



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

IAGO SILVA REBOUÇAS

**FORTALEZA/CE
2020.2**

IAGO SILVA REBOUÇAS

O ESTADO DA ARTE DOS DEPÓSITOS CROMITÍFEROS DO VALE DO JUCURICI (IPUEIRA-MEDRADO). CONCEITOS SOBRE MODELAGEM GEOLÓGICA 3D, GEOESTATÍSTICA E INTEGRAÇÃO DE DADOS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Huhn
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Christiano Magini
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente
Universidade Federal do Ceará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R24e Rebouças, Iago Silva.

O estado da arte dos depósitos cromitíferos do Vale do Jucurici (Ipueira-Medrado) : conceitos sobre modelagem geológica 3D, geoestatística e integração de dados / Iago Silva Rebouças. – 2021.

45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Sergio Roberto Bacelar Huhn.

1. Cromita. 2. Ipueira-Medrado. 3. Modelagem de Reservas 3D. 4. Geoestatística. 5. Geologia. I. Título.

CDD 551

AGRADECIMENTOS

A todos os heróis que passaram pela minha jornada pré- e durante a graduação.

A minha família (Luzia, Inaldo, Carmelita, Fátima, Francisca, Emanuel, Erick, Natálha, Nathany, Larissa's, Larina, Evilalda, Júnior e Éllen) que tanto me apoiaram durante o período da graduação. E em especial a duas Pessoas que partiram e que me motivaram durante esse período: Carmelena e Nathan.

Aos meus padrinhos Tia Corrinha e Tio Luciano pelo grande apoio durante a graduação.

Aos grandes amigos e companheiros de graduação: Maynara Paula, Matheus Edson, Débora Élide, Daniel Silveira, Gisele dos Santos, Igor Moreira, Israel Salles, Deidyane Alves, Joca Leite, Jonas Abreu e Isabela Oliveira.

Aos professores da banca: professores doutores, Sérgio Roberto Bacellar Huhn, Clóvis Vaz Parente e Christiano Magini.

Ao grupo de pesquisa GEOCE que tanto me apoiou: Cláudio Ângelo, Matheus Miranda, Linara Ivina, Cassiano Dias, Joice Shantala, Caio Rena, Aline Moreira, Camila Praxedes e Maykon Targino. Como também aos professores Michael Vandestein, Rita Gonçalves e Cynthia Duarte que tanto me deram suporte, apoio e força durante a graduação.

A empresa Datamine Brasil, pelo suporte através da capacitação técnica e acesso aos programas da empresa. Além disso, a gratidão à empresa refere-se as pessoas incríveis que conheci devido ao programa: Raylline Ferreira, Maciel Rudnick, André Reis, Izabele Rosa, Bénédicte Kifumbi, Lúcio, Lucas Bassan, Victor Soares (Pará), Thamires Bragança. Como também aos grandes amigos Davi, Agda, Chan e Letícia, que me deram total ajuda nesse período.

A empresa Geoscan e Geosupport pelo apoio e capacitação através do estágio.

Aos meus amigos que fiz e me ajudaram dentro da Residência Universitária: Matheus Santos, Everson Costa, Kelly Ávila, Állan Muniz, Sávio Silveira, Geferon Araújo, Jeferson Renêe e Thiara Barbosa.

E por fim, aos diversos amigos que fiz em Fortaleza dentro dos times de rugby (UFC e Asa Branca), Residência Universitária e em outros momentos da vida (Ermeson Bezerra, Levy Nascimento, Lucas Moura, Clóvis Brasil, Eliseu Rodrigues, Magna Bocage e Rodrigo Lima).

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.

