

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDERSON DA SILVA LEOPOLDINO JUNIOR

**RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS COM OS PROCESSOS DE
LAVRA EM ALGUNS EXEMPLOS DE ROCHAS CARBONÁTICAS NO BRASIL**

Caçapava do Sul

2023

ANDERSON DA SILVA LEOPOLDINO JUNIOR

**RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS COM OS PROCESSOS DE
LAVRA EM ALGUNS EXEMPLOS DE ROCHAS CARBONÁTICAS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Arnt
Abichequer
Coorientador: Prof. Dr. Vinicius Matté

**Caçapava do Sul
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

J546r Junior, Anderson da Silva Leopoldino
RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS COM OS PROCESSOS DE LAVRA EM ALGUNS EXEMPLOS DE ROCHAS CARBONÁTICAS NO BRASIL / Anderson da Silva Leopoldino Junior.
60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.

"Orientação: Luciana Arnt Abichequer".

1. Calcário Travertino. 2. Calcário Tufa. 3. Calcário Dolomítico. 4. Lavra de Calcário. 5. Rochas Carbonáticas. I. Título.

ANDERSON DA SILVA LEOPOLDINO JUNIOR

**RELAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS COM OS PROCESSOS DE
LAVRA EM ALGUNS EXEMPLOS DE ROCHAS CARBONÁTICAS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de janeiro de 2023

Banca examinadora:

Profa. Dra. Luciana Arnt Abichequer
Orientadora
Unipampa

Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza
Unipampa

Prof. Me. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz
Unipampa



Assinado eletronicamente por **LUIZ DELFINO TEIXEIRA ALBARNAZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/01/2023, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUCIANA ARNT ABICHEQUER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/01/2023, às 14:17, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIS EDUARDO DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 18:53, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1039037** e o código CRC **FD7A6BDA**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida e por toda sabedoria que me concebeu e por se fazer presente nos momentos de dúvida e fraqueza, sempre me guiando. Agradeço por todas as pessoas que entraram em minha vida, facilitando a trajetória até aqui.

Agradeço à minha orientadora Dra. Luciana Arnt Abichequer e meu coorientador Dr. Vinicius Matté por toda paciência e vontade de me ajudar a concretizar meu sonho de formatura. Também quero deixar claro os meus agradecimentos aos professores que participaram da minha banca examinadora, Dr. Luis Eduardo de Souza e Me. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz.

Obrigado a Universidade Federal do Pampa e aos professores do curso de Geologia, só tenho que agradecer por ter conhecido essa Instituição e por todo suporte prestado aos estudantes, e tenho certeza de que vou sair muito melhor do que quando ingressei na Universidade, tanto na vida profissional como na pessoal.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

As rochas carbonáticas, exploradas em todo o Brasil e também no mundo, são formadas por processos sedimentares ou metassedimentares e podem ser utilizadas para diversas finalidades, como: na construção civil, indústria química, siderurgia e agricultura. Visto esse grande potencial econômico, a ideia deste trabalho é estudar diferentes tipos de calcários e entender como a geologia pode influenciar na escolha pelo método de lavra e equipamentos utilizados. Neste trabalho, foram estudados o calcário dolomítico, tufa e travertino. A Formação Caatinga é representada pelo calcário travertino ou Bege Bahia, muito importante economicamente para todo o Estado e principalmente a cidade de Ourorândia-BA, a lavra da empresa Polibege é feita por bancadas baixas e a extração é feita para uso como rocha ornamental. A Formação Serra da Bodoquena é representada pelo calcário tufa, que aflora principalmente às margens de rios, onde a matéria orgânica é abundante. A empresa Calcário Xaraés, situada em Bonito-MS, explora essas tufas pelo método de aragem, o que é possível devido à baixa dureza e profundidade dos depósitos. O Complexo Passo Feio é representado pelo calcário dolomítico, de alta qualidade e extremamente importante para economia local; a empresa Fida, situada em Caçapava do Sul-RS, utiliza explosivos para o desmonte e caminhões para o transporte até o beneficiamento, tornando os imensos blocos em pó para correção de acidez do solo. De acordo com Sampaio & Almeida (2005), não há rochas com maior aplicabilidade quanto o calcário; visto essa importância no cenário do Brasil e mundial, torna-se indispensável o conhecimento da geologia em todo o aspecto, contribuindo assim para um melhor aproveitamento da lavra, segurança e impacto ambiental.

Palavras-chave: Calcário travertino, calcário tufa, calcário dolomítico, lavra de calcário, rochas carbonáticas.

ABSTRACT

Carbonate rocks, explored all over Brazil and also in the world, they are formed by sedimentary or metasedimentary processes and can be used for various purposes, such as: in civil construction, chemical industry, steel industry and agriculture. Given this great economic potential, the idea of this work is to study different types of limestone and understand how geology can influence the choice of mining method and equipment used. In this work, dolomitic limestone, tufa and travertine were studied. The Caatinga Formation is represented by travertine limestone or Bahia Beige, very important economically for the entire state and especially the city of Ouro-lândia-BA, the mining of the company Polibege is done by low benches and the extraction is made for use as ornamental rock. The Serra da Bodoquena Formation is represented by the tufa limestone, which appears mainly on the banks of rivers, where organic matter is abundant. The company Calcário Xaraés, located in Bonito-MS, explores these tufas through the plowing method, which is possible due to the low hardness and depth of the deposits. The Passo Feio Complex is represented by dolomitic limestone, of high quality and extremely important for the local economy; the company Fida, located in Caçapava do Sul-RS, uses explosives for dismantling and trucks for transportation to processing, making the huge blocks powder for soil acidity correction. According to Sampaio & Almeida (2005), there are no rocks with greater applicability than limestone; given its importance in the Brazilian and world scenario, knowledge of geology in every aspect is essential, thus contributing to a better use of the mining, safety and environmental impact.

Keywords: Travertine limestone, tufa limestone, dolomitic limestone, limestone mining, carbonate rocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa com as três regiões selecionadas. Na cor laranja, que está localizada mais à nordeste do mapa, é representada a Formação Caatinga. Já a cor verde, localizada a oeste do mapa, representa a Formação Serra da Bodoquena. Ao sul do mapa está o Complexo Metamórfico Passo Feio	17
Figura 2 – Mapa representando o Complexo Metamórfico Passo Feio, sendo representado pelo calcário dolomítico, muito explorado na região.....	18
Figura 3 – Mapa representando a Formação Serra da Bodoquena, muito rico em tufas calcárias que afloram próximas as margens dos rios ou cachoeiras.	20
Figura 4 – Mapa representando a Formação Caatinga, muito rico da produção de rocha ornamental, o travertino nacional ou Bege Bahia como é conhecido	22
Figura 5 – A classificação de Folk (1959) identifica quatro grupos básicos: (i) carbonatos com grãos aloquímicos cimentados por calcita espática; (ii) carbonatos com grãos aloquímicos em matriz micrítica; (iii) carbonatos microcristalinos sem aloquímicos; (iv) estruturas orgânicas desenvolvidas <i>in situ</i> , denominados biolititos (Lopes, 1995)	25
Figura 6 – Classificação de Dunham (1962) com base nas classificações de textura deposicional reconhecível e não reconhecível	26
Figura 7 – Classificação de Embry & Klovan (1971) com base nos grãos que provieram de fora da bacia sedimentar e grãos que se originaram dentro da bacia sedimentar.....	27
Figura 8 – Diagrama triangular MSC proposto por Riding (2002), é baseado nos três principais componentes das rochas recifais: matriz; esqueleto; e cimento.....	27
Figura 9 – Classificação proposta por Wright (1992), no qual as rochas carbonáticas são agrupadas pelo seu modo de origem (deposicional, biológica e diagenética)	28
Figura 10 – Contato tectônico do granito sobre o mármore cinza-escuro na pedreira Mônego Mineração.....	30
Figura 11 – Camada de mármore intercalada com quartzito.....	30
Figura 12 – Vista das intercalações de bandas claras (linha branca) e escuras (linha vermelha), realçando bem a estratificação/bandamento com direção S_0/S_1	31
Figura 13 – Em azul, destaca-se o afloramento de comportamento contínuo das tufas calcárias na Serra da Bodoquena	32
Figura 14 – Mineração pelo método de aragem na empresa Calcário Xaraés	33
Figura 15 – Lavra de rocha ornamental do calcário Bege Bahia	35
Figura 16 – Geometria simplificada de uma lavra em cava, detalhando três aspectos: bancada de trabalho, bancada inativa e estrada de transporte.	37
Figura 17 – Lavra por aragem de calcário do tipo tufa, jazida com baixo ângulo de mergulho e profundidade.....	39
Figura 18 – Técnicas para o corte de rocha ornamental, com detalhamento para o corte 'não contínuo' e para o corte 'contínuo'.....	41
Figura 19 – Vista da lavra em cava da empresa Fida, onde é possível identificar as bancadas, essenciais para a otimização do trabalho	48
Figura 20 – Exploração das tufas calcárias pelo método de aragem, não exige operações complexas	50
Figura 21 – Exploração do calcário Bege Bahia como rocha ornamental, as bancadas são baixas, tornando possível o corte dos blocos por cortadoras à corrente	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos de forma resumida referentes às regiões selecionadas, através de revisão bibliográfica e reunião com profissionais de maneira virtual.....	44
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Profa. – Professora

Prof. – Professor

Dra. – Doutora

Dr. – Doutor

Me. – Mestre

Ca – Cálcio

H – Hidrogênio

N – Nitrogênio

Fe – Ferro

C – Carbono

O – Oxigênio

U – Urânio

Pb - Chumbo

Mg – Magnésio

MSC – Matriz, In Situ e Cavidade

Fabric – Arranjo Estrutural

MS – Mato Grosso do Sul

RS – Rio Grande do Sul

BA – Bahia

Ma – Milhões de Anos

CBC – Companhia Brasileira de Cobre

ANM – Agência Nacional de Mineração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivos específicos	15
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	ÁREA DE ESTUDO.....	16
4.1	Complexo Metamórfico Passo Feio – Rio Grande do Sul.....	17
4.2	Formação Serra da Bodoquena – Mato Grosso do Sul	19
4.3	Formação Caatinga – Bahia.....	21
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
5.1	Classificações das rochas carbonáticas	24
5.1.1	Classificações das rochas carbonáticas detríticas	24
5.1.1.1	Classificação de Folk.....	25
5.1.1.2	Classificação de Dunham	25
5.1.2	Classificações de rochas carbonáticas biogênicas.....	26
5.1.2.1	Classificação de Embry & Klovan	26
5.1.2.2	Classificação de Riding	27
5.1.3	Classificação genética de Wright.....	28
5.2	Características geológicas das formações selecionadas para o estudo	29
5.2.1	Calcário dolomítico – Complexo Metamórfico Passo Feio.....	29
5.2.2	Calcário tufa – Serra da Bodoquena.....	32
5.2.3	Calcário travertino – Formação Caatinga.....	33
5.3	Métodos de lavra a céu aberto	35
5.3.1	Lavra em cava	37
5.5.2	Lavra por aragem.....	38
5.5.3	Lavra de rocha ornamental.....	39
6	METODOLOGIA	41
6.1	Fluxograma.....	42
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
7.1	Origem do calcário e método de lavra empregado.....	46
7.1.1	Lavra em cava - empresa Fida	46
7.1.2	Lavra por aragem - empresa Xaraés	49
7.1.3	Lavra de rocha ornamental - empresa Polibege.....	50
7.2	Influência do tipo de calcário e o método de lavra na escolha dos equipamentos	53
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Sampaio e Almeida (2005), não há rochas com uma variedade de aplicações tão ampla quanto o calcário e o dolomito. Isto porque são rochas utilizadas na: (i) construção civil em inúmeras maneiras, como blocos, material para agregados, cimento, cal e rochas ornamentais; (ii) na indústria química como fluxantes, fundentes, matéria-prima para produção de vidros, agentes para remover enxofre e fósforo; (iii) utilizados na siderurgia ou como abrasivos; (iv) na agricultura como corretivos de solo e remineralizantes.

Rochas carbonáticas são exploradas em todo o Brasil, formadas por processos sedimentares (calcário e dolomito) ou metassedimentares (mármore) com origem química ou bioquímica, compostas essencialmente por minerais carbonáticos como a calcita (CaCO_3), a dolomita ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) e a aragonita (CaCO_3). Sendo que a calcita e a aragonita possuem a mesma mineralogia, mas se diferenciam pelo seu sistema cristalino, enquanto a calcita se cristaliza no sistema hexagonal com hábito escalenoédrico e romboédrico a aragonita se cristaliza no sistema ortorrômbico com hábito bipiramidal.

A maior parte das minas de calcário são lavradas em cavas a céu aberto e chamadas, em todo mundo, de pedreiras, embora, em muitas áreas, por razões técnicas, ambientais e/ou escala de produção, utiliza-se a lavra subterrânea para produção de calcário.

As principais etapas de lavra a céu aberto incluem: remoção do capeamento, desmonte e transporte até a usina de processamento, sendo o conhecimento geológico de extrema importância para a seleção dos equipamentos que serão utilizados. Fatores como capacidade de produção, tamanho e forma do depósito, distância de transporte, estimativa de vida útil da mina, distância dos centros urbanos e fatores socioeconômicos serão de extrema importância para a análise da viabilidade econômica da mina. É necessário considerar outros fatores, como o valor do produto atualizado, condições ambientais e a segurança da jazida de interesse.

O processamento das rochas carbonáticas, em particular, o calcário, irá depender do seu uso e do interesse final do produto. A lavra seletiva, catação manual e a britagem são métodos usuais para obtenção de produtos que não requerem rígidos controles, e que são de características pouco nobres. Para obtenção de produtos considerados nobres, será necessário um circuito mais

complexo do beneficiamento, neste caso, exige-se a prática da moagem caso haja contaminação de ferro. Assim, utilizam-se moinhos tipo Raymond e, nos casos mais críticos, utilizam-se moinhos autógenos.

A flotação e a separação magnética são processos utilizados para concentração de calcário para remover impurezas, caso necessário, assim, obtendo-se produtos de carbonato de cálcio, por meios físico-químico de purificação e beneficiamento, com elevados índices de pureza para atender a necessidade do mercado ao que se destina.

