7	3,9	0,9	0,378	Moderada
07	Livre com Cobertura	0,6	Mármore	0,7	9,5	0,8	0,336	Moderada
08	Livre	1,0	Solo Residual	0,4	0,9	0,9	0,36	Moderada
09	Livre	1,0	Solo Residual	0,4	2,2	0,9	0,36	Moderada

*Mapa de nível d'água*

De acordo com os dados obtidos utilizando a metodologia citada, foi elaborado um mapa de nível de água (**Figura 19**) relacionado aos poços e às lagoas da região da Gruta do Limoeiro.

*Mapa de fluxo de recurso hídrico subterrâneo*

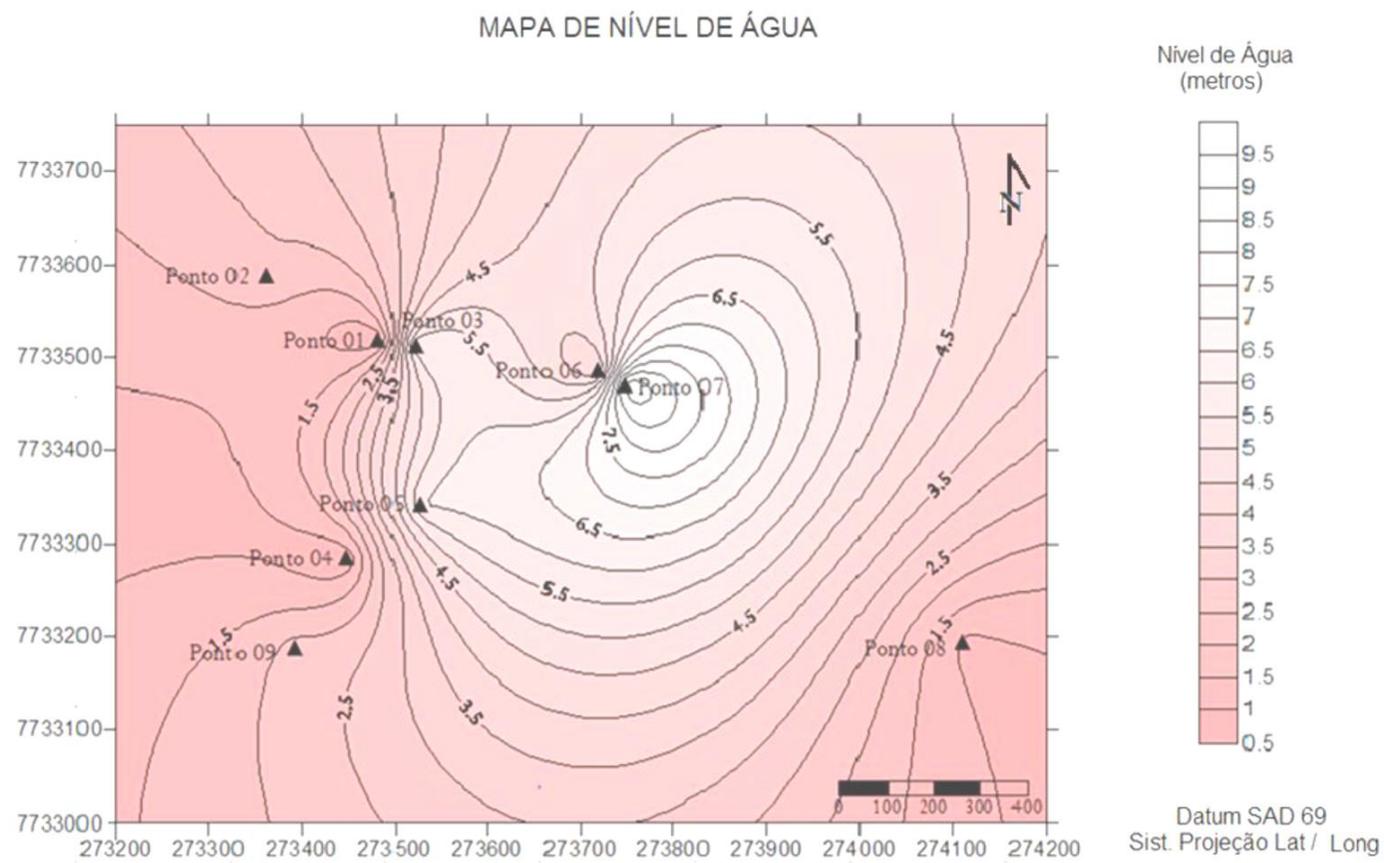
Os dados obtidos a partir da cota altimétrica e da carga hidráulica total – potenciométrica – permitiram a elaboração de um mapa de fluxo hídrico subterrâneo (**Figura 20**).

O estudo desse mapa possibilita saber onde estão as áreas de recarga e descarga, ou seja, pode indicar, através da interação com outros estudos, as áreas onde não podem ser localizadas fontes de contaminação e obras de engenharia, entre outros.