Albert Einstein

RESUMO

O setor industrial da mineração é caracterizado como uma das atividades econômicas fundamentais, que dão base e alicerce para inúmeros outros setores do país, como a agricultura, a construção civil, as indústrias ceramistas e de beneficiamento para produção de ligas metálicas (GONZALO, 2015). Atualmente, de acordo com Agência Nacional de Mineração (ANM), o Brasil possui 53 títulos ativos de pesquisa e lavra para 37 substâncias metálicas, onde 80% do PIB brasileiro referente a produção mineral foram oriundos dessa classe, que dentre eles encontra-se o cromo. Através do desenvolvimento técnico-científico, a pesquisa mineral passou a ganhar novas técnicas e métodos determinísticos, permitindo a representação dos depósitos minerais em meios digitais (BITAR, 2000). Métodos cada vez mais tecnológicos e precisos passam a fazer parte ao escopo das geotecnologias no desenvolvimento científico, como aquisições geofísicas, ou mesmo através de sensores remotos como também a renderização de dados para projeção de dados em diferentes dimensões. Devido a esta evolução tecnológica, diversos métodos passaram a ganhar participação na caracterização de depósitos minerais, o que levou consequentemente no desenvolvimento da geoestatística como método fundamental na determinação em etapas de cubagem do depósito e estruturação de modelos digitais (FERANDES, 2009). A mina de Medrado, juntamente com a Ipueira, constituem-se como duas das principais minas de cromo explorado pela Companhia Ferroligas da Bahia (Ferbasa) e está entre os maiores depósitos desse tipo de *commodity* da América Latina. Diante disto, a organização e agrupamento das informações sobre depósitos cromíferos são grande importância para embasamento de novas pesquisas na região nesse gênero de depósito.

Palavras-chaves: Cromita; Ipueira-Medrado; Modelagem de reservas 3D; geoestatística

ABSTRACT

The industrial sector of mining is characterized as one of the fundamental economic activities, which provide the basis and foundation for numerous other sectors in the country, such as agriculture, civil construction, the ceramic and processing industries for the production of metal alloys (GONZALO, 2015). Currently, according to the National Mining Agency (ANM), Brazil has 53 active research and mining titles for 37 metallic substances, where 80% of the Brazilian GDP related to mineral production came from this class, which among them is the chrome. Through technical-scientific development, mineral research began to gain new techniques and deterministic methods, allowing the representation of mineral deposits in digital media (BITAR, 2000). More and more technological and precise methods become part of the scope of geotechnologies in scientific development, such as geophysical acquisitions, or even through remote sensors, as well as data rendering for data projection in different dimensions. Due to this technological evolution, several methods started to gain participation in the characterization of mineral deposits, which consequently led to the development of geostatistics as a fundamental method in the determination of deposit cubage stages and structuring of digital models (FERANDES, 2009). The Medrado mine, together with Ipueira, constitutes two of the main chrome mines explored by Companhia Ferro-ligas da Bahia (Ferbasa) and is among the largest deposits of this type of commodity in Latin America. The grouping of information on chromitiferous deposits is of great importance to support further research in the region in this type of deposit.