A calcita (CaCO_3) é o principal constituinte mineralógico dos calcários. O calcário pode ser encontrado distribuído por todos os continentes com depósitos datados desde o Arqueano até o Holoceno. O calcário calcítico possui entre 45% e 55% de cálcio, o calcário magnesiano possui um teor intermediário de magnésio entre 5% e 12% e o calcário dolomítico possui teores de magnésio acima de 12%.

Dentre os tipos e ocorrências de rochas carbonáticas no Brasil, citam-se os seguintes exemplos:

1 - em Caçapava do Sul - RS, mais precisamente no Complexo Metamórfico Passo-Feio, pertencente ao Escudo Sul Riograndense, Bortolotto (1986), no estudo "Petrologia dos Mármore de Caçapava do Sul", concluiu que os calcários previamente depositados naquela região foram afetados pela intrusão do Granito Caçapava e apófises que dele emanaram, resultando desse processo a geração de rochas de metamorfismo de contato (mármore). Atualmente sabe-se que estas rochas carbonáticas formaram-se a partir de uma transformação de dolomito para mármore, durante metamorfismo regional vinculado à Orogenia Brasileira, que nesta região envolveu a colisão de pelo menos duas placas tectônicas. Devido seu alto grau de fraturamento e grande número de intrusões (diques e apófises), essas rochas não são aproveitadas como rocha ornamental, porém seu alto teor de magnésio é ótimo quando utilizado para corrigir acidez do solo;

2 - calcário do tipo tufa no Brasil, mencionado pela primeira vez por Almeida (1945), no trabalho "*Geologia do Sudoeste Matogrossense*", aflora abundantemente na Serra da Bodoquena – MS, restrito à cachoeira e nascentes, onde criam um grande valor paisagístico e ambiental que atraem muitos turistas. Na parte de exploração, devido a sua alta qualidade, é utilizado para neutralização do solo e na pecuária como fonte de alimentação;

3 - o calcário do tipo travertino da Formação Caatinga – BA (Paleógeno – Quaternário da Bacia do Irecê), teve início de sua exploração nos anos 1950 para utilização de calçamentos (Pedra Portuguesa) e no final da década passou a ser extraído em blocos para placas de revestimento (MAGALHÃES, 2007). O calcário travertino é considerado a principal extração de rocha ornamental do Estado da Bahia e por possuir uma cor bege, esse mármore foi apelidado de Bege Bahia (RIBEIRO et al., 2002).

2 OBJETIVOS

Estudar as relações entre diferentes formações geológicas de rochas carbonáticas e como suas características podem afetar nos diferentes processos de lavra do calcário.

2.1 Objetivos específicos

- Estabelecer uma relação entre a origem do calcário e a definição do método de lavra empregado;
- Correlacionar as características geológicas e estruturais dos diferentes tipos de calcário e os métodos de lavra com as escolhas dos equipamentos utilizados na lavra.

3 JUSTIFICATIVA

Utilizando o conhecimento geológico é possível programar adequadamente a produção, identificar aspectos que atuam de forma positiva e negativa para a exploração da jazida e ainda compreender os fatores de riscos ambientais que possam vir a existir, como desmoronamentos, falhas nos maciços, umidade excessiva dentre outros.

Segundo o Sumário Mineral do Calcário Agrícola do Brasil (BRASIL, 2021), a produção de calcário agrícola se dá em quase todos os Estados brasileiros, logo, se faz importante o estudo dos processos de interação dessa rocha sedimentar ou metassedimentar com os processos de mineração, não só devido à sua alta aplicabilidade, mas também pelo impacto na economia e no meio ambiente de todo território nacional.

O calcário é uma das rochas com maior aplicabilidade e isso induz a necessidade de investimentos e pesquisas. Tratando-se apenas dos estados brasileiros citados neste trabalho, de acordo com a Agência Nacional de Mineração, no ano de 2020, o estado da Bahia investiu 1.271.218,88 milhões de reais em pesquisa do calcário, seguido pelo Mato Grosso do Sul com 464.850,00 mil reais e Rio Grande do Sul com 165.449,09 mil reais.

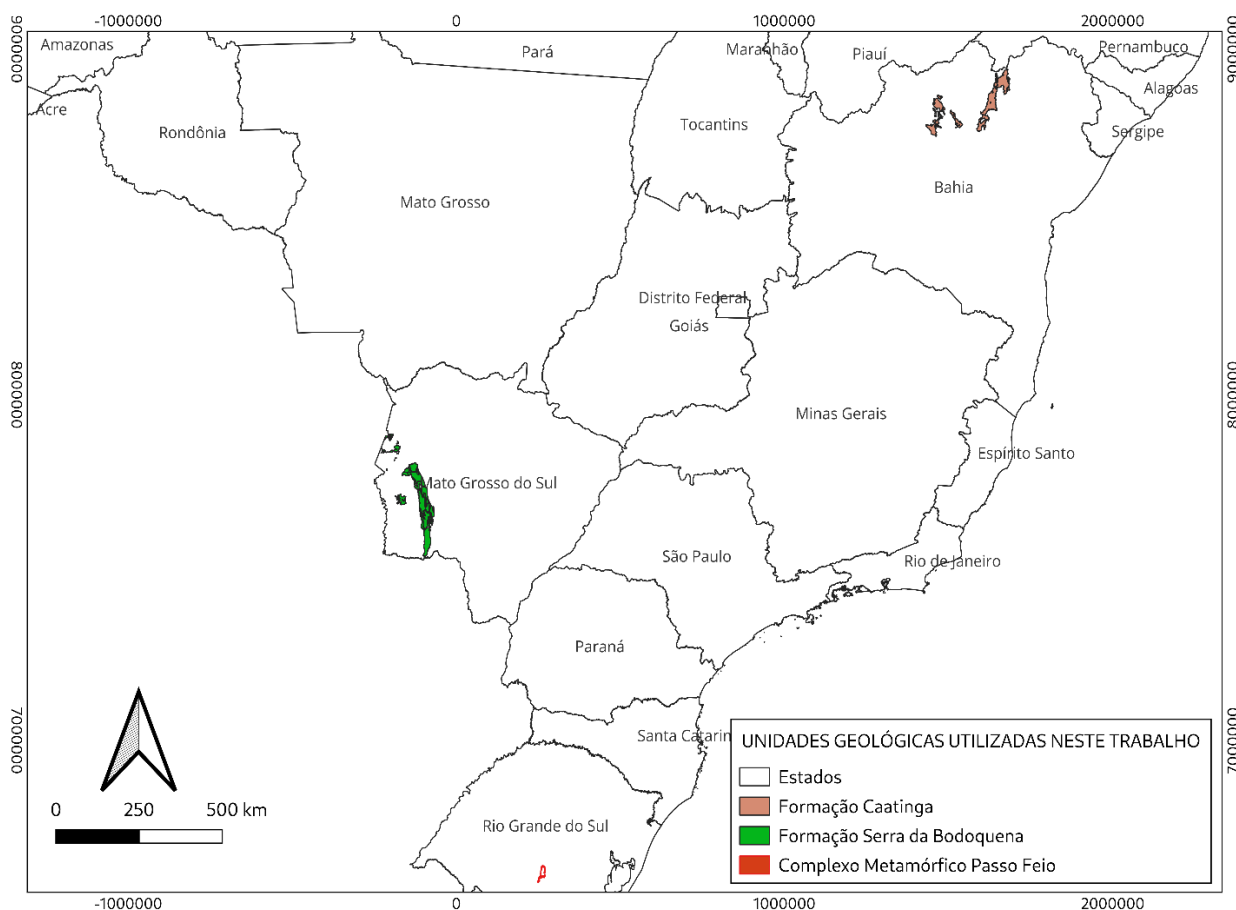
Devido a essas inúmeras aplicabilidades, são de enorme importância econômica para os municípios, promovendo a geração de empregos e alavancando crescimento econômico das cidades. O conhecimento geológico é indispensável, assim, garantindo a melhor escolha em termos de lavra e beneficiamento, contribuindo muito no projeto de pré-extração. A possibilidade de redução de custos operacionais que o conhecimento geológico proporciona, é um fator de extrema importância, ainda mais se tratando de um produto de baixo valor agregado.

Com tudo isso, este trabalho foi realizado sabendo da importância das condicionantes geológicas e como podem afetar economicamente a lavra, ou até mesmo, defini-la quanto à sua viabilidade ou inviabilidade de operação.

4 ÁREA DE ESTUDO

A figura 1 mostra as três regiões selecionadas para este trabalho, em três Estados diferentes, o que resulta em uma maior diferença da composição de cada calcário.

Figura 1 – Mapa com as três regiões selecionadas. Na cor laranja, que está localizada mais à nordeste do mapa, é representada a Formação Caatinga. Já a cor verde, localizada a oeste do mapa, representa a Formação Serra da Bodoquena. Ao sul do mapa está o Complexo Metamórfico Passo Feio.



Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

4.1 Complexo Metamórfico Passo Feio – Rio Grande do Sul

O complexo metamórfico Passo Feio está localizado na porção centro-oeste do Escudo Sul Riograndense. É composto por uma sequência de metapelitos, mármore, rochas calcissiliclásticas, quartzitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas e xistos magnesianos (BITENCOURT, 1983). As rochas desse complexo circundam o Granito Caçapava, que possui uma idade U-Pb SHRIMP de 562 ± 8 Ma (REMUS *et al.* 2000).

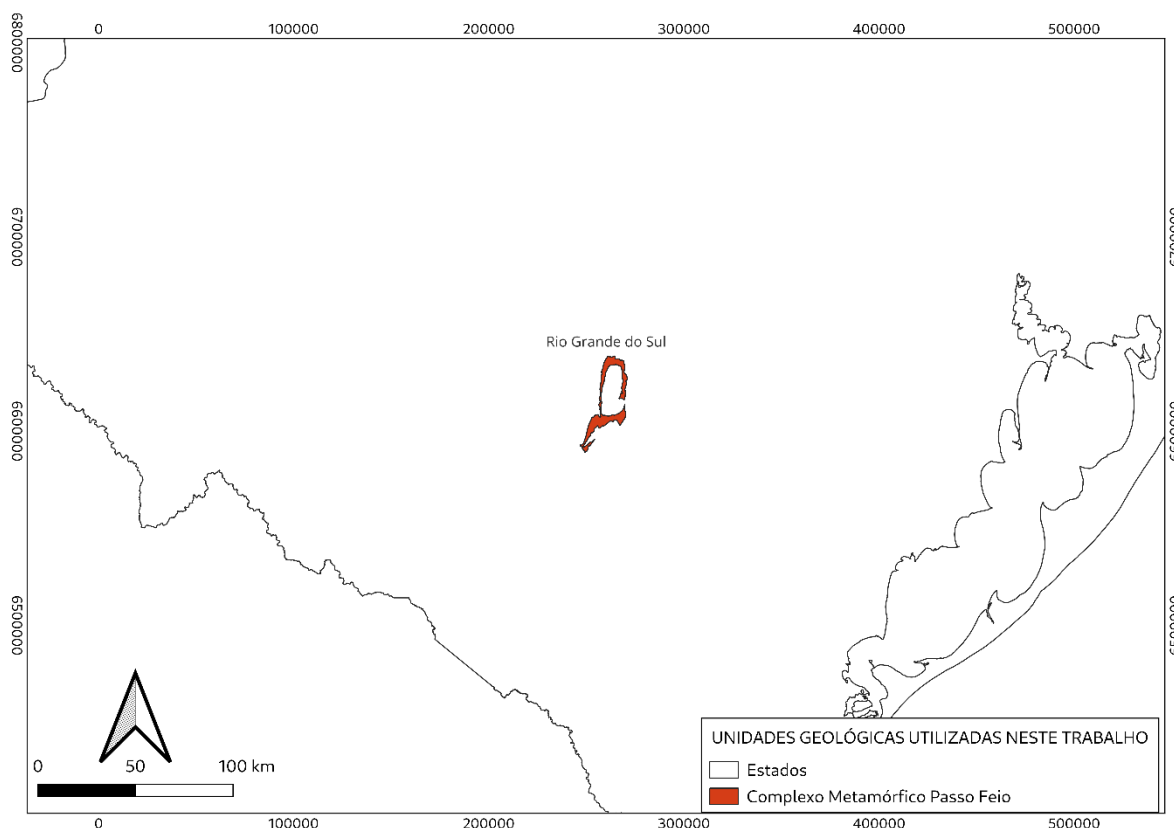
Os primeiros trabalhos de mapeamento geológico nessa região foram realizados por Ribeiro *et al.* (1966) e Ribeiro (1970) que descreveram os metassedimentos como de origem clástica e incluíram inicialmente o Complexo

Metamórfico Passo Feio na Formação Vacacaí. A região também já foi mapeada por alunos de graduação dos cursos de Geologia da UNISINOS (1979) e UFRGS (1998).

O metamorfismo regional orogênico compreende desde a fácies de xisto verde até a fácies de anfibolito, no qual observa-se o aumento do grau metamórfico em direção ao Granito Caçapava. Em 1983, Bitencourt descreveu as rochas do Complexo Passo Feio originadas em dois eventos de metamorfismo, M1 e M2. O evento M1 atingiu fácies de anfibolito, zona de estaurólita. Remus *et al.* (2000) diz que ocorreu há cerca de 700 Ma. O evento M2 é retrogressivo, e ocorreu em condições da fácies xisto verde. Na figura 2 (a, b) está representada a área de localização do Complexo Metamórfico Passo Feio.

Figura 2 – Mapa representando o Complexo Metamórfico Passo Feio, sendo representado pelo calcário dolomítico, muito explorado na região.