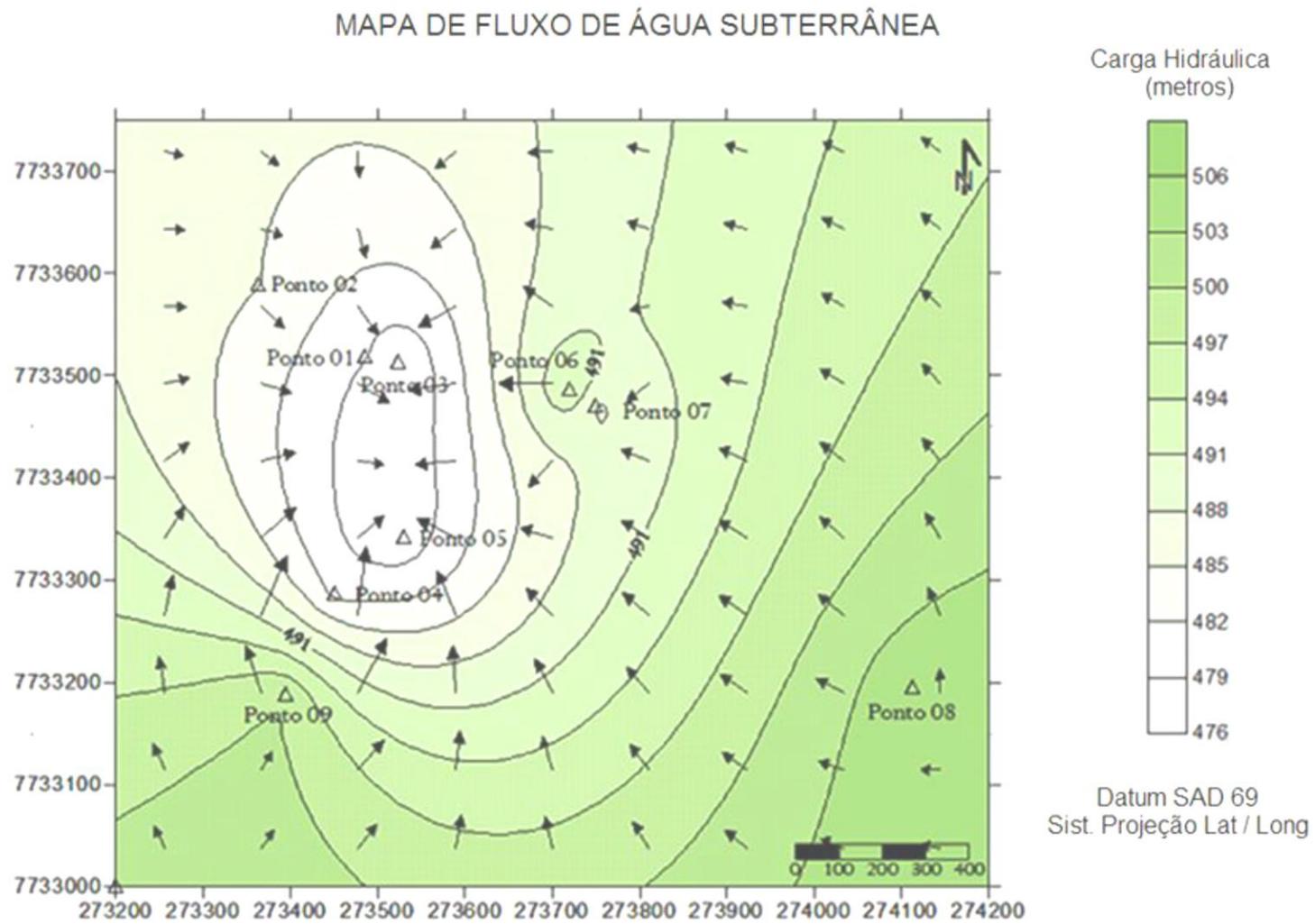
*Mapa de vulnerabilidade natural*

Com base nos índices de vulnerabilidade dos aquíferos analisados, foi possível elaborar um mapa de vulnerabilidade (**Figura 22**) para a área. Esse tipo de mapa, como já dito anteriormente, constitui uma ferramenta importante, a qual pode indicar áreas suscetíveis à contaminação, planejar o uso do solo e selecionar locais adequados para a deposição de resíduos sólidos e outras atividades de impacto ambiental, além de ser bastante útil para a escolha de locais para instalações de redes de monitoramento e avaliação de poluição.

# Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES

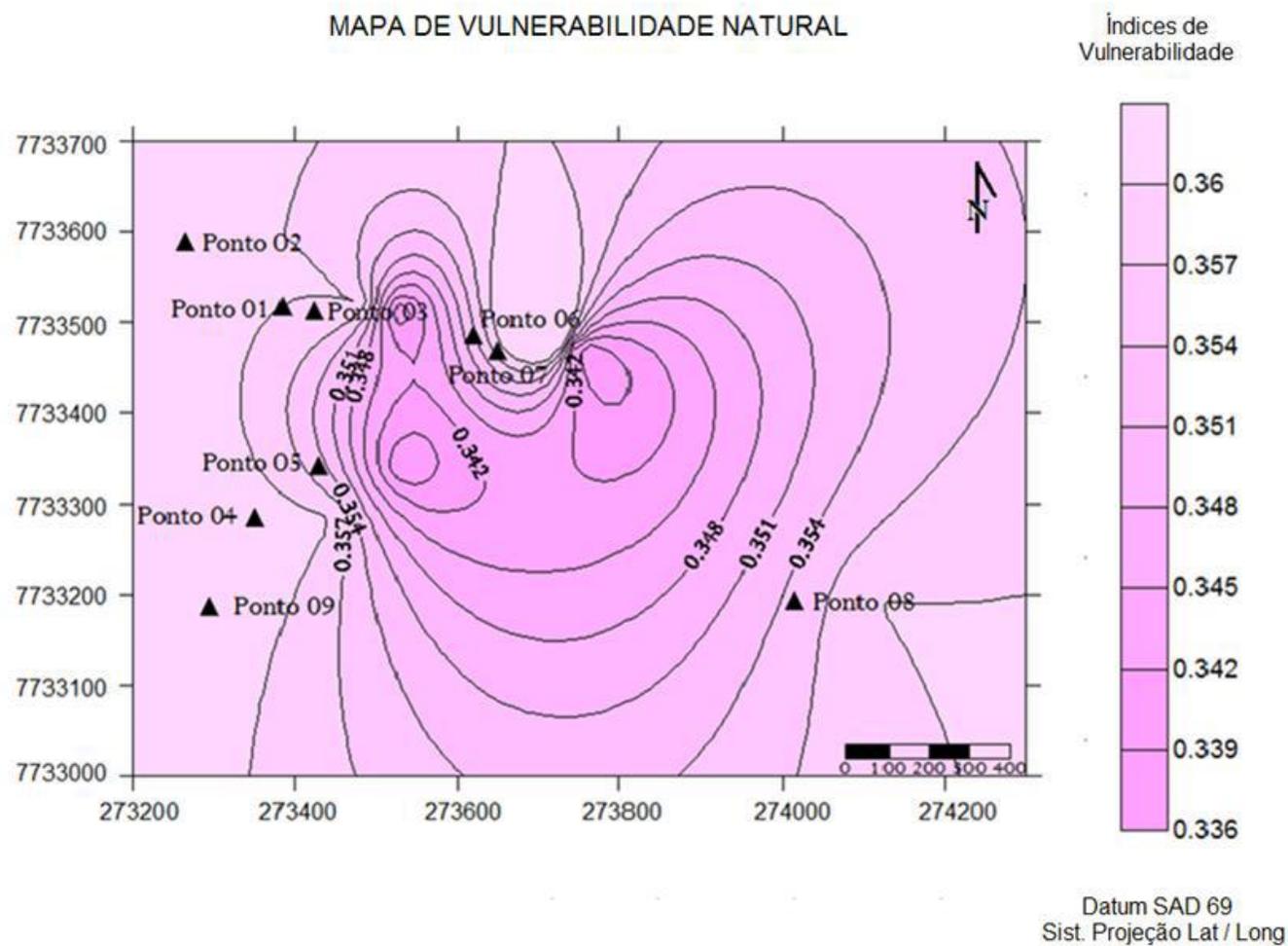


**Figura 20.** Mapa de nível d'água.



**Figura 21.** Mapa de fluxo de água subterrânea.

# Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”, Castelo - ES



**Figura 22.** Mapa de vulnerabilidade natural.

## Interpretação dos dados

As características hidrogeológicas encontradas na região da Gruta do Limoeiro permitiram classificar a área com a ocorrência de água subterrânea de forma livre e livre com cobertura, com valores de índice G entre 0,6 e 1,0. Quanto à caracterização dos estratos de cobertura, constatou-se a presença de rochas metamórficas, como mármore e biotita-gnaisses, além de solos residuais, conferindo uma variação do índice O entre 0,4 e 0,7. Com relação à metodologia proposta, os poços e as lagoas mais rasos, de nível estático entre 0,6 e 4,0 metros receberam índices iguais a 0,9, ao passo que os outros poços, cujas profundidades encontravam-se entre 6,0 e 10,0 metros, receberam índices com o valor de 0,8.