Keywords: Chromite; Ipueira-Medrado; 3D Reserve Modeling; Geostatistics

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	13
2.1. Objetivos Gerais	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. METODOLOGIA	14
4. CONCEITOS GERAIS, REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE	14
4.1 Geotecnologias na mineração	14
4.2 O que são os dados <i>Voxel</i> ?	15
4.3 Modelagem tridimensional de recursos minerais.....	16
4.4 Geoestatística aplicada a modelagem de recursos minerais	19
4.5 GEOLOGIA REGIONAL E METALOGENIA DOS DEPÓSITOS DE CROMO ...	20
4.5.1. Geologia regional do Cráton São Francisco.....	20
4.5.2. Mineralogia e Metalogenia dos depósitos de cromo	26
4.5.3. Estado da arte dos Distritos cromitíferos máficos-ultramáficos do Vale do Jacurici e Campo Formoso.....	30
4.5.2. Estado da arte das Minas de cromita Ipueira-Medrado	32
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais reservas minerais do Brasil.....	10
Figura 2 - Representação dos dados voxel.....	16
Figura 3 - Esquema ilustrativo da modelagem geológica tridimensional.....	16
Figura 4 - Representação do modelo geológico através de modelo de blocos	16
Figura 5 - Representação do corpo mineral por modelos de blocos	16
Figura 6 - Mapa geológico do norte do Cráton São Francisco	26
Figura 7 - Esquema ilustrativo do complexo ofiolítico	27
Figura 8 - Modelo esquemático ilustrando uma origem intrusiva para camadas de cromititos.....	29
Figura 9 - Mapa geológico-estrutural da região do Vale do Jucurici.....	31
Figura 10 - Seções representativas do seguimento Ipueira, Medrado, Monte Alegre Sul e Várzea do Macaco	33
Figura 11 - Mapa de localização das minas de Ipueira-Medrado.....	34
Figura 12 - Representações litológicas e registros estruturais em litotipos do distritito cromitífero do Vale do Jucurici.....	35
Figura 13 - Seção estratigráfica do Sill Ipueira-Medrado	36
Figura 14 - Seções geológicas construídas através de furos de sondagens ...	37
Figura 15 - Mapa de detalhe e seção estratigráfica da mina <i>underground</i> do segmento do sill de Medrado	38
Figura 16 - Mapa de detalhe, geológico e seção estratigráfica do segmento do sill de Ipueira Sul.....	39
Figura 17 - Mapa de detalhe, geológico e seção estratigráfica do segmento do sill de Ipueira II	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ilustração gráfica do consumo de cromo no mundo	11
Gráfico 2 - Representação gráfica das principais reservas cromitíferas do Brasil	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais países produtores de minério de cromo.....	11
Tabela 2 - Séries dos minerais por base de cromo em sua formação	26

1. INTRODUÇÃO

O setor industrial da mineração é caracterizado como uma das atividades econômicas fundamentais, que dão base e alicerce para inúmeros outros setores do país, como a agricultura, a construção civil, as indústrias ceramistas e de beneficiamento para produção de ligas metálicas (GONZALO, 2015). Essa grande importância do setor para a economia e por se tratar de um setor que lida com atividades estratégicas de um país, sempre há necessidades em mudanças tecno-científicas para a adequação a demanda exigida, reduzindo gastos e aumentando sua produtividade (ANDRADE, 2007; MARINI, 2016).

A pesquisa geológica dá fundamentos necessários para o desenvolvimento do setor mineral, e esse conhecimento abrange inúmeras etapas de pesquisa (ANDRADE, 2007). As atividades de pesquisa mineral são desenvolvidas tanto por órgãos públicos como privados, porém em ambos os âmbitos, buscam a geração de reservas minerais e até mesmo potenciais minas, transformando em riqueza um recurso até então desconhecido (ANDRADE, 2007). Esses projetos e campanhas, idealizadas por setores privados e ou públicos, geram produtos (cartas e mapas temáticos) essenciais para o desenvolvimento geocientífico e suas tecnologias (ANDRADE, 2007).

A indústria de exploração mineral de substâncias metálicas e não metálicas sempre tiveram fortes participações na economia nacional. Atualmente, de acordo com Agência Nacional de Mineração (ANM), o Brasil possui títulos ativos de pesquisa e lavra para 37 substâncias metálicas, onde 80% do PIB brasileiro referente a produção mineral foram oriundos dessa classe (ANM, 2020). Dentro dessa classe mineral, 99,7% do valor em produção (129 bilhões de reais em 2020), correspondiam a 11 *commodity* distribuídos pelo território nacional (Figura 1), sendo elas: alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco (ANM, 2020).