(a)

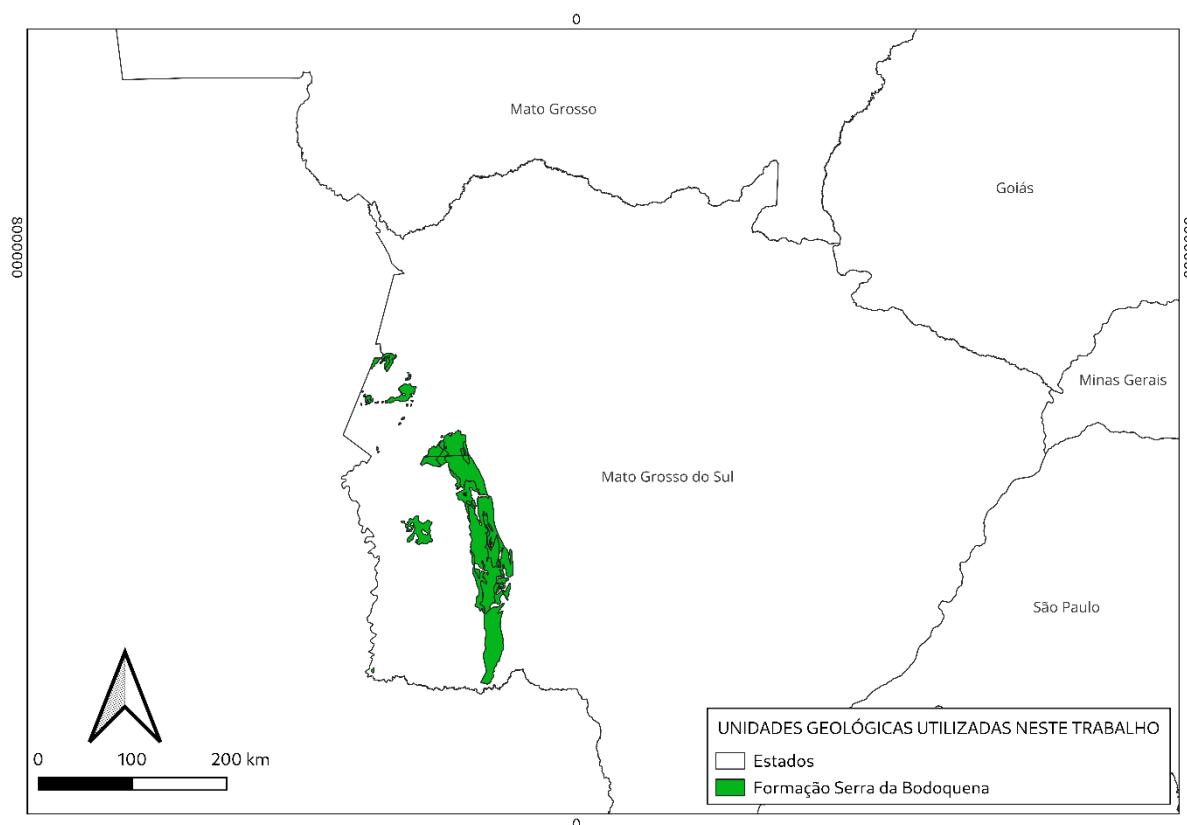


Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

Apa, caracterizado por relevo cárstico que se associam aos depósitos superficiais do final do Pleistoceno e início do Holoceno (ALMEIDA, 1965; BOGGIANI et al., 1995; RIBEIRO et al., 2001). Estes se desenvolvem sobre os depósitos do proterozoico (Complexo Rio Apa, Grupo Cuiabá e Grupo Corumbá), sendo que o contexto tectônico da Faixa Paraguai é indispensável para o atual estado geológico dos depósitos tufáceos (CORREA, 2006; CORREA et al., 2006) ilustrado na figura 3 (a, b).

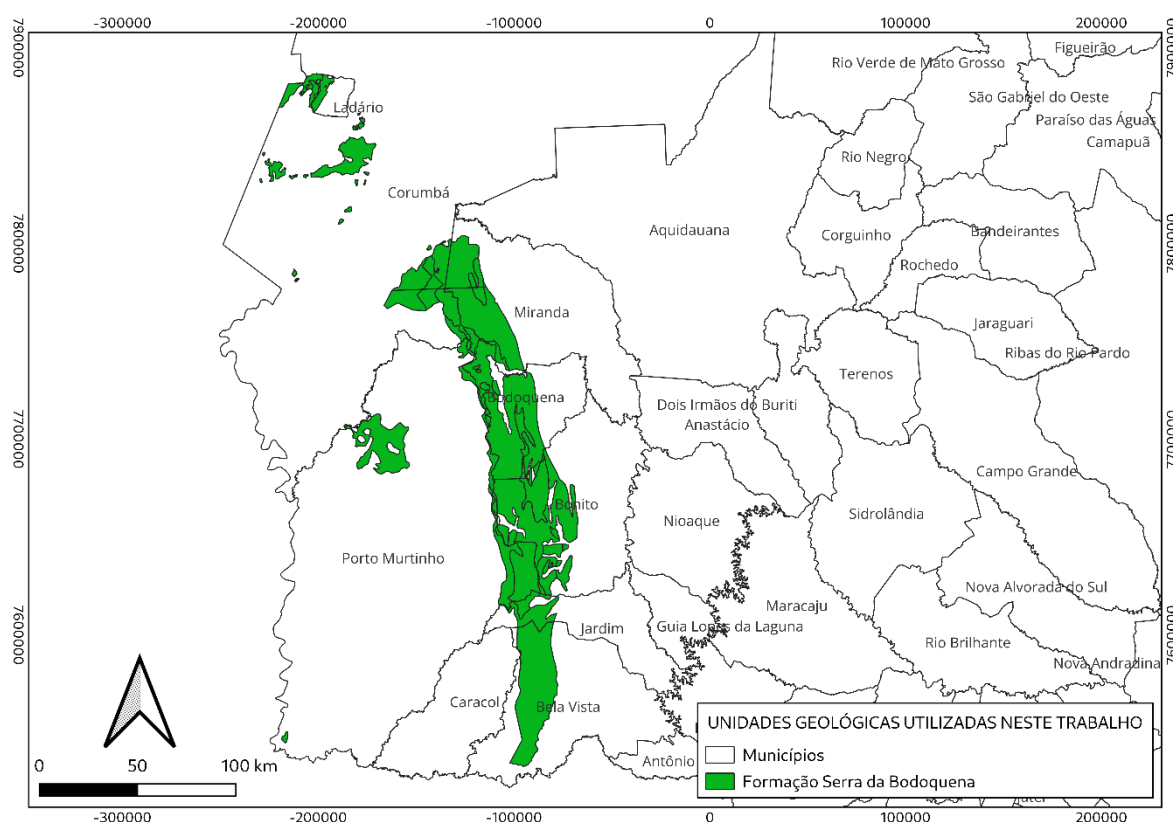
Figura 3 – Mapa representando a Formação Serra da Bodoquena, muito rico em tufas calcárias que afloram próximas as margens dos rios ou cachoeiras.

(a)



Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

(b)



Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

4.3 Formação Caatinga – Bahia

Os calcários da Formação Caatinga (Paleógeno-Quaternário, Bacia de Irecê), conhecidos como Bege Bahia ou Travertino Nacional, estão amplamente distribuídos pelo centro-norte do Estado da Bahia e consistem em importantes rochas ornamentais do Brasil (ABIROCHAS, 2019).

A Bacia do Irecê é classificada como epicontinental cratônica (SOUZA et al., 1993), constituindo-se como a principal ocorrência de cobertura sedimentar neoproterozoica na porção norte do Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1997).

A sedimentação da bacia é composta por depósitos glaciais na base, que foram sobrepostos por uma espessa sequência carbonática do tipo *cap carbonates* (HOFFMAN et al., 1998), ambos depositados em contexto de maré.

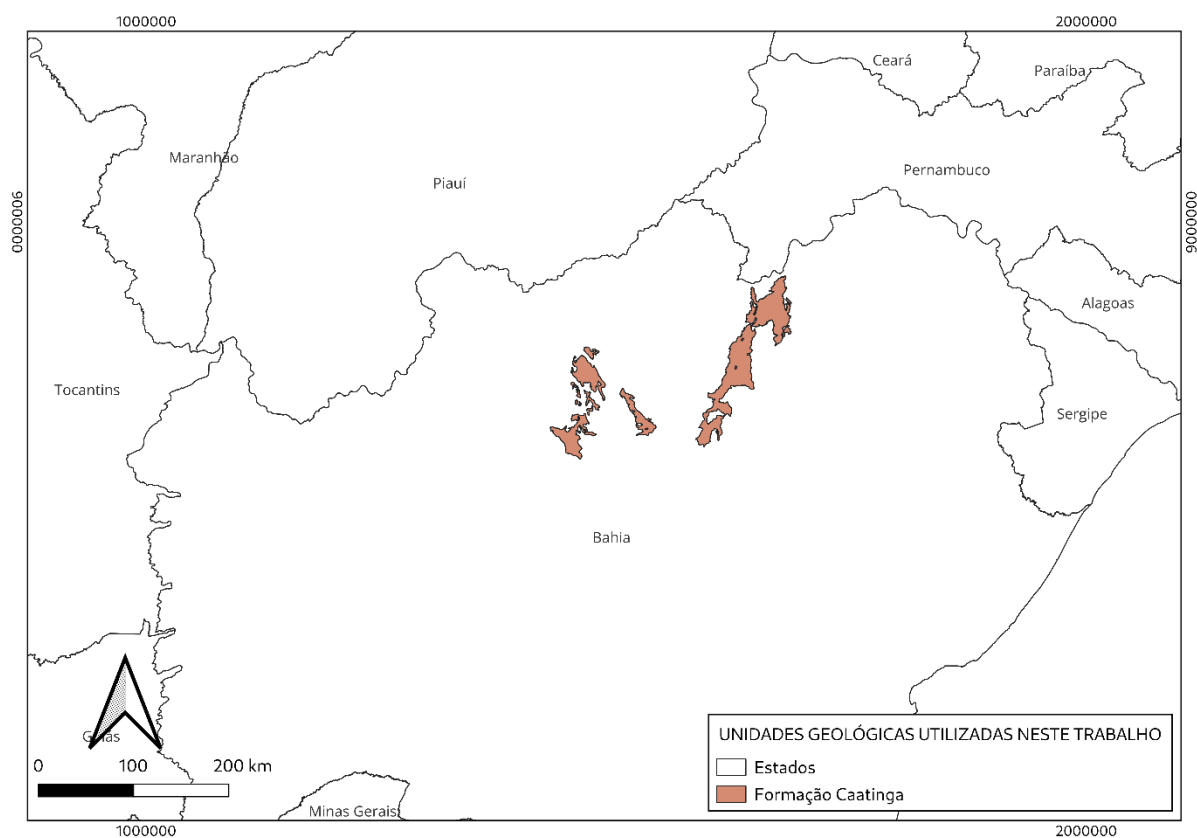
Os carbonatos da Formação Caatinga ocorrem como coberturas paleógenas-quaternárias sobrepostas ao Grupo Uma.

A Formação Caatinga aflora amplamente na margem direita da bacia do Rio São Francisco e está distribuída nos vales dos Rios Verde, Jacaré e Salitre. Esses carbonatos têm como características principais a sua espessura, variando de centímetros a 5 metros, coloração branca e aspecto pulverulento (PEDREIRA et al., 1985).

Os principais pólos de extração dos calcários Caatinga são os de Orolândia e Mirangaba, todos localizados no vale do Rio Salitre (RIBEIRO et al., 2002). Segundo Pedreira et al., (1975), os carbonatos da Formação Caatinga originaram-se a partir da dissolução e reprecipitação de rochas carbonáticas da Formação Salitre (Neoproterozoico, Bacia Irecê), e sua área de ocorrência é ilustrada na figura 4 (a, b).

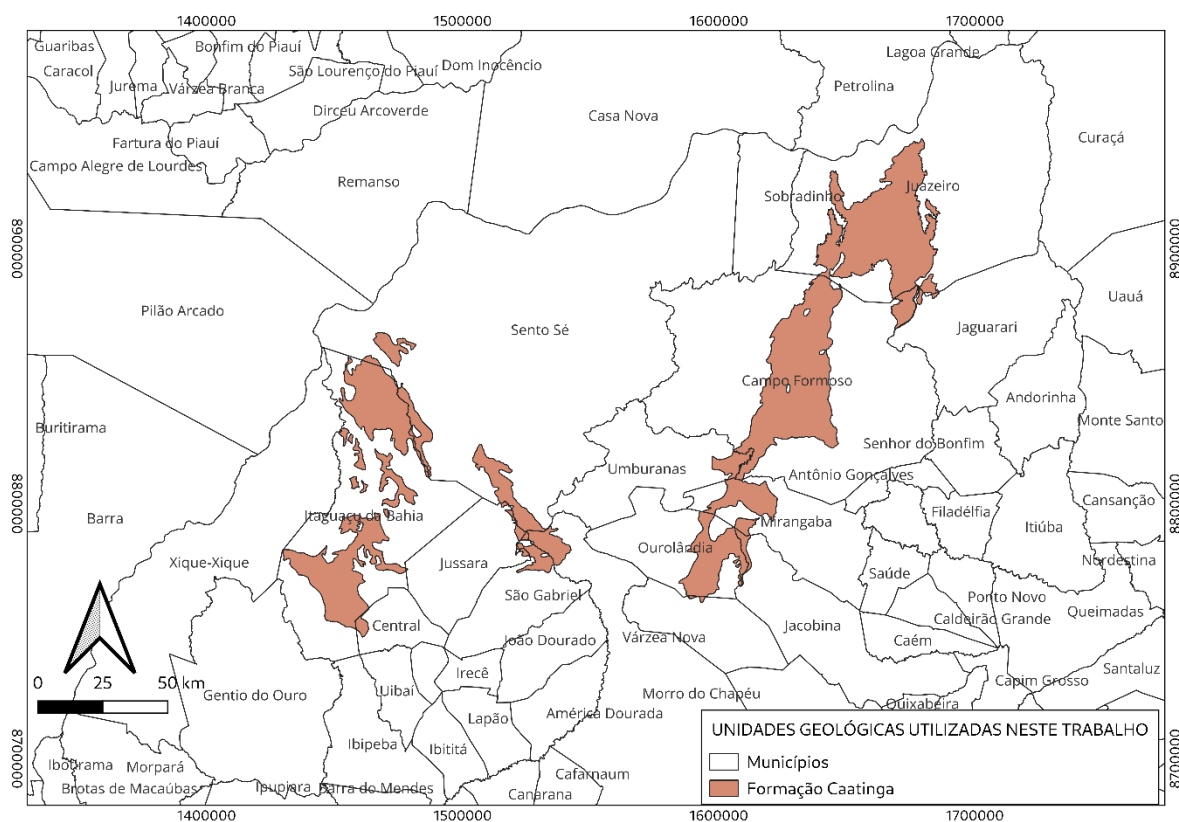
Figura 4 – Mapa representando a Formação Caatinga, muito rico da produção de rocha ornamental, o travertino nacional ou Bege Bahia como é conhecido.