Assim sendo, considerando os resultados obtidos, pôde-se considerar a vulnerabilidade natural moderada, com índices variando de 0,336 a 0,378, sendo que o valor limite para esta categoria é 0,5. Faz-se importante enfatizar que a classificação da vulnerabilidade, conforme aplicada, se deve ao método GOD, podendo a mesma variar frente a diferentes metodologias empíricas e critérios hidrogeológicos avaliados. Assim, estudos futuros podem empregar metodologias de avaliação da vulnerabilidade que contemplem um maior número de variáveis, combinando melhor a metodologia às condições hidrogeológicas da região.

A importância de proteção do aquífero torna-se acentuada ao destacar que é neste manancial que ocorre a captação de água para uma determinada população. De acordo com Araújo *et al.*, (2002) e Costa (1997), zonas onde o índice de vulnerabilidade natural é classificado como moderada, as águas dos aquíferos podem, a longo prazo, ser atingidas por substâncias contaminantes moderadamente móveis e persistentes como hidrocarbonetos halogenados ou não halogenados, por alguns metais pesados e sais menos solúveis.

## CONCLUSÃO

As investigações e estudos realizados neste trabalho permitiram, de forma preliminar, conhecer os níveis de vulnerabilidade das unidades aquíferas da Gruta do Limoeiro, no município de Castelo, Espírito Santo.

Considerando a metodologia utilizada, GOD, os sistemas aquíferos encontrados são do tipo livre e livre com cobertura. As principais litologias encontradas são os solos residuais e os mármore e as profundidades dos níveis de água variam de 0,63 a 9,5 metros.

De acordo com os índices de vulnerabilidade obtidos, em todos os pontos e sistemas aquíferos, foi possível definir a vulnerabilidade natural como moderada.

A priori, a presença predominante de rochas carbonáticas levaria a classificar a vulnerabilidade como alta ou até mesmo extrema, devido às características peculiares deste litotipo, que o torna bem menos resistente a contaminações. Porém, o sistema, como um todo, é considerado misto, ou seja, apresenta-se complexo, em relação aos vários litotipos presentes. Além disso, vale à pena ressaltar que, a água encontrada nas rochas carbonáticas apresentou níveis de profundidade intermediários, criando assim um equilíbrio na vulnerabilidade. O mesmo ocorre para os locais onde a litologia é representada por solos residuais, afinal, esses apresentam índices relativamente baixos, que são controlados pelos níveis de água rasos.

A partir do mapa de fluxo subterrâneo, pode-se observar que a principal direção do fluxo das águas subterrâneas ocorre em direção aos pontos de litologia cárstica. Além disso, pode-se concluir que a recarga acontece tanto pela dispersão quanto pela concentração da entrada de água.

Este estudo é ainda preliminar, devendo ser ampliada para os outros sistemas hidrogeológicos da área estudada, no intento de se formar um quadro mais completo sobre os processos e a circulação de água subterrânea nos litotipos existentes.

**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”,  
Castelo - ES**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 1981. **Glossário de termos técnicos de geologia e engenharia**. São Paulo, Boletim n°.4, 35 p.

ALBRECHT K. J. & ZUQUETTE L. V. 1996. **Carste: Terminologia, Feições e Formas de Relevo – Base para o Mapeamento Geotécnico**. Revista Geociências. São Paulo: Fundação Editora da Unesp 15: 455 – 483.

ALMEIDA, F.F.M. 1981. **O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco**. *In*: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, v. 1, Salvador, 1979. Anais, Salvador, Soc. Brás. De Geol./Coord. Prod. Min., p. 1-10.

ALVARENGA J. A., GONÇALVES J. A. C. 2007. **Avaliação da Vulnerabilidade do Aquífero Aluvionar do Bairro Amaro Lanari de Coronel Fabriciano – MG**. Dissertação de Graduação, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Unileste MG, 44 p.

ARAÚJO P. P. *et al.* 2002. **Vulnerabilidade da Águas Subterrâneas: Estudo de Caso em Santa Isabel do Pará**. *In*: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis. (Sem número de página).

AULER A.; PILÓ L. B.; SAADI A. 2005. **Ambientes Cársticos**. *In*: Souza et al (1 ed) 2005. O Quaternário do Brasil. São Paulo: Holos, p.: 321 - 337.

BORGHETTI, N. R. B., BORGHETTI, J. R., FILHO, E. F. R. 2006. **O Aquífero Guarani**. Disponível em: [http:// www.oaquiferoguarani.com.br](http://www.oaquiferoguarani.com.br). Acessado em 28 ago. 2011.

CAICEDO N. L. 2002. *In*: Tucci C. E. M. (3 ed). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, RS: FRGS/ ABRH, 943 pp.

CASTRO JUNIOR R. M. C., SOBREIRA F. G., BORTOLOTTI F. D., SOUZA L. A. 2007. **Definição de Unidades Geomorfológicas a Partir de Navegação e Validade de Campo Utilizando GPS e Sistema de Informações Geográficas: O Caso da Sub-Bacia do Rio Castelo – ES**. Boletim de Ciências Geodésicas 13: 42 – 59.

CELIN E.; MACHADO L. R. 2011. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural Proater 2011 – 2013. Planejamento e Programação de Ações – (2011)**. Disponível em: [http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Noroeste/Governador\\_Lindenberg.pdf](http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Noroeste/Governador_Lindenberg.pdf). Acessado em 01 out. 2011.

CHAVES L. M. L., SCHULER A. E., CHAVES C. L. 2007. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural do Aquífero em Bacia de Pequeno Porte do Rio Uraim, Paragominas - PA**. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo. (Sem número de página).

CLEARY R. W. 1989. **Águas Subterrâneas**. *In*: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (1 ed) Engenharia Hidrológica, p.: 1 – 112.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CPRM BRASIL). **Resolução N. 16 de 8 de Maio de 2001**. Delega Competência A SINGRH E Dá Outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2001. 03p. 53

COSTA W. D., 1997. **Contaminação e Programas de Monitoramento de Águas Subterrâneas**. In: Simpósio de Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil. ABAS: Rio de Janeiro. (Sem número de página).

EBERT H., HASUI Y. 1998. **Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of southeast Brazil**. In: Continental Transpression and Transtensional Tectonics, Eds. R.E. Holdsworth, R.A. Strachan and J.F. Dewey. Geological Society of London, Spec. Public., 135:231-252.

ESRI. ARCGIS – ARCMAP 9.3 Help On Line. Redlands: ESRI, 2008.

FEITOSA F. A. C. & MANUEL FILHO J. (2 ed) 2000. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**, Recife: CPRM, 391 pp.

FETTER C. W. (4 ed) 2001. **Applied Hydrogeology**. New Jersey: Prentice Hall, 598 pp.

FONSECA L.J. 2009. Sub-bacias do Rio Itapemirim. Laboratório de geologia aplicada. Universidade Federal do Espírito Santo.

FOSTER S. S. D. & HIRATA, R. 1993. **Poluição das Águas Subterrâneas: Um Documento Executivo da Situação da América Latina e Caribe com Relação ao Abastecimento de Água Potável**. São Paulo, Instituto Geológico, 55 p.

FOSTER, S. & HIRATA, R. 1998 **Groundwater pollution risk evaluation: A Methodology Based on Available Data**. CEPIS/PAHO Technical Report Lima/Peru, 78p.

FOSTER, S. & HIRATA, R.C.A. & GOMES, D. & D'ELIA, M.; PARIS, M. 2002. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies**. WHO-PAHO-CEPIS & UNESCO-ROSLAC-PHI. 99 p.

FRANTZ, L. C. 2005. **Avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero Guarani no perímetro urbano da cidade de Sant'ana do Livramento – RS**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 125 p.

GASPARIN D. C., 2009. **A Importância do Aquífero Cárstico em Almirante Tamandaré, Paraná, como Recurso Estratégico na Gestão Urbana e Regional**. Dissertação de Pós-Graduação em Gestão Urbana - PPGTU, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, 198 p.

GEOSCAPE NANAIMO. 2007. **Karst: What is it?** Disponível em: <http://web.mala.bc.ca/geoscape/>. Acessado em: 17 set. 2011.

GOOGLE MAPS. **Imagem da Rodovia Pedro Cola**. Disponível em <http://maps.google.com.br/>. Acessado em 22 ago. 2011.

HARDT R. 2008. **Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações sobre o Manejo**. In: 1º Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo, São Paulo, p. 1295.

**Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero cárstico “Gruta do Limoeiro”,  
Castelo - ES**

HIRATA, R. 2000. **Recursos Hídricos**. In: Teixeira, W. et al (orgs.). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos. 54

HIRATA, R. C. A. & FERREIRA, L. M. R. 2001. **Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição**. Revista Brasileira De Geociências, 31: 43-50.

IG/CETESB/DAEE – Instituto Geológico; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1993. **Mapa da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB/DAEE, v 1.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Mapas da Comunidade de Castelo, Espírito Santo**. Disponível em [http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=186](http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=186). Acessado em 20 nov. 2011.

JORDT-EVANGELISTA H.; VIANA D. J. 2000. **Mármoreos da região de Itaóca (ES) e Escarnitos no Contato dos Diques Máficos e Félsicos: Mineralogia e Petrogenese**. Geonomos, 8(2): 61-67.

INGHAM R. 2009. **Aumento da População e Mudança Climática Ameaçam o Abastecimento de Água**. France Presse, Paris, 12 mar.

KARMANN I. 2000. **Ciclo da Água**. In: Teixeira W. & Fairchild T. R. & Toledo M. C., Taioli F. (1 ed) 2000. Decifrando a Terra: Oficina de Textos, São Paulo, 568 pp.

LOPES, L. C. F. L.; LANA, C. E. 2010. **Análise Ambiental da Bacia do Rio Castelo (Es), com Ênfase no Problema das Inundações**. Dissertação de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre, 49 p.

MACHADO N.; VALLADARES C.; HEILBRON M., VALERIANO C. M. 1996. **UPb Geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the brazilian orogeny**. Precambrian Research, 79:347-361.

MANUEL FILHO, J. 2000. **Água subterrânea: história e importância**. In: Feitosa, F.A.C.; Manuel Filho, J. (2 ed) 2000. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. Fortaleza; CPRM/REFO-UFPE, 391 p.

MEAULO F. J. 2004. **Vulnerabilidade Natural à Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área de Araraquara (SP)**. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 108 p.

MOTA, S. (1 ED) 1997. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 276 pp.

PACHECO F. A. L., CARVALHO G. J. P. 2004. **Avaliação da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas pelo Método DRASTIC na Bacia Hidrográfica do Rio Sordo**. In: 7º Congresso de Água, Lisboa. (Sem número de página).

PARALTA E. A., FRANCES A. P., RIBEIRO L.F. 2005. **Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica das Redes de Monitorização no Contexto da Directiva Quadro da Água.** *In: 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora-Portugal.* (Sem número de página).

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. 2007. **Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification.** *Hydrology and Earth System Sciences*, 11: 1633 – 1644. 55

PEDROSA-SOARES, A.C. & WIEDEMANN-LEONARDOS, C.M. 2000. **Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil.** *In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A. & Campos D.A. (eds) 2000. Tectonic Evolution of South America.* 31. Intern. Cong. Geol., Rio de Janeiro: 265-286.

PESSOA P. F. P. 2005. **Hidrogeologia dos Aquíferos Cársticos Cobertos de Lagoa Santa, MG.** Dissertação de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

PORTARIA FEDERAL. **Ministério da Saúde, nº 518,** de 25/03/2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CASTELO. Disponível em <http://www.castelo.es.gov.br/>. Acessado em 22 ago. 2011.

PROJETO RADAM BRASIL. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. v. 32.** Rio de Janeiro, 1983. 780 p.

SURFER 8. **Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. User's Guide.** Golden Software Inc. 2004. Versão 8. Colorado - U.S.A.

TUPINAMBÁ M. ET AL. 2007. **Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí.** *Geonomos* 15: 67 – 79.

VIEIRA, V.S.; RAPOSO, F. O.; DELGADO, I. DE M. 1993. **Granito-gênese Brasileira na Evolução do Cinturão Móvel Costeiro (Cinturão Móvel Ribeira) em áreas do Espírito Santo e Minas Gerais.** *In: Workshop Magmatismo granítico e Mineralizações Associadas (MAGMA), Academia Brasileira de Ciências – RJ.* p.83-86.

VIEIRA, V.S. 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Carta Geológica Cachoeiro de Itapemirim, Folha SF24Z-V-A.** Escala 1:250.000, Brasília, CPRM.

ZOBY J. L. G., MATOS B. 2002. **As Águas Subterrâneas no Brasil e Sua Inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos.** *In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Florianópolis, SC.* ABAS –CD ROOM.



## Capítulo 7

### Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES

*Bernardo Nicolini Smarzaro<sup>1</sup>; José Augusto Costa Gonçalves<sup>2</sup>*

**RESUMO.** O presente trabalho teve como objetivo a caracterização preliminar dos sistemas aquíferos na área do município de Cachoeiro de Itapemirim, situado sobre terreno cristalino. Como ferramenta foi utilizado um cadastro de poços tubulares com as características físico-químicas das águas. De acordo com a análise conjunta das informações do cadastro de poços tubulares, do mapa geológico e dos traços estruturais presentes na área, foram estabelecidos três Domínios Hidrogeológicos, são eles o Domínio das Rochas Intrusivas, o Domínio do Complexo Paraíba do Sul e o Domínio dos Mármore. Os valores médios de vazão específica para cada domínio foram de 0, 1724 L/s/m, 0, 0798 L/s/m e 0, 4073 L/s/m, respectivamente. Os dados do cadastro de poços tubulares demonstraram que a profundidade média dos mesmos é de 67, 95 metros e que a maior produtividade está associada ao intervalo entre 30 e 80 metros. Quimicamente, as águas da região estudada são levemente ácidas e duras. Elas possuem valores aceitáveis para os parâmetros de potabilidade salvo por algumas restrições para consumo, que ocorrem em algumas amostras. Todavia, existe um forte potencial para a exploração de água mineral, principalmente no Domínio das Rochas Intrusivas.