(a)



Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

(b)



Fonte: Autor (Base de dados CPRM 2023)

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Sampaio e Almeida (2005), mármore é um termo que designa os calcários que sofreram um processo de metamorfismo, alterando seu arranjo cristalino, química e/ou sua composição. Calcário é uma rocha sedimentar formada sempre por mais de 50% de minerais carbonáticos, principalmente calcita e dolomita e sua formação se dá através de precipitação química ou orgânica.

A rocha carbonática é um tipo de rocha sedimentar de origem química ou bioquímica composta essencialmente por minerais carbonáticos. Os principais minerais carbonáticos são a calcita (CaCO_3), a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e a aragonita (CaCO_3). A siderita (FeCO_3), a magnesita (MgCO_3) e a ankerita ($\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$) também são minerais do grupo dos carbonatos, embora com menor participação na composição das rochas. Além dos minerais do grupo dos carbonatos, as rochas

carbonáticas também podem apresentar argilominerais, quartzo, minerais fosfáticos, óxidos e sulfetos.

O calcário por ser muito abundante em todo território nacional e inclusive internacional, é alvo de pesquisas para novas descobertas de sua utilização. Pesquisas em andamento sobre o desenvolvimento de novos produtos destacam o carbonato de cálcio moído com partículas na granulometria nanométrica, com a finalidade de conceder performance mais elevada aos compostos nos quais esse produto é aplicado.

O maior potencial de aplicação dos nanocarbonatos está inserido na indústria automobilística, da qual se espera a maior demanda do produto e seu alto valor de mercado influencia as empresas investirem cada vez mais em pesquisas, uma vez que, as reservas de calcário são facilmente encontradas.

5.1 Classificações das rochas carbonáticas

Existem algumas classificações para rochas carbonáticas, e o pioneiro a criar um esquema para a classificação de carbonatos foi Grabau (1904). Esta classificação é uma das mais abrangentes, porém é bastante confusa e, por isto, outras classificações surgiram como:

1 – sistemas de classificações de carbonatos detríticos desenvolvidos por Folk (1959, 1962) e Dunham (1962), considerados os mais populares e modernos;

2 – as classificações para rochas carbonáticas orgânicas propostas por Embry & Klovan (1971) e Riding (2002); e

3 – esquema de classificação que inclui aspectos deposicionais, diagenéticos e biológicos proposto por Wright (1992).

5.1.1 Classificações das rochas carbonáticas detríticas

As propostas por Folk (1959) e Dunham (1962) tiveram uma enorme importância na classificação das rochas carbonáticas detríticas, que diferem das demais por apresentarem em sua composição grãos aloquímicos.


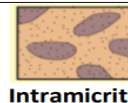
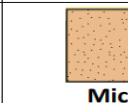

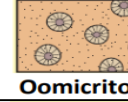


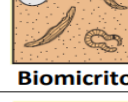

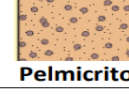
Estas rochas são compostas por arcabouço, matriz e cimento. O arcabouço pode ser formado por grãos aloquímicos e por componentes de origem não

carbonática. Os principais grãos aloquímicos são oólitos, oóides, intraclastos, bioclastos e pellets.

5.1.1.1 Classificação de Folk

A classificação proposta por Folk (1959, 1962) está relacionada a uma classificação litológica, baseada essencialmente nos componentes das rochas carbonáticas, que são grãos aloquímicos, matriz e cimento ou espaços porosos, conforme figura 5.

Figura 5 – A classificação de Folk (1959) identifica quatro grupos básicos: (i) carbonatos com grãos aloquímicos cimentados por calcita espática; (ii) carbonatos com grãos aloquímicos em matriz micrítica; (iii) carbonatos microcristalinos sem aloquímicos; (iv) estruturas orgânicas desenvolvidas *in situ*, denominados biolíticos (Lopes, 1995).

		Rochas Aloquímicas		Rochas Ortoquímicas
		Calcita espática	calcita microcristalina	Matriz Micrítica sem grãos aloquímicos
Tipo de grão aloquímico	Intraclastos	 Intrasparito	 Intramicrito	 Micrito
	Oóides	 Oosparito	 Oomicrito	 Dismicrito
	Fósseis	 Bioesparito	 Biomicrito	Rochas Recifais Autóctones
	Pelotilhas	 Pelesparito	 Pelmicrito	

Fonte: Modificado de Scholle & Ulmer-Scholle, (2003).

5.1.1.2 Classificação de Dunham

A classificação de Dunham (1962), que foi citada na dissertação de Lopes (1995), é baseada principalmente na textura deposicional da rocha carbonática, levando em conta três aspectos principais: presença ou ausência de lama carbonática; abundância de grãos; e evidência de aprisionamento de sedimentos durante a deposição, conforme figura 6. É uma classificação muito prática e fornece indicações sobre a energia do ambiente onde se formaram as rochas carbonáticas.

Figura 6 – Classificação de Dunham (1962) com base nas classificações de textura deposicional reconhecível e não reconhecível.

Textura deposicional reconhecível				Textura deposicional não reconhecível
Componentes originais não ligados à deposição			Componentes originais ligados à deposição	Carbonato cristalino
Contém lama (matriz)		Sem lama (suportado por grãos)	Boundstone	
Suportado por matriz	Suportado por grãos			Packstone
< 10% de grãos	> 10% de grãos	Grainstone		
Mudstone	Wackestone			

Fonte: Modificado de Scholle & Ulmer-Scholle, (2003).




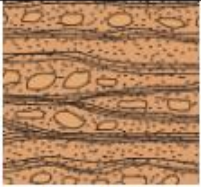

5.1.2 Classificações de rochas carbonáticas biogênicas

Riding (2002) definiu as rochas biogênicas como sendo depósitos de calcário *in situ* formado por organismos sésseis. São estruturas complexas e diversificadas com uma longa história geológica.

5.1.2.1 Classificação de Embry & Klovan

A classificação de Embry & Klovan (1971) foi adaptada da classificação de Dunham para relacionar as rochas carbonáticas biogênicas e assim, desenvolveram um esquema mais detalhado para descrever as diferentes formas de crescimento orgânico e os carbonatos detríticos relacionados (AHR, 2008). A figura 4 considera os termos Bafflestone, Bindstone e Framestone, que se referem ao crescimento dos organismos de recifes. Os termos Floatstone e Rudstone são relacionados a rochas detríticas também associadas aos recifes (figura 7).

Figura 7 – Classificação de Embry & Klovan (1971) com base nos grãos que provieram de fora da bacia sedimentar e grãos que se originaram dentro da bacia sedimentar.

Alóctones		Autóctones		
> 10% dos grãos maiores que 2 mm		Organismos que agem como defletores	Organismos encrustados	Organismos que constróem uma estrutura rígida
Suportada pela matriz (lama)	Suportada por grãos maiores que 2 mm			
				
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

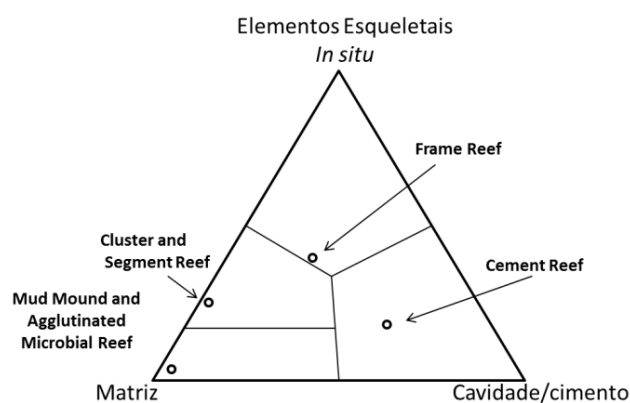
Fonte: Modificado de Scholle & Ulmer-Scholle, (2003).

5.1.2.2 Classificação de Riding

A classificação de Riding (2002) foi desenvolvida como uma classificação alternativa para rochas carbonáticas recifais. Riding definiu recife como um depósito calcário *in situ*, com o relevo topográfico, criado por organismos sésseis.

Sua classificação se baseia nos três principais componentes das rochas recifais: matriz, esqueleto e cimento (figura 8).

Figura 8 – Diagrama triangular MSC proposto por Riding (2002), é baseado nos três principais componentes das rochas recifais: matriz; esqueleto; e cimento.



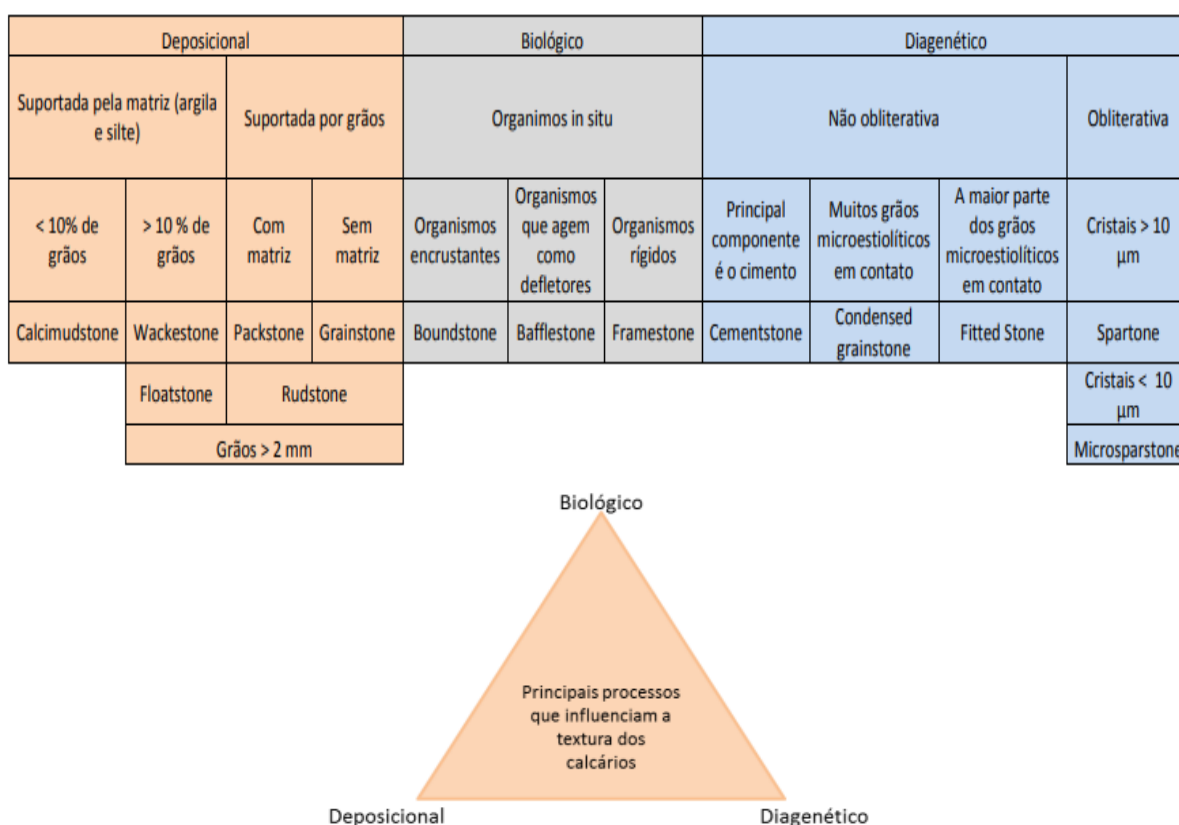
Fonte: Modificado de Riding (2002)

5.1.3 Classificação genética de Wright

A classificação genética de Wright foi proposta após o reconhecimento de algumas deficiências descritivas na classificação de Folk e Dunham, então, Wright (1992) elaborou um esquema que integra a classificação deposicional de Dunham e a classificação biológica de Embry & Klovan (1971) com uma nova classificação para rochas que sofreram processos diagenéticos.

Segundo Ahr (2008), esta classificação é mais lógica e útil para geocientistas de reservatório do que qualquer outra classificação existente, posto que ela agrupa rochas carbonáticas pelo seu modo de origem (deposicional, biológica e diagenética) (figura 9).

Figura 9 – Classificação proposta por Wright (1992), no qual as rochas carbonáticas são agrupadas pelo seu modo de origem (deposicional, biológica e diagenética).



Fonte: Modificado de Scholle & Ulmer-Scholle, (2003).

Devido ao fato de as rochas carbonáticas apresentarem características petrofísicas e geológicas complexas e heterogêneas, o conhecimento geológico juntamente com uma boa caracterização geotécnica irá definir a qualidade do

calcário e sua classificação. Os principais aspectos de sua classificação são: porosidade; mineralogia; textura; fabric; velocidades das ondas sísmicas; módulos de elasticidade; e resistência à compressão simples.

5.2 Características geológicas das formações selecionadas para o estudo

Foram selecionadas três diferentes formações de calcário, em três estados do Brasil, sendo eles: Rio Grande do Sul – Complexo Passo Feio; Mato Grosso do Sul – Formação Serra da Bodoquena; e Bahia – Formação Caatinga.

5.2.1 Calcário dolomítico – Complexo Metamórfico Passo Feio

Pertencente ao Escudo Sul Riograndense, o Complexo Passo Feio compreende ocorrências com várias minas em exploração, cujo mármore extraído é utilizado como corretivo de solo, comercialmente denominado de calcário, por conta da vinculação econômica deste termo. Os depósitos de mármore encontrados nessa região apresentam feições semelhantes entre si, como a intercalação de camadas de quartzitos, anfibólio-biotita xisto, granitos concordantes e discordantes e por vezes milonitizados. Esses afloramentos de rochas encontram-se ondulados por dobras com ângulos entre 60° a 120° (abertas) e eventualmente intrudidos por diques de rochas básicas.

Na Mônego Mineração, encontra-se um calcário dolomítico, onde verifica-se um granito foliado, apresentando veios de quartzos concordantes. O plano de contato do granito com o mármore é NS, 48°E, conforme ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Contato tectônico do granito sobre o mármore cinza-escuro na pedreira Mônego Mineração.



No local existe uma porção em que o calcário está separado por contato tectônico de rocha granítica e nota-se intercalação do quartzito com camada de calcário com S_0/S_1 próxima da horizontal, ilustrado na figura 11.

Figura 11 – Camada de mármore intercalada com quartzito.