**PALAVRAS CHAVE:** Aquífero cristalino; domínios hidrogeológicos; gestão de recursos hídricos; poços tubulares; potencial hídrico.

## INTRODUÇÃO

A água é o bem mineral mais indispensável à existência da vida no planeta. Devido ao rápido crescimento e desenvolvimento da humanidade, a busca por este elemento torna-se cada vez mais intensa, seja para consumo humano ou para uso industrial, considerando que a utilização de água apenas superficial torna-se cada vez mais complicada devido à poluição e à própria demanda populacional, o que leva a onerosos métodos de tratamento a fim de que possa ser obtida uma água de qualidade. Considerando toda a água do planeta, 1 bilhão e 370 milhões de quilômetros cúbicos, representada por 1 litro, a água doce seria responsável pela fração de 28 mL. Desse volume apenas 6, 27 mL estão sob a forma líquida e poderiam ser utilizados pelo homem. Considerando-se apenas a água superficial, o volume seria proporcional a 0,1 mL, ou seja, 6,17 mL, 98 % da água doce disponível, é subterrânea. Tendo em vista o enorme potencial apresentado pelas águas subterrâneas, faz-se necessário a sua inserção no sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. No país, pouco se conhece sobre o verdadeiro potencial dos seus aquíferos. Há diversos estudos detalhados sobre unidades aquíferas específicas, mas que devido à extensão e complexidade geológica e geotectônica, não são aplicáveis em todas

<sup>1</sup>Geólogo/Recursos Energéticos Renováveis e Resíduos Sólidos (Herhof GmbH Company) - Herhof GmbH Kalkgraben 2, Solms, Germany

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, MG, Brasil

## **Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES**

as regiões. Dessa forma, a realização de caracterizações preliminares sobre os sistemas aquíferos em diversas regiões, que ainda possuem pouca ou nenhuma informação concernente à hidrogeologia, são a forma de se iniciar o processo de mudança do atual manejo dos recursos hídricos no território nacional.

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O domínio hidrogeológico cristalino representa cerca de 58 % do território nacional. Entretanto, o seu volume total de água representa apenas 10 % de toda a água doce subterrânea do Brasil. Talvez, devido a este fato, o número de estudos sobre hidrogeologia de terrenos cristalinos seja tão reduzido. No estado do Espírito Santo, há uma grande deficiência em estudos hidrogeológicos, especialmente em terrenos cristalinos.

Segundo Manoel Filho (1996) *apud* Fernandes (1997), o termo aquífero fraturado ou fissural aplica-se somente em nível regional. Tendo em vista que a sua geometria é desconhecida, não se torna possível que os seus parâmetros hidráulicos sejam identificados. Dessa forma, o autor define o termo condutor hidráulico, que é utilizado apenas para o poço, blocos de rocha e fendas conectadas direta e indiretamente com o poço. Sendo assim, as propriedades hidráulicas deduzidas em testes aplicam-se somente ao condutor e não ao aquífero.

Fernandes (1997) salienta a extrema variabilidade das características de aquíferos fraturados, tais como a condutividade hidráulica, que pode variar algumas ordens de grandeza dentro de uma mesma unidade rochosa em curtas distâncias. Dessa forma, a autora estabeleceu duas abordagens da análise o fluxo de água através de fraturas: meio contínuo e meio descontínuo. Sendo a análise através da abordagem do meio contínuo – fraturamento denso – realizada através da aplicação da lei de Darcy. E a abordagem de meio descontínuo através da análise da hidráulica do fluxo em fraturas individuais. A última, em grande parte dos casos é considerada a mais adequada.

Golçalves (2001) ao caracterizar os sistemas aquíferos fissurais da Zona da Mata-MG e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, realizou a confecção de um inventário sobre os poços tubulares profundos na área de estudo, através do qual pôde ser realizada a caracterização dos mesmos. As características inventariadas e organizadas em forma de gráficos foram as seguintes: profundidade das entradas de água, profundidades do nível estático, vazão específica, profundidade e profundidade média útil dos poços. No que diz respeito aos domínios hidrogeológicos do meio fissural, o autor ressalta a importância da análise dos lineamentos estruturais, que podem ser marcantes na determinação de zonas heterogêneas.

Monsorens *et al* (2004) ao estudarem os aquíferos fraturados no Noroeste Fluminense, na Bacia Superior do Córrego do Açude, na região de Itaperuna, estabeleceram a relação entre dois sistemas aquíferos, um poroso e o outro fraturado, através de correlações entre a geomorfologia, tipos de solos e as principais estruturas mapeáveis. Dessa forma, puderam determinar as condições de fluxo e caráter hidroquímico das águas da bacia, assim como as condições de transmissão e armazenamento das unidades.

Lousada (2005) realizou uma pesquisa com o objetivo de elaborar um método sistemático na localização de áreas favoráveis à prospecção de água subterrânea em domínio fraturado através da integração de dados de sensoriamento remoto, de litologia, de geologia estrutural, de hidrogeologia e de geofísica. Utilizou fotografias aéreas para estudos de detalhe e imagens de resolução LANDSAT – TM para estudos regionais. Em áreas previamente

selecionadas, ainda foi utilizado o método geofísico eletromagnético para gerar mapas de isocondutividade. O autor conclui que uma análise detalhada de fotografias aéreas, associada ao levantamento geofísico, compõe a base metodológica aplicada para incrementar as chances de sucesso na exploração de aquíferos desenvolvidos em rochas cristalinas.

Fernandes (2008) ao realizar uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação em aquíferos fraturados, argumenta a inconsistência da comparação dos resultados obtidos em diferentes trabalhos devido à forma como os mesmos são apresentados. A autora sugere que é preferível a apresentação de medianas a médias, principalmente quando aquelas vêm acompanhadas de desvios padrões e quartis. Ressalta ainda, que há aumento da possibilidade de comparações entre os fatores analisados e entre regiões diferentes quando são confeccionados gráficos que ilustram todos os dados de produção (capacidade específica ou vazão) através de distribuição acumulada com escala logarítmica para o parâmetro de produção em questão.

Chavez-Kuz *et al.* (2008), ao estudarem o Aquífero Atuba na região de Curitiba, utilizaram o método de intersecção de fraturas com os planos considerados mais favoráveis para exploração de água subterrânea. Os autores atestam que o parâmetro nos cruzamentos dos planos conjugados e fraturas híbridas coincidem com valores altos de capacidade específica e vazão dos poços tubulares profundos. Ressaltam ainda que as propriedades hidráulicas do meio geológico e a produtividade dos poços tubulares não devem ser diretamente inferidas usando como critério somente as áreas próximas ou ao redor dos lineamentos, uma vez que mapas de densidades de fraturas apresentam baixa correspondência com a produtividade dos poços.

Midões e Costa (2009) realizaram a caracterização do Sistema Aquífero Estremoz-Cano, no Nordeste Alentejano em Portugal. Trata-se de um sistema aquífero cárstico/fissural alojado em mármore, onde foram realizadas análises de cunho hidrodinâmico e hidroquímico. Realizou-se a verificação das médias das vazões e o comportamento referente à circulação subterrânea neste tipo de domínio aquífero, assim como análises dos principais cátions e ânions, além de metais pesados. Dessa forma, os autores puderam determinar algumas particularidades hidrogeológicas que são típicas dos aquíferos do tipo cárstico-fissurado. Via de regra, são de baixa capacidade de autodepuração e uma velocidade de circulação elevada, que os tornam frágeis à contaminação.

## METODOLOGIA

A metodologia proposta para este estudo envolve duas etapas principais de aquisição de dados e uma etapa final de análise e geração de resultados. As principais etapas de trabalho seguem descritas abaixo.

**Trabalhos de Campo.** Seleção e registro dos poços tubulares existentes utilizando-se a base cartográfica adequada e aparelho GPS (*geographical positioning system*), com fim de registrar a distribuição espacial dos poços na área de trabalho.

**Trabalhos de Escritório.** Revisão bibliográfica: pesquisa de trabalhos anteriormente realizados na região sobre o aspecto geológico/hidrogeológico e de trabalhos que contribuíssem sob aspecto técnico;

Estabelecimento da base cartográfica regional e escala de trabalho a ser adotada;

Interpretação fotogeológica em escala 1:38.000;

## **Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES**

Confecção do inventário dos poços tubulares a fim de gerar um cadastro com o relatório dos mesmos, contendo todos os dados de extrema relevância para a realização da etapa de análise como profundidade do poço, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, vazão de produção, vazão específica e tipo de aquífero.

Elaboração de um mapa de pontos de exploração de água subterrânea, através do cadastro dos poços tubulares realizado na base cartográfica mais apropriada para a região;

Tratamento estatístico dos dados obtidos:

Características dos poços inventariados – confecção de gráficos acerca dos dados obtidos do inventário com cálculo de média e desvio padrão para os dados dos poços;

Cálculo da média das vazões específicas por zonas heterogêneas;

Cálculo da relação entre a frequência das vazões específicas com o número de poços correspondentes para cada domínio hidrogeológico.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Hidrogeologia**

A partir dos dados obtidos acerca da hidrogeologia, da geologia, do relevo, da hidrografia e dos lineamentos estruturais - que podem ser visualizados na Figura 1 - foi possível a realização de uma análise conjunta entre os fatores mais preponderantes para a ocorrência de água subterrânea. De forma geral, em toda a área pesquisada, os aquíferos são fraturados, livres, semiconfinados a confinados, descontínuos e de extensão limitada. Em alguns trechos são recobertos por aluviões e por coberturas indiferenciadas, que caracterizam aquíferos aluvionares livres. O manto de alteração forma um aquífero poroso. A recarga ocorre, principalmente, através da infiltração das águas das chuvas e das drenagens superficiais em zonas filtrantes como aluviões e o manto de alteração, ocorrendo de forma mais eficiente onde o controle estrutural da drenagem acontece através de fraturas. Principalmente através do mapa geológico (Folha Cachoeiro de Itapemirim – SF.24.Z-V-A / 1:250.000 – CPRM 1997), da descrição dos litotipos realizada por Vieira *et al.* (1997) e de lineamentos, foram diferenciados três potenciais domínios hidrogeológicos para a área estudada. São eles o Domínio das Rochas Intrusivas, o Domínio do Complexo Paraíba do Sul e o Domínio dos Mármore. As principais informações sobre os domínios seguem abaixo:

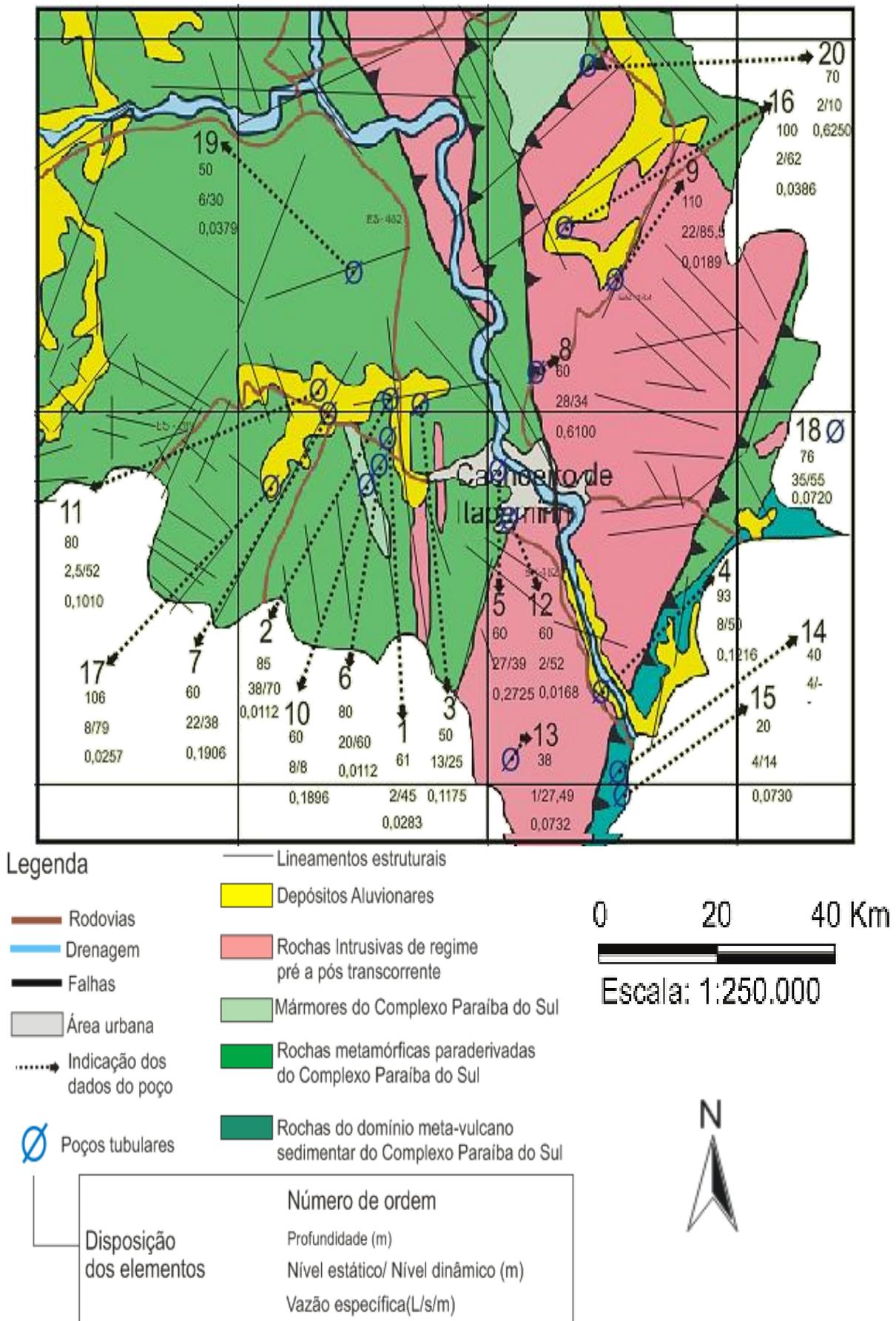
***Domínio das Rochas Intrusivas*** – Esse domínio caracteriza-se, principalmente, por estar associado às rochas de natureza intrusiva. Apresenta-se tão fraturado quanto o Domínio do Complexo Paraíba do Sul. Os litotipos presentes são basicamente ortognaisses e granitos. Nesse domínio foram registrados cinco poços tubulares que apresentaram médias de 80,2 metros – para profundidade, 12,2 metros – para nível estático, 51,7 metros – para nível dinâmico e 0,1724 L/s/m – para vazão específica. A média das profundidades é a maior entre os domínios. A média das vazões específicas é significativamente superior à do Domínio do Complexo Paraíba do Sul. A razão para que isso ocorra pode estar associada à origem ígnea das rochas que compõem o domínio, em função de sua resposta diferenciada aos eventos deformacionais rúpteis que, produziram fraturas abertas, favorecendo a existência de poços de boa produtividade