Em empresa da região, FIDA, observa-se a intercalação de bandas claras e escuras marcando a estratificação/bandamento com direção S_0/S_1 . Na base da parede dessa jazida formam-se camadas de rocha metassedimentar, com sulfeto disseminado, intercaladas com calcário, conforme ilustrado na figura 12.

Figura 12 – Vista das intercalações de bandas claras (linha branca) e escuras (linha vermelha), realçando bem a estratificação/bandamento com direção S_0/S_1 .



Na região mais a sul de Caçapava do Sul, continuando no Complexo Passo Feio, encontra-se a Mineração ProSolo, cuja ocorrência é constituída na base por calcário dolomítico cinza escuro venulado. Em direção ao topo, devido à forte oxidação, a rocha adquire tons avermelhados.

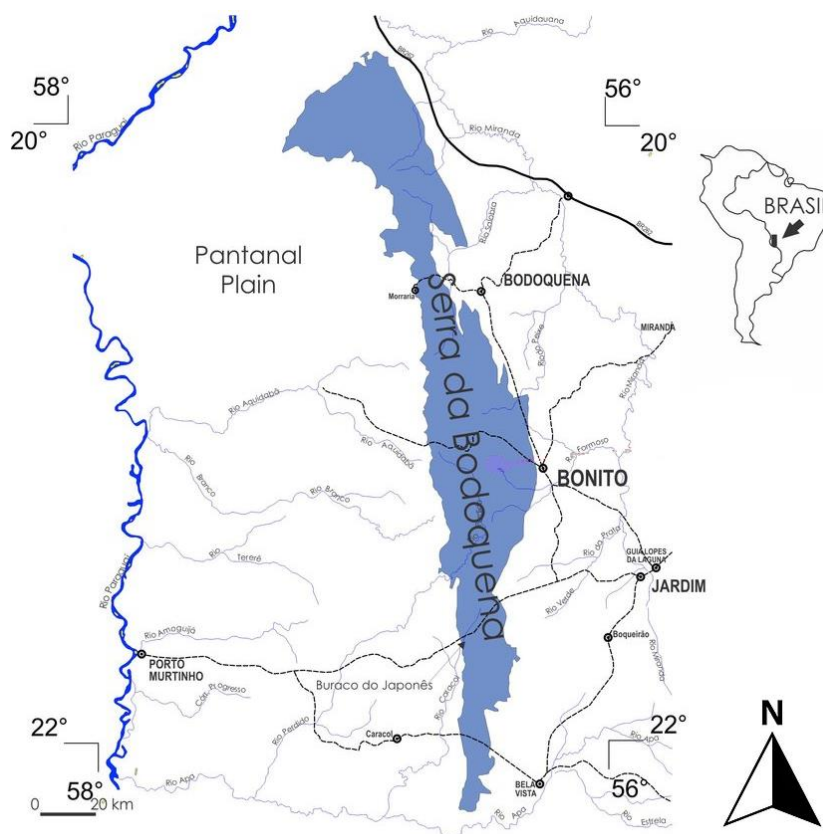
Mais ao sul da cava chamada de Mudador, passando o Rio Camaquã, na região do Cerro Malcriado, município de Bagé, ocorre outro depósito de mármore dolomítico de cor cinza e muito tectonizado, pesquisado pela Companhia Brasileira de Cobre – CBC. Essa formação nunca foi explorada, talvez, pelo fato desse intenso tectonismo tornar inviável a exploração desse depósito.

Os mármorees do Complexo Passo Feio são de características homogêneas, apresentando textura glauoblásticas poligonais ou isogranulares, de grão médio a fino. Estes mármorees são constituídos principalmente por carbonatos e alguns quartzos, apresentam brechas intensas, marcados por fragmentos angulosos e cimentados por carbonatos microcristalinos. Com quantidade significativa de mineradoras, o calcário (mármore) é de grande importância para região, visto que sua qualidade e acessibilidade das minas contribuem para o sucesso da exploração no estado do Rio Grande do Sul.

5.2.2 Calcário tufa – Serra da Bodoquena

Os depósitos de tufas calcárias apresentam-se associados a drenagens de maior porte, tais como a do Rio Prata, Rio Sucurí, Rio Formosinho, Rio Formoso, Rio Mimoso e Rio Perdido. A geometria dos afloramentos é variada, mas de maneira geral é caracterizada por vales encaixados e as tufas afloram em margens de rios e córregos (figura 13). Caracterizam-se por sedimentos finos, solúveis, dispostos de forma maciça e contendo fósseis (principalmente gastrópodes) de ambientes de baixa energia, e não ultrapassando 8 metros de profundidade.

Figura 13 – Em azul, destaca-se o afloramento de comportamento contínuo das tufas calcárias na Serra da Bodoquena.



Fonte: modificado de BOGGIANI et al., 1999

Com ampla ocorrência de tufas calcárias na Serra da Bodoquena, estes depósitos podem ser visualizados do sul ao norte, com importantes ocorrências nos arredores de Bonito e Bodoquena.

Localizada a sudoeste da cidade de Bonito, a mineração Calcário Xaraés explora essas tufas micríticas inconsolidadas na Formação Xaraíés. A lavra se dá a

céu aberto, através da remoção da cobertura vegetal, aragem e coleta. Como essas tufas são de alta pureza e seu estado natural é pulverulento, não é necessário nenhum processamento adicional (figura 14).

Figura 14 – Mineração pelo método de aragem na empresa Calcário Xaraés.



Fonte: <https://calcarioxaraes.com.br/>

Como possuem uma grande riqueza de matéria orgânica, reflete na sua alta qualidade de nutrientes. Não possuem estruturas definidas e são compostas por micrita calcítica. A única compartimentação possível nesse afloramento é através da bioestratigrafia, possibilitando individualizar duas fácies, uma com baixo conteúdo fossilífero e outra com grande quantidade de gastrópodes.

Este trabalho, será focado na empresa Calcário Xaraés da cidade de Bonito – MS, porém, existem mais outras duas mineradoras em Bonito que exploram essas tufas, a Calcário Bonito LTDA e Calcário Belo Horizonte que também são muito importantes para o crescimento da economia local.

5.2.3 Calcário travertino – Formação Caatinga

O calcário Caatinga compreende calcários puros muito heterogêneos, ora maciços, ora pulverulentos, que dificilmente superam 20 metros de espessura.

Sugiuo et al., (1980), através de estudos isotópicos, confirmou-se que o calcário Caatinga, mais conhecido como travertino, foi gerado em ambiente de água doce.

O estado da Bahia tem como sua principal rocha ornamental o mármore Bege Bahia ou Travertino Nacional, figura 15, que são muito utilizados para revestimento na construção civil (RIBEIRO et al., 2002). Na visão geológica, esses carbonatos são conhecidos como calcários Caatinga, cuja idade é paleógena-quadernária e ocorrem sobrepostas a uma outra formação conhecida como Formação Salitre (Neoproterozoico) da Bacia do Irecê.

Segundo consta, quem primeiro denominou as extensas coberturas carbonáticas da Formação Caatinga foi Branner, em 1911 (in RIBEIRO et al., 2002). O calcário que compõe essa região é secundário, resultado da alteração química de rochas carbonáticas preexistentes, transportadas e depositadas em ambiente continental.

As reservas de mármore Bege Bahia, se somadas, ultrapassam 85 milhões de metros cúbicos, representando uma possibilidade de lavra por vários séculos. Através de levantamentos geológicos, identificou-se uma área com cerca de 1500 km² interligando os grupamentos de lavra de norte para sul, com um altíssimo potencial exploratório.

Os processos diagenéticos e intempéricos podem ser associados aos aspectos de silicificação, dolomitização e dissolução, sempre identificados como limitantes ou de importantes interferências nos processos de lavra e beneficiamento. Isso requer estudos técnicos específicos em escala da mina para estabelecer possíveis zoneamentos do maciço de interesse econômico.

Do ponto de vista econômico, é possível considerar as atividades como viáveis, com alto valor agregado, transformando, por exemplo, bloco em chapas serradas e polidas, para finalmente ser transformado em ladrilhos.

Conclui-se que o mármore Bege Bahia reúne condições econômicas necessárias para consolidar-se como um arranjo produtivo regional, por isso, na cidade de Orolândia vamos falar apenas da empresa Polibege, porém, outras empresas importantes atuam na região, como a Bege Bahia Mármore, Marbege e Travertinos da Bahia, proporcionando inúmeros empregos e crescimento da economia, uma vez que, a rocha ornamental mais explorada em todo Estado da Bahia é o bege Bahia, também chamado de travertino nacional.

Figura 15 – Lavra de rocha ornamental do calcário Bege Bahia.



Fonte: <https://polibege.com.br/a-empresa/>

5.3 Métodos de lavra a céu aberto

Os métodos de lavra podem ser classificados entre métodos de lavra a céu aberto e métodos de lavra subterrâneos.

Para este trabalho, foram selecionadas três diferentes jazidas de calcário, todas elas exploradas pelo método a céu aberto:

- i) Complexo Passo Feio: utiliza-se o método lavra em cava, onde são formadas bancadas em forma de um cone invertido para a exploração do calcário dolomítico;
- ii) Serra da Bodoquena: onde ocorre calcário do tipo tufa, de baixa dureza, extraído pelo método de aragem;
- iii) Formação Caatinga: calcário travertino, mais conhecido como bege Bahia, é extraído como rocha ornamental, que são conhecidas popularmente como Pedreiras de Rocha Ornamental.

Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), a lavra a céu aberto possui alguns pontos de extrema importância, como: no planejamento e desenvolvimento de mina a céu aberto devem ser consideradas as condições locais de geologia, topografia e condições ambientais; as minas a céu aberto devem possuir mapas contendo representação completa com amarração topográfica da localização de todas as áreas em lavra e mineradas e dos sistemas de disposição de estocagem de solo vegetal, estéril, produtos, rejeitos sólidos e líquidos.

Na área da mina devem ser adotadas medidas preventivas contra inundações e surgências de água; a mina deve ser projetada não só visando a economicidade do empreendimento, mas também para facilitar o desenvolvimento das operações unitárias, atender os aspectos relativos à segurança operacional, do trabalho, controle ambiental e a reabilitação da área; bancadas e taludes.

Na definição de uma bancada devem ser consideradas as características técnicas dos equipamentos utilizados no desmonte e carregamento, a estabilidade dos maciços, as condições de segurança e posterior reabilitação da área; a largura mínima, a altura e ângulo máximos das bancadas devem ser projetados em função das condições geomecânicas, dos serviços a serem executados, máquinas e equipamentos a serem utilizados, de forma a conduzir os trabalhos com segurança; a disposição de qualquer material e o estacionamento de máquinas próximo às cristas das bancadas, devem obedecer a uma distância mínima de segurança, definida em função da estabilidade, da altura da bancada e do porte dos equipamentos; em caso de deslizamentos, as áreas deverão ser isoladas, sinalizadas e realizado estudos geotécnicos para o levantamento das causas básicas do acidente; bancadas com atividades de lavra, trânsito, transporte ou serviços de reabilitação devem ter, pelo menos, um acesso seguro para pessoas e equipamentos; as bancadas utilizadas como acessos devem ser projetadas para atender aos critérios de segurança de tráfego; controles topográficos e geológico-geotécnico; a geometria da cava, pilhas e de outras estruturas devem ser atualizadas semestralmente ou em maior periodicidade, a critério da ANM, em conformidade com o ritmo de avanço previsto no plano de lavra, o qual deverá ser mantido na mina, bem como a documentação topográfica pertinente, para exame por parte da fiscalização; as plantas de controle geológico da mina devem ser atualizadas semestralmente, revendo-se com frequência todos os aspectos ligados à estabilidade das estruturas.

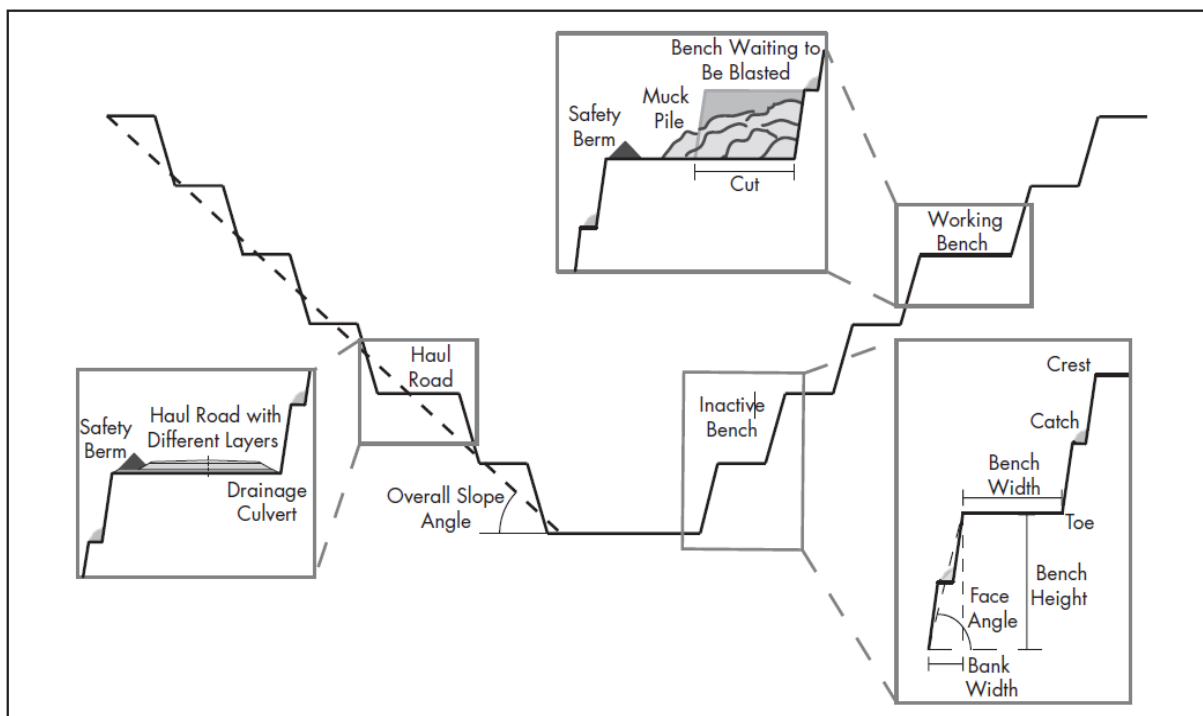
5.3.1 Lavra em cava

Na lavra em cava, as bancadas que são formadas são cruciais para a operação, pois acomodam as áreas ativas de detonação e escavação. As bancadas podem ser divididas em bancadas de trabalho e bancadas inativas (Hustrulid e Kuchta, 2006), cuja altura geralmente fica em torno de 10 metros.

As bancadas de trabalho (*working bench*) estão em processo de escavação e devem ser largas o suficiente para acomodar o raio de giro do maior caminhão de transporte mais a largura da berma de segurança (Caterpillar, 2006), enquanto as bancadas inativas (*inactive bench*) são mantidas para manter a estabilidade do talude da cava.

As estradas de transporte (*haul roads*) constituem um elemento-chave em uma lavra em cava, fornecendo a principal rota de transporte de minério e estéril das áreas de escavação ativas até a borda da jazida (figura 16).

Figura 16 - Geometria simplificada de uma lavra em cava, detalhando três aspectos: bancada de trabalho, bancada inativa e estrada de transporte.



A lavra em cava é tipicamente aplicada para corpos de minérios disseminado ou veios, camadas ou estratos com alto mergulho, onde a lavra avança em direção a

maiores profundidades, e por conta da alta produtividade, o método pode ser aplicado em depósitos com teores relativamente baixos.

Geralmente a disposição de porções de estéril é feita em partes do pit que já atingiram a conformação final, ou então, em locais específicos, pilhas de estéril. Já o material de cobertura é removido para uma área específica, para que o minério fique exposto, como a lavra é feita em forma de bancadas, o desenho da cava fica semelhante a um cone invertido.

A lavra em cava pode ser aplicada em praticamente todos os tipos de mineralizações, possui alto nível de mecanização, boa flexibilidade, alta recuperação, porém necessita de grandes investimentos em equipamentos, recuperação de área degradada, monitoramento de taludes e bancadas, área para disposição de estéril e gerenciamento de águas.

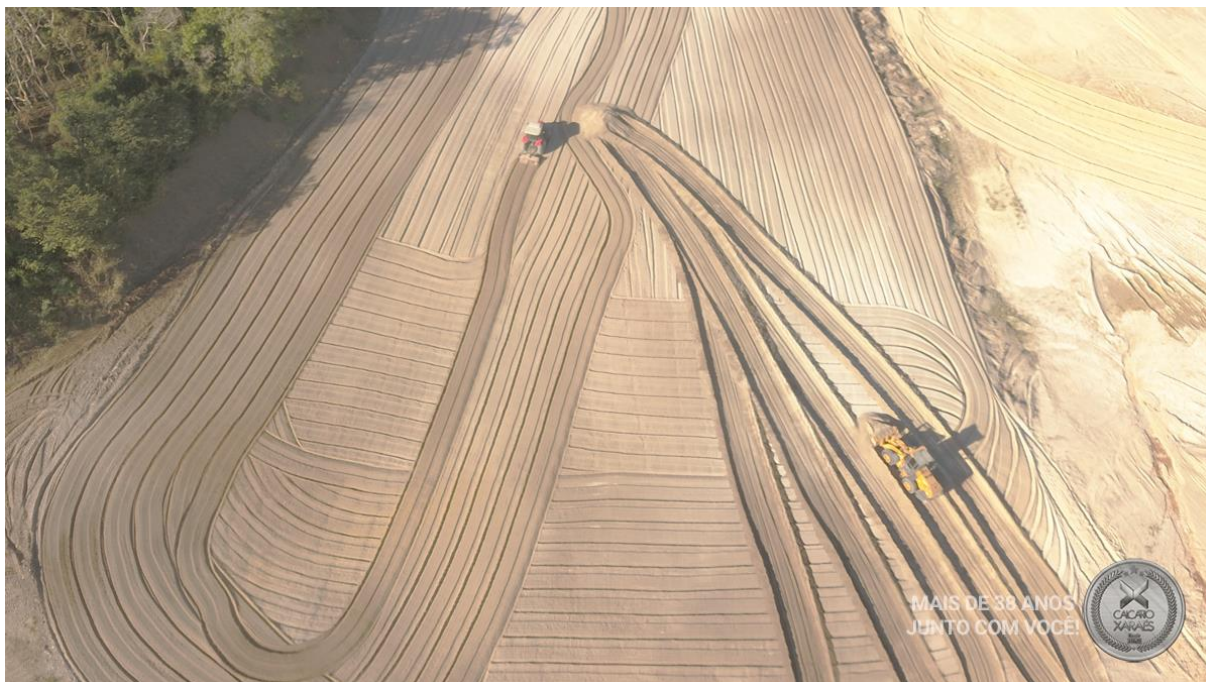
5.5.2 Lavra por aragem

A lavra de calcário por aragem é pouco utilizada, devido a sua restrição na formação desses afloramentos. Diferente dos outros métodos, não é formado nenhum tipo de bancada, ou seja, a exploração é feita toda na horizontal e alguns aspectos são indispensáveis para a viabilização desse tipo de método, como: baixa dureza; baixa profundidade; grande disposição para produção; e baixo ângulo de mergulho.

A lavra por aragem é aplicada em corpos de minérios disseminados, em camadas rasas de até no máximo 8 metros de profundidade, e só pode ser aplicada em depósitos onde a compactação ocorreu de maneira gradacional. O principal estéril é a argila, com apenas 10% na matriz, indicando sempre uma elevada qualidade e produtividade no beneficiamento.

Possui um bom nível de mecanização, boa flexibilidade devido à facilidade de transporte e disposição do minério e baixos investimentos em equipamentos. O ponto negativo deste método é a degradação ambiental que ocorre por aflorar próximo a rios ou lagos e a suspensão de partículas sólidas na atmosfera, (figura 17).

Figura 17 - Lavra por aragem de calcário do tipo tufa, jazida com baixo ângulo de mergulho e profundidade.



Fonte: <https://calcarioxaraes.com.br/>

5.5.3 Lavra de rocha ornamental

A lavra de rocha ornamental conhecida popularmente como lavra em pedreiras de rocha ornamental, consiste em uma atividade cujo objetivo é a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto da etapa de lavra, ou extração, é o bloco de arestas aproximadamente retangulares, de dimensões variadas que procuram obedecer ou aproximar-se tanto quanto possível daquelas que proporcionem o melhor aproveitamento do material e a maior utilização da capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento.

Como qualquer atividade mineral com razoável nível de desenvolvimento, a extração de rochas ornamentais também obedece a algumas fases para a sua execução.

As principais delas são:

- (i) a prospecção - para localização ou identificação da ocorrência mineral de rocha ornamental;

- (ii) a pesquisa mineral - para avaliação do potencial de aproveitamento da jazida e para levantar dados e informações que permitam fazer o melhor planejamento da lavra;
- (iii) a lavra - que é a atividade produtiva da extração desenvolvida aplicando-se metodologias apropriadas às características do material e da formação geológica da jazida; e
- (iv) por último, a recuperação da área degradada.

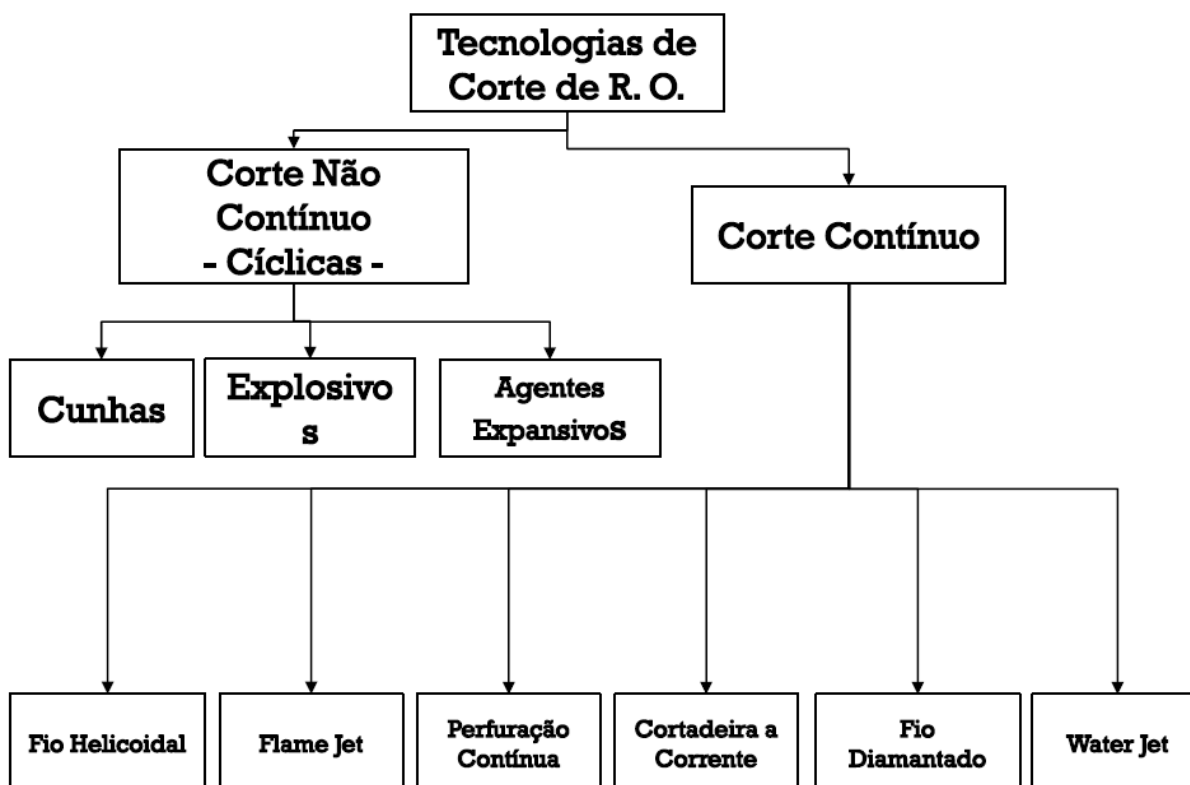
Na lavra de rocha ornamental o mais importante não é o teor de minério de interesse e sim seu valor estético, resistência, durabilidade, facilidade de aplicação e custo de manutenção, por isso, a lavra de rocha ornamental é extremamente cara, podendo ter um custo de extração cerca de 40 vezes maior do que o de lavra de minérios metálicos. O método é bastante seletivo, mas com baixa produtividade

O processo de extração ocorre em blocos inteiros, sendo assim, o desmonte com explosivos é utilizado somente para geração de zonas de fraturas, para o desprendimento dos blocos. A industrialização dos blocos inclui a etapa do desdobramento, onde os blocos são serrados em chapas e posteriormente submetidos ao polimento.

A extração pode se feita por: bancadas baixas (menores que 4 metros); bancadas altas (maiores que 4 metros); por tombamento; lavra de matacos; e lavra em profundidades maiores.

As tecnologias de corte da rocha ornamental são bem específicas e necessitam altos investimentos. A figura 18 mostra um resumo das principais técnicas utilizadas para a extração dos blocos de rocha ornamental.

Figura 18 - Técnicas para o corte de rocha ornamental, com detalhamento para o corte 'não contínuo' e para o corte 'contínuo'.



6 METODOLOGIA

As rochas carbonáticas foram descritas em diversos trabalhos no Brasil, para este trabalho foram consultados os considerados mais significativos (teses e artigos), buscando diferenciar as formações geológicas e seus respectivos estados. As fontes de coleta de informações foram os repositórios digitais das instituições: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). No portal SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e no Repositório Institucional de Geociências da CPRM (RIGEO). Foi feita reunião de maneira virtual com a empresa Fida para obtenção de informações.

O presente trabalho foi dividido em quatro etapas básicas:

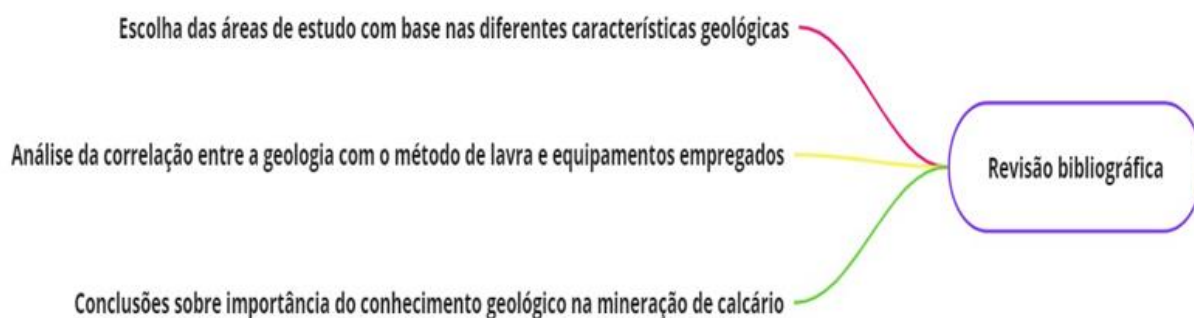
1 – revisão bibliográfica;

2 - escolha das áreas de estudo com base nas diferentes características geológicas;

3 – análise da correlação entre a geologia com o método de lavra e equipamentos empregados; e

4 – conclusões sobre importância do conhecimento geológico na mineração de calcário.

6.1 Fluxograma



Fonte: Autor

A primeira etapa deste Trabalho de Conclusão de Curso II foi uma análise bibliográfica minuciosa dos diferentes tipos de calcário encontrados no Brasil, em diferentes Estados, possibilitando uma maior assimetria de características geológicas e de lavra. A importância econômica de cada região também foi um fator importante para a escolha, pois, as riquezas de informações bibliográficas tornam-se indispensável para a conclusão desse trabalho.

Após definir as regiões, cidades e mais precisamente, as empresas de importância para este trabalho, foi realizado um levantamento informações geológicas significantes para relacionar a geologia com a escolha do método de lavra utilizado na empresa.

O beneficiamento e os equipamentos que são utilizados são a quarta etapa do estudo, aqui, a geologia tem o seu papel como em qualquer etapa, a dureza, química e outras características serão determinantes no beneficiamento e escolha

do maquinário. A escolha das diferentes regiões é para ocasionar propositalmente uma maior diferença de detalhes, desde a pré-extração ao produto final.