***Domínio do Complexo Paraíba do Sul*** – O domínio está associado a rochas de origem sedimentar a vulcano-sedimentar que sofreram metamorfismo de alto grau. Apresenta alta densidade de traços estruturais associados à foliação intensa das rochas, sendo este um dos

principais fatores responsáveis pelo padrão - em algumas zonas – altamente arrasado do relevo, aliado à menor competência das litologias ao intemperismo. Devido a esses fatores, os solos são predominantemente mais profundos que os do Domínio das Rochas Intrusivas. Foram registrados treze poços tubulares nesse domínio, cujo valor médio para profundidade é de 63,69 metros, para nível estático de 14,11 metros, para nível dinâmico de 47,91 metros e para vazão específica de 0,0798 L/s/m. Observa-se que a profundidade média dos poços é consideravelmente inferior ao Domínio das Rochas Intrusivas. O que indica profundidades menores para a interceptação de fraturas produtoras de água, levando a crer que, neste domínio, possivelmente há um menor gradiente vertical que separa a superfície do terreno da superfície potenciométrica da água subterrânea.

***Domínio dos Mármore*** – Apesar da pouca representatividade dos dados obtidos acerca deste domínio e da marcante anisotropia em aquíferos de rochas carbonáticas, podem ser feitas algumas considerações sobre os resultados obtidos. Em dois poços analisados, foram encontradas médias muito inferiores aos outros dois domínios com relação aos níveis estático e dinâmico, com valores respectivos de 5 e 9 metros. Este fato pode ser resultante da maior alterabilidade que as rochas carbonáticas possuem com relação ao intemperismo, além da baixa taxa de deformação rúptil sofrida por este tipo de litologia. Outro dado interessante diz respeito à média das vazões específicas. O valor médio de 0,4073 L/s/m é o mais elevado entre as vazões específicas obtidas. Ele pode estar associado ao processo de dissolução que ocorre em rochas carbonáticas, que proporciona maiores espaços para o armazenamento de água.

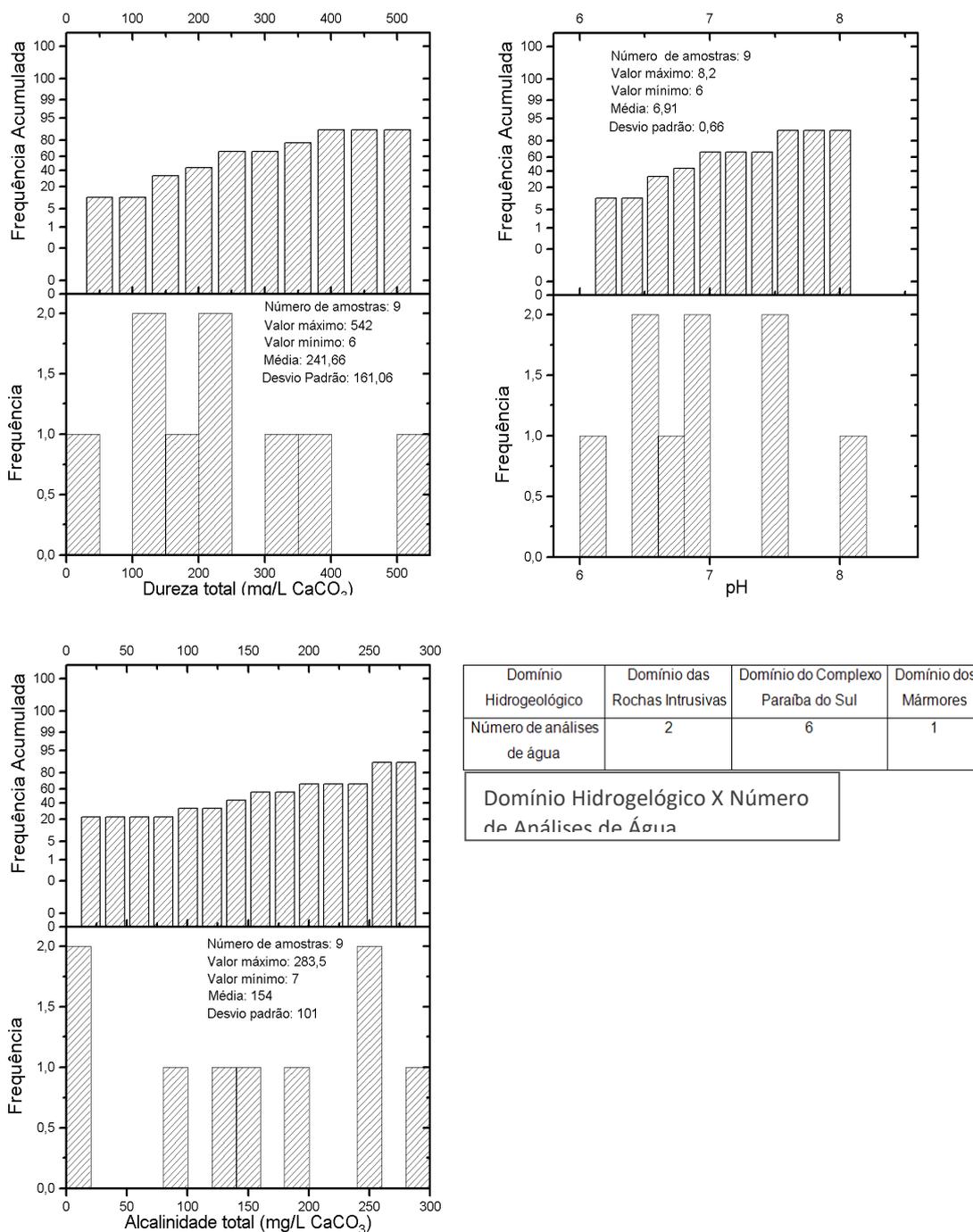
# Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES



**Figura 23.** Mapa de análise conjunta – geologia / lineamentos estruturais / hidrogeologia.

**Hidrogeoquímica.**

Foram avaliadas 10 análises físico-químicas das águas amostradas nos poços tubulares, realizadas por laboratórios contratados pelas empresas perfuradoras, onde foram obtidos os perfis construtivos desses poços. Nas análises encontram-se determinações de pH, alcalinidade e dureza totais em mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Figura 2) e dos teores de ferro total, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Cl<sup>-</sup> em mg/L .