Esta última etapa talvez seja a mais importante, o conhecimento da geologia significa segurança operacional, já que a mineração de calcário é uma atividade de importância econômica significativa na economia brasileira, além de o conhecimento da geologia ser primordial também para a segurança dos trabalhadores e gestão ambiental da operação.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de todo o contexto que foi discutido, agora, é possível caracterizar e comparar alguns dos resultados obtidos através de revisão bibliográfica e reunião com responsáveis de maneira virtual.

A realização do planejamento de lavra consiste em um processo que irá influenciar em todas as demais decisões tomadas em uma atividade mineira e deve viabilizar um dinamismo entre as mesmas.

Um plano de lavra deve estar sempre atualizado com o decorrer das atividades mineiras e interligado aos modelos de sólido geológico e de blocos que, por sua vez, também são atualizados no decorrer do avanço das pesquisas.

Ao longo da vida útil de uma mina, novas perspectivas irão se apresentando e o planejamento de lavra deve ir se moldando às diferentes situações que vão surgindo, tanto geológicas e econômicas quanto tecnológicas. A realização contínua de pesquisas contribui para que, na medida em que extração vá ocorrendo, a empresa consiga fazer um planejamento de como prosseguir com o sequenciamento da lavra, de acordo com sua estratégia produtiva e respeitando todos os procedimentos, tanto ambientais como humanos.

Mais precisamente, a tabela 3 busca através de estudos das formações citadas, caracterizar e resumir como a geologia pode interferir na lavra do calcário.

Tabela 1 – Resultados obtidos de forma resumida referentes às regiões selecionadas, através de revisão bibliográfica e reunião com profissionais de maneira virtual.

EMPRESA	FIDA	XARAÉS	POLIBEGE
ESTADO DE LOCALIZAÇÃO	Rio Grande do Sul	Mato Grosso do Sul	Bahia
FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Complexo Passo Feio	Formação Serra da Bodoquena	Formação Caatinga
MÉTODO DE LAVRA	Lavra em Cava (desmorte com explosivos)	Aragem	Rocha Ornamental
TIPO DE CALCÁRIO	Dolomítico	Tufa	Travertino
AMBIENTE DE FORMAÇÃO	Marinho de margem passiva do tipo atlântico	Lacustre	Desértico
GÊNESE	Trata-se de uma paleobacia, cujos sedimentos foram metamorfizados por um evento de metamorfismo regional orogênico, de ambiente deposicional de margem passiva.	Precipitação físico-química e biológica. Libera-se o CO ₂ precipitando o CaCO ₃ .	É formado em clima árido a semiárido, com baixa pluviosidade onde o sentido de movimentação da umidade do solo é ascendente, devido ao excesso de evaporação e ação da capilaridade

RELAÇÃO CONTATO MINÉRIO/ENCAIXANTES	Abrupto	Gradacional	Abrupto
GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS	Médio a fino	Finos, moderadamente selecionados e baixa esfericidade.	Médios a fino
MINERALOGIA/QUÍMICA	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	CaCO_3	$(\text{CaCO}_3) + (\text{CaCO}_3) + (\text{Fe}_2\text{O}_3\text{NH}_2\text{O})$
COR	Cinza/Branco	Marrom/Bege	Bege
TEXTURA	Glanoblásticas poligonais ou isogranulares	Pulverulento ou poroso	Siliciclásticos e carbonáticos
GRAU DE DUREZA NA ESCALA MOHS	3,5 – 4	2,5 – 3,0	4 - 5
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	Perfuratriz hidráulica Explosivos Escavadeira Pá carregadeira Caminhões	Trator de aragem Pá carregadeira Caminhões	Cortadora a corrente Escavadeira Pá carregadeira Caminhões
BENEFICIAMENTO	Britagem primária Britagem secundária Moagem	Classificação	Cortadora a corrente

DILUIÇÃO	Muita intrusão de diabásicos e granitos	Presença de argila, média de 10% da matriz.	Presença de areia, cerca de 15%
CLIMA	Subtropical	Tropical úmido	Árido e semi-árido
DIFICULDADE AMBIENTAL	Partículas em suspensão	Afloram em áreas de preservação	Resíduos sólidos
PRODUÇÃO EM TONELADAS REFERENTE AO ANO DE 2020	1.000.000 milhão	1.700.000 milhão	2.200.000 milhões

Fonte: Autor

7.1 Origem do calcário e método de lavra empregado

A origem do calcário em qualquer lugar do mundo tem muita relação com o seu ambiente de formação, e as classificações que foram citadas neste trabalho contribuem para um maior entendimento de como será o aspecto e composição do calcário em questão.

7.1.1 Lavra em cava - empresa Fida

O Complexo Passo Feio é caracterizado por um calcário dolomítico, ou seja, possui mais de 12% de magnésio, é formado em um ambiente de margem passiva e trata-se de uma paleobacia. A estrutura da rocha por ser competente, não pode ser desmontada com escavadeira, logo, é explorado pelo método de cava por bancadas e o uso de explosivos é indispensável. A textura é glauoblásticas, o arranjo da forma dos grãos tende a ser equidimensional e poligonizados, diminuindo a porosidade, assim, necessitando de duas operações de britagem e depois a moagem.

Assim como na maioria das lavras de calcário dolomítico, a lavra de calcário na mineração Fida é realizada pelo método de lavra em cava, utilizando-se explosivos para o desmonte. O material de cobertura é removido para uma área específica, para que o minério fique exposto, a remoção do estéril e do minério é realizada em forma de bancadas, possibilitando uma boa flexibilização das operações e garantindo uma elevada produção, por exemplo, é possível o estéril ser removido ao mesmo tempo em que a lavra do minério está ocorrendo.

Após a detonação, o material desmontado é carregado para os caminhões através de escavadeiras e pá carregadeiras. Os calcários transportados pelos caminhões vão em direção ao beneficiamento e passam pela britagem primária, com capacidade para receber rochas de diâmetro de até 1.10 metros e reduzi-las para 30 a 40 centímetros de diâmetro. Na britagem secundária, as rochas são reduzidas para aproximadamente 8 a 10 centímetros, em seguida, é feita a moagem nos passantes de dois milímetros de diâmetro, virando o chamado “pó de calcário”.

O clima pode interferir na qualidade desse “pó de calcário”. Como a umidade é superficial, é empregada uma técnica na qual se utilizam peneiras com áreas maiores de cobertura, de modo que as partículas fiquem mais tempo sob a vibração, assim, essas partículas se soltam com maior facilidade e possibilitam o peneiramento.

A Ciocari ou Fida como é conhecida, conta com um laboratório para analisar a qualidade do calcário que está saindo no final do beneficiamento, para que seja entregue um calcário de qualidade e aumente a vida útil da jazida. (figura 19)

Figura 19 – Vista da lavra em cava da empresa Fida, onde é possível identificar as bancadas, essenciais para a otimização do trabalho



Caçapava do Sul fica próxima ao porto, e contribui na viabilização do calcário, uma vez que são aproveitados os transportes dos caminhões que saem vazio do porto. O calcário do Complexo Metamórfico Passo Feio possui um baixo preço de venda devido à alta concorrência local e alta disponibilidade do produto. A altitude de 440 metros de Caçapava do Sul influencia na umidade, podendo dificultar algumas etapas das operações. Como a lavra é em cava pode estruturar grandes profundidades, dificultando o acesso, é necessário um grande maquinário e combustível, necessitando de uma grande quantidade de toneladas por ano para tornar viável a exploração.

Como em Caçapava do Sul as empresas de calcário não lucram muito, acabam não investindo muito em pesquisa, tecnologia e novas metodologias de lavra e beneficiamento.

A classificação de Dunham explica bem a origem do calcário dolomítico, uma vez que é encontrado uma boa quantidade de estéril oriundos de outras localizações. O intemperismo que ocorre nas rochas sedimentares é bem relevante, e o transporte tanto por fluxo gravitacional ou por correntezas tornam as bacias de característica alóctones e com grãos aloquímicos (matriz e cimento ou espaço porosos. Na classificação de Dunham, a que melhor se encaixa são de textura deposicional reconhecível, entre Grainstone ou Boundstone.

7.1.2 Lavra por aragem - empresa Xaraés

A Formação Serra da Bodoquena é caracterizada por um calcário do tipo tufa. O calcário dessa região é de baixa dureza, em torno de 2,5 e 3 na escala Mohs, é formado em ambiente de baixa energia e rico em micro-organismos oriundos de ambiente lacustre, isso explica sua textura porosa e altos níveis de nutrientes, também explica a sua coloração marrom, típicas de ambientes ricos em matéria orgânica. Sua composição química é apenas CaCO_3 e o beneficiamento é bem simples, sendo composto somente pela classificação.

A lavra da empresa de Calcário Xaraés explora essas tufas pelo método de aragem, a baixa dureza, textura pulverulenta, composição química e ambiente de formação são alguns dos fatores que facilitam na lavra. Outros fatores como a baixa profundidade do depósito e baixo ângulo de mergulho influenciam no maquinário, sendo utilizado para essa lavra apenas trator de aragem, carregadeira frontal e caminhões, logo, o custo de remoção e extração é muito baixo, uma vez que o calcário apresenta alta friabilidade, sendo praticamente só coletado, não necessitando de moagem e operações complexas. (figura 20)

Figura 20 – Exploração das tufas calcárias pelo método de aragem, não exige operações complexas.



O minério é de alta qualidade devido ao seu ambiente de formação e como não necessita de operações complexas, o lucro que a empresa obtém se torna muito maior do que o das empresas que operam no Complexo Metamórfico Passo Feio, por exemplo. O principal mercado consumidor é o da pecuária, que além de utilizar o produto para corrigir a acidez do solo para plantações, também o consome como fonte de alimento para o gado, uma vez que as tufas são de características orgânicas.

A classificação de Embry & Klován é a que melhor caracteriza a formação do calcário do tipo tufa. São de origem biogênica e autóctone, ou seja, o calcário e os sedimentos são originados dentro da própria bacia, com uma sedimentação muito pouco compacta, devido alguns fatores como: baixa profundidade de depósito; baixo ângulo de mergulho; pouca atividade gravitacional; e com textura de ambiente de formação de baixa energia. Dentro dos autóctones, a que melhor caracteriza as tufas é do tipo Framestone, onde a compactação é baixa, mas o suficiente para formar afloramentos rochosos.

7.1.3 Lavra de rocha ornamental - empresa Polibege

A Formação Caatinga é caracterizada por um calcário travertino, conhecido como bege Bahia, formado em clima árido a semiárido, com baixa pluviosidade onde o sentido de movimentação da umidade do solo é ascendente, ou seja, ambiente

desértico, possui uma dureza relativamente alta em tratando-se de calcário, entre 4 e 5 na escala Mohs, possui grãos finos a médios, o que favorece na compactação e resistência e possui textura siliciclástica. Sua composição mineralógica é calcita, aragonita e limonita e apresenta uma coloração bege. Como se originou de um ambiente de alta energia, a lavra ocorre pelo método de extração de rocha ornamental, conhecido como pedreiras de rocha ornamental.

Na empresa Polibege, a lavra de rocha ornamental é a céu aberto e feita por bancadas baixas, logo, sua extração é tecnicamente simples. Devido ao calcário travertino ser considerado macio na classificação de dureza, as empresas da região de Orolândia - BA utilizam a cortadora a corrente, que cortam esses calcários a uma velocidade de 7,0m²/h. Os blocos também podem ser despreendidos através de explosivos que geram zonas de fraturas, facilitando o trabalho.

É feita uma perfuração primária: nesta etapa, o objetivo principal é a produção de blocos (painéis) de grandes dimensões a partir do maciço, podendo chegar a centenas de metros cúbicos, sempre com o cuidado de não danificar a rocha. Neste estágio a principal preocupação é o desenvolvimento das bancadas e a formação das gavetas. Se não houver orientação da estrutura da rocha, são realizados furos verticais ou de bancadas (podem ter pequena inclinação) e furos horizontais (de levante) com espaçamento adequado. Os furos verticais devem terminar em um mesmo horizonte (nível), 15 a 20 cm acima do nível dos furos de levante.

Para realização do desmonte é necessário que as laterais do maciço, no local que vai ser produzido o painel, estejam com alívio. Esse alívio pode ser natural, quando há uma fratura no maciço, ou pode ser produzido por várias técnicas. Pode-se dizer que essa é a fase do processo produtivo que comporta maior grau de mecanização dos trabalhos.

Perfurações secundária, terciária e quaternária: após a liberação do painel, ocorrida na etapa anterior, tem início a sequência de perfurações e desmontes até se chegar ao produto que é o bloco com as medidas dentro do padrão de comercialização.

A esta sequência de operações dá-se o nome de desdobramento. São empregadas perfuratrizes de coluna sobre trilhos e perfuratrizes manuais. No último estágio de perfuração recorre-se ao menor diâmetro de perfuração possível, de modo a minimizar as perdas (os blocos são cubados pelas menores medidas); nessas operações, quando necessário o uso de explosivo restringe-se ao cordel

detonante. Deve ser dada muita atenção ao posicionamento (alinhamento e nivelamento) e ao travamento das perfuratrizes, não apenas para garantir um bom desempenho do equipamento e assim assegurar a obtenção de um produto de alta qualidade, como também por medida de segurança.

Observam-se todas as recomendações pré-operacionais, bem como as técnicas, para operação de cada equipamento. O material é transportado com ajuda do maquinário, como escavadeiras, pá carregadeiras e caminhões. (figura 21)

Figura 21 – Exploração do calcário Bege Bahia como rocha ornamental, as bancadas são baixas, tornando possível o corte dos blocos por cortadoras à corrente



Fonte: <https://polibege.com.br/a-empresa/>

A lavra de rocha ornamental possui um alto custo, tanto na operação quanto na venda, no entanto, o preço de comercialização dos blocos produzidos também é elevado, o que viabiliza economicamente o empreendimento. Na cidade de Ourolândia, a facilidade de acesso às principais rodovias e a baixa altitude facilitam no transporte e nas operações.

Esta formação é caracterizada por um perfil calcrete (calcário rico em carbonato de cálcio), cujas condições de existência são, especificamente, aquelas do sertão baiano: clima árido e semi-árido, baixa pluviosidade onde o sentido de movimentação da umidade do solo é ascendente devido ao excesso de evaporação e a ação de capilaridade. As águas carbonatadas ao se evaporarem propiciam a precipitação da calcita entre as artirculas do solo. O mármore travertino Bege Bahia reúne qualidades estéticas e físicas tais como coloração clara (esbranquiçada, acinzentada ou bege) e resistência ao impacto de 0,41m, que o fazem ideal para aplicações como rocha ornamental, (material de revestimento, piso), devido sua baixa porosidade de 2,62%.

A classificação de Folk é a que melhor explica a origem do bege Bahia, possuindo em sua composição aproximadamente 20% de intraclastos, 15% de areia e 12% de quartzo e 7% de bioclastos, a proposta de Folk está relacionada a uma classificação litológica baseada em grãos aloquímicos, matriz e cimento, no caso do travertino, é composto por uma calcita espática, chamado de intrasparito.

7.2 Influência do tipo de calcário e o método de lavra na escolha dos equipamentos

Na empresa FIDA como a lavra é a céu aberto e o intuito é formar uma cava com bancadas, são utilizadas perfuratrizes hidráulicas para alocar os explosivos, estes, são selecionados de acordo com a característica da jazida, dureza do calcário entre outros. Após analisar seu aspecto como um todo, que se inicia desde a formação do calcário, a FIDA utiliza a emulsão encartuchada IBEGEL AD, com uma velocidade de detonação de 2.500 a 4.700 m/s e com ajuda da espoleta e cordel detonante os maciços rochosos são desprendidos, como a presença de água é comum na jazida a IBEGEL AD é uma ótima escolha devido ao fator de ser considerada excelente na resistência à água. Os blocos formados, agora desprendidos são de até 1,10 metros, logo escavadeiras, pás carregadeiras e caminhões são perfeitos, uma vez que a boa mobilidade é muito importante nessa operação em cava por bancadas.

Na empresa Xaraés a lavra é a céu aberto, e como o depósito é de baixo ângulo, a operação é bem simples utilizando trator de aragem, carregadeira frontal e

caminhão. Esse calcário é praticamente só coletado devido ao seu ambiente de formação.

A empresa Polibege é diferente completamente dos dois tipos de calcários anteriormente e necessita de equipamentos mais modernos e mais caros. A lavra é a céu aberto e com finalidade para rocha ornamental. É utilizado cortadoras a corrente SVC 70 que irão cortar em forma de blocos o travertino bege Bahia. Como são formadas bancadas baixas e equipamentos com boa mobilidade também são necessários como: pá carregadeira; escavadeira; caminhão.

Os custos de aquisição e manutenção dos equipamentos na empresa Polibege são bastante elevados devido o ambiente de formação em que se formou essa rocha a fizeram mais resistente que os outros tipos de calcários citados, logo, um equipamento mais complexo é necessário.

Na empresa Fida, o custo de extração é elevado, por conta da dureza do minério e do estéril; e de uma frota de transporte interno mais adequada, uma vez que, na medida em que a cava vai aprofundando, maior vai se tornando a distância entre as frentes de trabalho e a planta de beneficiamento, ou pilha de estéril.

Por fim, na empresa Xaraés ocorre totalmente na horizontal, devido ao baixo ângulo de mergulho dos afloramentos. O custo de exploração é muito baixo devido à baixa profundidade e dureza dessas tufas calcárias, assim, produzindo mais toneladas anuais que a empresa Fida com uma frota de caminhões menor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho, é possível destacar a importância do conhecimento da origem do calcário e sua relação com o ambiente de formação. As classificações que foram citadas aqui contribuem para um maior entendimento de como será o aspecto e composição do calcário em questão, impactando positivamente para a economia das empresas na hora da extração.

Como a proposta de maneira geral era estudar as relações entre diferentes formações geológicas de rochas carbonáticas e como suas características distintas podem afetar nos processos de lavra do calcário, a metodologia empregada através de revisão bibliográfica mostrou-se satisfatória, permitindo uma boa obtenção dos dados e comparação entre as diferentes formações.

A importância do conhecimento geológico, irá caracterizar uma maior viabilidade na produção e escolha adequada do uso dos equipamentos. Outros aspectos como: distância do transporte ao consumidor final; química; textura; dureza; diluição e outros podem contribuir para o melhor aproveitamento na exploração e beneficiamento.

A ideia do trabalho é realçar que todo o conhecimento da geologia irá influenciar diretamente na mineração e recomendar a realização de mais trabalhos com a temática semelhante, procurando sempre o emprego de maiores níveis de detalhe, com o intuito de aperfeiçoar o conhecimento da geologia com a lavra de interesse, refletindo assim, de maneira positiva para um melhor aproveitamento econômico, social e ambiental, seja explorando calcário ou outro mineral.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS 2019. **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**, Informe 01/2019, São Paulo, São Paulo (Brasil). [http:// abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/ Informes/Informe_01_2019_Balanco_2018.pdf](http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Informes/Informe_01_2019_Balanco_2018.pdf)
- AFONSO, J.C.A. **Influência da Fraturação Natural na Mineralização do Desperdício em Pedreira de Rochas Ornamentais**, Tese de Mestrado; Universidade de Lisboa; Lisboa; Portugal; 1991.
- ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, **norma reguladora mineração a céu aberto**. www.anmlegis.datalegis.inf.br
- ALENCAR, C.R.A. et al. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento**. v.3, Fortaleza, IEL/FIEC, agosto-1996.
- ALMEIDA, F.F.M. 1977. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, 7: 349-364
- ALMEIDA, F. F. M. de & BARBOSA, O. **Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro**. Bol. Div. Geol.Min. (Rio de Janeiro), DNPM, n. 143, p. 1-96, 1953.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2010**. Informe ABIROCHAS 01/2011. São Paulo: ABIROCHAS. Disponível em http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9576/Exporta_2010.pdf
- ASSOCIAÇÃO Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola - ABRACAL, **Calcário agrícola no Brasil 2017**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <[http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/CALC%C3%81RIO%20AGR%C3%8DCO%20LA%20BRASIL%202016%20SPR\(1\).pdf](http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/CALC%C3%81RIO%20AGR%C3%8DCO%20LA%20BRASIL%202016%20SPR(1).pdf)>.
- BARCELOS, J. H. **Geologia Regional e Estratigrafia Cretácica do Triângulo Mineiro**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, v. 5, n.o 9/10, p. 9-24, 1993.
- BELLINGIERI, P.A. et al. **Importância da reatividade do calcário sobre a produção e algumas característica da cultura da soja**. Scientia Agricola. São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992
- BERRY P. et al. **Industrial viability of soft technologies for hard stone quarrying**. Proc. XV World Mining Congress, Madrid, 1992. p. 533 – 542.
- BIASCO, G. **Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks**. Stone, IDR n°. 5, 1993. p. 252-255

BITENCOURT, M.F. 1983. **Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 161p.

BORTOLOTTO, O. J. **Petrologia dos marmores de Caçapava do Sul, RS**. 1986. 1 v. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986

CACCETTA, L., and Hill, S. 1999. **Optimization techniques for open pit mine scheduling**. Presented at MODSIM 1999 International Congress on Modelling and Simulation, December. www.mssanz.org.au/MODSIM99/Vol%203/Hill.pdf.

CARVALHO, E. A. e ALMEIDA, S. L. M. (1997). **Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel**. Série Estudos e Documentos, nº 41, Rio de Janeiro, CETEM.

CATERPILLAR. 2006. **A Reference Guide to Mining Machine Applications**. Peoria, IL: Caterpillar

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul**: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2010. v. 1. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CRESPO, A. **Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais**. Rochas & Equipamentos, Lisboa, n. 24, 1991. p. 122-136

DARLOW, E. 2007. **Health and Safety Law in Quarries**. Nottingham, England: Institute of Quarrying.

DAVIS, J.G. 1992. **Grade control for Australian open pit gold mines**. In **Case Histories and Methods in Mineral Resource Evaluation**. Edited by A.E. Annels. London: Geological Society of London.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 35, DE 4 DE JULHO DE 2006, n. 132, 2006. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf> >, acesso em: 27/04/2022

GOBBO-RODRIGUES, S. R. **Carófitas e Ostrácodes do Grupo Bauru**. 2001. 137 p. Dissertação (de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001).

GOBBO-RODRIGUES, S. R. **Caulóides de Charophyta Maastrichtianos na Formação Marília (Grupo Bauru) na região de Uberaba (MG)**, Brasil In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 6, E SIMPOSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR., 2do, 2002, São Pedro. Boletim... São Pedro, p. 395 – 400.

GOBBO-RODRIGUES (a), S. R.; PETRI, S.; COIMBRA, J. C.; BERTINI, R. J. **Alathacythere Roncana Bertels** 1968 (L 4766 Grekof, 1960) In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PALEOARTROPODOLOGIA. Ribeirão Preto (SP). 2000. Boletim... Ribeirão Preto.

GOBBO-RODRIGUES (b), S. R.; PETRI, S.; COIMBRA, J. C.; BERTINI, R. J. **Note on Ilyocypris Argentinensis Musacchio & Simeoni (1991)** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PALEOARTROPODOLOGIA. Ribeirão Preto (SP). 2000. Boletim... Ribeirão Preto.

GOBBO-RODRIGUES (c), S. R.; PETRI, S.; COIMBRA, J. C.; BERTINI, R. J. **Biostratigraphic Correlations Between Bauru, Neuquén and Congo Basins, Using Non-Marine Ostracodes** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PALEOARTROPODOLOGIA. Ribeirão Preto (SP). 2000. Boletim... Ribeirão Preto.

HARTMAN, H.L., and MUTMANSKY, J.M. 2002. **Introductory Mining Engineering**, 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

HOPLER, R.B., ed. 1998. **Blasters' Handbook**, 17th ed. Cleveland, OH: **International Society of Explosives Engineers**.

HUSTRULID, W., and KUCHTA, M. 2006. **Open Pit Mine Planning and Design**. London: Taylor and Francis.

HUSTRULID, W. 1999. **Blasting Principles for Open Pit Mining**. Rotterdam: Balkema.

KOCHE, A.; HANASHIRO, J.; SANTOS, A.R.; ROMERO, A.M.S.; LAVIGNE, M.; GUIDOLIN, J.A. & ALCARDE, J.C. **Análise de corretivos agrícolas**. Editora pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), São Paulo-SP, 1989, 30p.

LERCHS, H., and GROSSMANN, I.F. 1965. **Optimum design of open pit mines**. CIM Bull. 58(1)

LINS, F. A. F. (2007). **Cal. Anuário Estatístico, 2007, Setor de Transformação de Não-Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – DTTM/MME - Ministério de Minas e Energia – MME, p. 65-68.

LINS, F. A.F. (2007). **Cimento. Anuário Estatístico, 2007, Setor de Transformação de Não-Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – DTTM/MME - Ministério de Minas e Energia – MME, p. 25-33.

LITTLER, A., and MILLBURN, S. 2007. **Sand and Gravel Production**. Nottingham, England: Institute of Quarrying

- MAGALHÃES, A.C.F. 2007. **Mármore Bege Bahia: dos tempos pretéritos ao panorama atual.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, Natal, 2007, Anais, Natal, p. 288-293
- MCCARTER, M.K. 1992. **Open Pit Mining.** In SME Mining Engineering Handbook, 2nd ed. Edited by H.L. Hartman. Littleton, CO: SME.
- MORLEY, L.A. 1990. **Mine Power Systems.** Information Circular 9258. Washington, DC: U.S. Bureau of Mines.
- PENHA, A.E.P.P. 1994. **O Calcário Caatinga de Ouroândia, Bahia: Feições diagnósticas, gênese e evolução de um perfil calcrete.** Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Dissertação de Mestrado, 114p
- RIBEIRO, A.F. et al. 2002. **Mármore Bege Bahia em Ouroândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia:** geologia, potencialidade e desenvolvimento integrado. Salvador: CBPM. 56p. (Série Arquivos Abertos; 17).
- RIBEIRO, D. T. P. **Caracterização dos Silcretes do Membro Serra da Galga, Formação Marília, Grupo Bauru na Região do Triângulo Mineiro.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n.o 4, p. 663- 664, 2000.
- RIBEIRO, D. T. P. **Diagênese e Petrografia das Rochas do Membro Serra da Galga, Formação Marília, Grupo Bauru (Cretáceo da Bacia do Paraná), na Região de Uberaba, MG.** Ouro Preto (MG) 1997, 108 p. (Dissertação de Mestrado) Universidades Federal de Ouro Preto (MG).
- RIBEIRO, M., 1970. **Geologia da folha de Bom Jardim:** Rio Grande do Sul- Brasil. In: Boletim: Divisão de Geologia e Mineralogia. Brasília, 247: 1-142.
- ROTHERY, K., and Mellor, S. 2007. **Crushing and Screening.** Nottingham, England: Institute of Quarrying.
- SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Rochas e minerais industriais,** CETEM, 2005, Rio de Janeiro, v. 985, capítulo 16, p. 363-387.
- SCHNELLRATH, J.; ANDRADE, M.; ALVARENGA JUNIOR, L. P. e GOULART R. C. (2001). **Cimento Holdercim.** In: **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil.** Editores: João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Fernando Freitas Lins, CETEM/MCT, p. 175-185.
- SMITH, L.D. 1997. **A critical examination of the methods and factors affecting the selection of an optimum production rate.** CIM Bull. 90(1007):48–54.
- SUGUIO, K., BARCELOS, J. H. **Nota sobre a ocorrência de atapulgita em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná.** In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Anais... Recife: SBG, 1978. v. 3, p. 1170-1179.

THOMPSON, R.J., AND VISSER, A.T. 2000. **The reduction of the safety and health risk associated with the generation of dust on strip coal mine haul roads.** Final Project Report COL467. Pretoria: Safety in Mining Research Advisory Committee.

THOMPSON, R.J., AND VISSER, A.T. 2006. **Employing best practice in constructing, designing, monitoring and maintaining haul roads.** Presented at Mine Machine Productivity 2006, Perth, Western Australia, November 20–21.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1998. **Projeto Caçapava do Sul:** mapeamento geológico 1:25.000 1998

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL-UFRGS. **Projeto Lagoa da Meia Lua - Rufino Farias** - Vila Nova: Geologia da Faixa X. 1996. 178 f. Monografia (Conclusão de Curso de Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996. Mapeamento Geológico 1:25.000

WILDNER, W. et al.. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul:** Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil; Mapas geológicos Estaduais.

WRIGHT, V.P. 2007. Calcretes. In: NASH, D.J. & MCLAREN, S.J. (eds.). **Calcretes in geochemical sediments and landscapes.** Oxford, Blackwell Publishing, p. 10-45