**Figura 2:** Distribuição dos parâmetros avaliados

## Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES

### Qualidade da água.

A potabilidade das águas subterrâneas da área de estudo, quando comparadas com os dados do Ministério da Saúde (Portaria nº36/90), apresenta restrições para o seguinte número de amostras (Quadro 1):

**Quadro 1.** Itens para a avaliação da potabilidade da água (n = número de amostras) (Padrão de Potabilidade do Ministério da Saúde – Portaria nº 36/90)

Parâmetros Analisados	Limites/ valores Recomendados	Total de amostras fora dos limites Recomendados (%) n = 9
Cor	5 – 15	40%
Turbidez	1 – 5	40%
pH alterado	6,5 - 8,5	10%
Ferro total	< 0,3 mg/L	20%
Cálcio	< 100 ppm	30%
Magnésio	< 150 ppm	10%
Dureza total	500 mg/L de CaCO <sub>3</sub>	50%
Oxigênio dissolvido	< 6 ppm	20%
Cloretos	250 mg/L	40%
Nitratos	< 10 mg/L	20%
Cloreto residual	< 250 mg/L	10%

As águas subterrâneas da região estudada são, de forma geral, potáveis com algumas restrições. As principais restrições se referem aos elevados teores de ferro total e nitratos, uma vez que a presença aumentada de ferro pode ocasionar manchas em roupas e louças sanitárias brancas, além de provocar ligeira irritação gástrica. Já a presença de altos teores de nitratos pode gerar a redução dos mesmos em nitritos que são prejudiciais à saúde, além da presença desses na água poder estar associada à contaminação do manancial subterrâneo por esgoto. Ainda, se deve ter atenção com o teor de cloretos, cloro residual e dureza elevada.

### CONCLUSÕES

A situação geral do abastecimento público de água, na região estudada, é relativamente confortável. A abundância da água superficial com suficiente qualidade para tratamento e distribuição - fator fortemente condicionado pelo regime pluviométrico anual capaz de manter o fluxo das principais drenagens de forma perene - é um dos principais motivos para que ainda não haja um olhar mais atento para os recursos hídricos subterrâneos. Entretanto, visando economia e crescimento, o setor industrial privado já faz intenso uso desse recurso mineral. Como todos os poços investigados nessa pesquisa foram obras para a iniciativa privada, não se pode levar em consideração a locação das perfurações como sendo as mais adequadas, devido

às limitações dos empreendimentos e à tentativa de redução de custos. Dessa forma, a produtividade obtida em muitos dos poços avaliados pode obliterar o verdadeiro potencial que possuem os aquíferos da região. Os dados analisados revelam as seguintes características principais sobre os poços tubulares:

A profundidade da maioria dos poços avaliados está inserida no intervalo entre 60 e 80 metros;

Os poços de melhor produtividade possuem profundidade útil entre 30 e 80 metros;

O nível estático de 60% dos poços encontra-se acima dos 10 metros de profundidade;

A média para a espessura do manto de alteração é de 11,35 metros e, em 75% dos poços ela é inferior a 15 metros de espessura;

As vazões específicas possuem média de 0,1355 L/s/m e, em 90% dos poços, esta é inferior ao valor de 0,3000 L/s/m.

Com relação a áreas de favorabilidade à obtenção de água subterrânea, na região estudada, são destacados alguns aspectos:

As depressões topográficas, à priori, são locais de forte potencial para ocorrência de água subterrânea, uma vez que estão associadas às zonas de fraturamento e/ou drenagem superficial. Entretanto deve-se atentar para a possível ocorrência de águas salobras. Ainda, as depressões que se encontram recobertas por depósitos aluvionares são típicas áreas de recarga, favorecendo a manutenção da produtividade dos poços;

Uma zona de possível potencial hidrogeológico está associada ao contato entre as unidades em rosa e verde (Figura 1), caracterizada por uma zona de cavalgamento, à qual estão associadas as duas maiores produtividades de poços encontradas nessa pesquisa;

As rochas carbonáticas possuem naturalmente, elevado potencial para gerar espaços internos de armazenamento de água, devido à sua alta dissolução em meio aquoso. Desta forma, as lentes de mármore que ocorrem na região são, a princípio, zonas de alta favorabilidade para ocorrência de água subterrânea. Este fato é reforçado pela boa produtividade relacionada a dois poços encontrados neste contexto. Mas as águas podem apresentar-se muito duras.

Quimicamente, as águas da região estudada são levemente ácidas e duras. Elas possuem valores aceitáveis para os parâmetros de potabilidade salvo para algumas restrições para consumo, que ocorrem em algumas amostras. Todavia, existe um forte potencial para a exploração de água mineral, principalmente no Domínio das Rochas Intrusivas. O uso em atividades industriais e agrícolas é totalmente conveniente e pode ser largamente difundido. O volume explotado anualmente pelos 20 poços pesquisados seria, aproximadamente, de  $10 \times 10^5$  m<sup>3</sup>. De acordo com as informações contidas no último relatório do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), produzido pelo Ministério das Cidades, o consumo médio per capita de água no Estado do Espírito Santo é de 192,83 litros por dia. Realizando-se o cálculo de equivalência, o volume explotado pelos poços em Cachoeiro de Itapemirim, seria capaz de abastecer, cerca de, 14 mil pessoas. A região da Bacia do Itapemirim possui escassas informações acerca de seus recursos hídricos subterrâneos. Faz-se necessário que pesquisas de mais detalhe sejam realizadas. Informações como, a reserva renovável dos aquíferos, a disponibilidade de água subterrânea explotável, bem como uma detalhada caracterização hidroquímica, são de possível obtenção e caracterizam a base para que seja implementada uma política de gestão integrada dos recursos hídricos. Visa-se, dessa forma, possibilitar um manejo sustentável de utilização desse valioso bem mineral, a fim de preservá-lo e de auxiliar a promover o desenvolvimento sócio-econômico de toda a região.

## **Hidrogeologia do sistema aquífero cristalino no município de Cachoeiro de Itapemirim ES**

### **REFERÊNCIAS**

CPRM 1997. **Carta geológica Cachoeiro de Itapemirim, Folha SF24Z-V-A.** Escala1:250.000, Brasília.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Disponível em: <http://www.pnud.org.br/saneamento/reportagens/index.php?id01=123&lay=san>. Acessado em 10 nov. 2010.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, **Normas e padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano.** Portaria No 36, de 18/01/1990.

VIEIRA, V.S. 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Carta Geológica Cachoeiro de Itapemirim, Folha SF24Z-V-A.** Escala1:250.000, Brasília, CPRM.