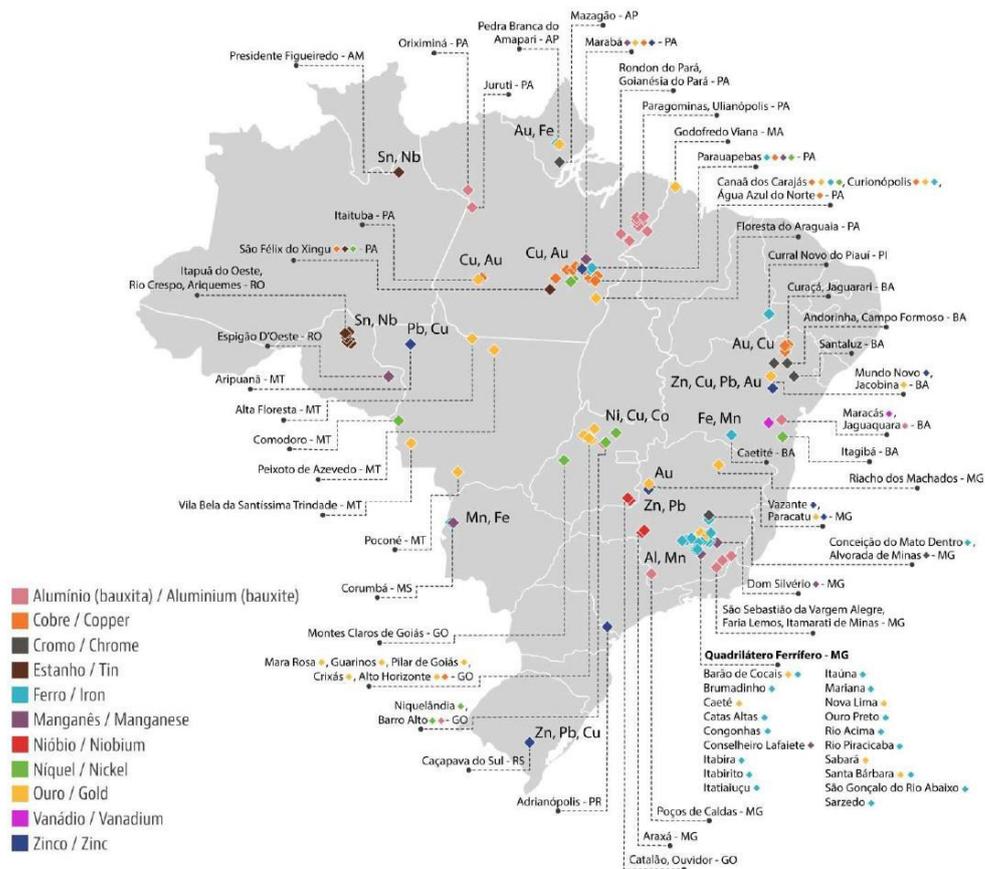
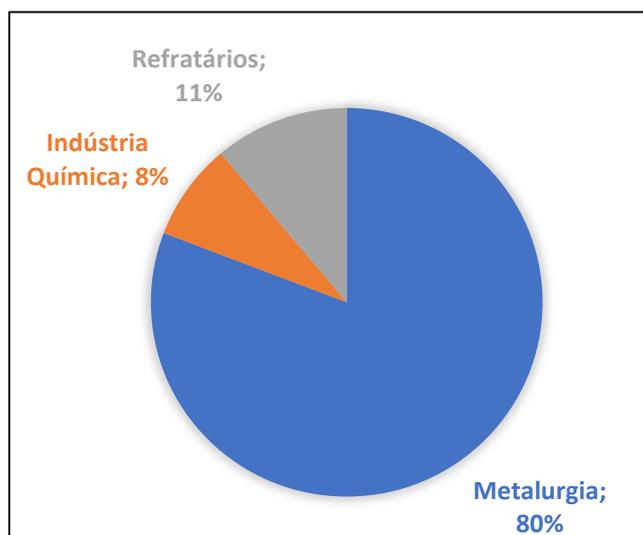


Figura 1: Principais reservas minerais do Brasil (Anuário Mineral Brasileiro 2020).

A Cromita ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), é um dos minerais que dão origem ao cromo, o quinto elemento metálico mais usado na indústria, ficando atrás apenas do ferro, manganês, alumínio e cobre (SAMPAIO, 2005). O mineral, é utilizado tanto como mineral metálico, quanto não metálico, sendo considerado um dos mais importantes minerais industriais do mundo e com vasta aplicabilidade, como na metalurgia (80% do seu consumo mundial), indústria química (8%) e refratários com um consumo de 11%, conforme o gráfico 1 (ALMEIDA, 2017; SAMPAIO, 2005).

Gráfico 1: Ilustração gráfica do consumo de cromo no mundo



Fonte: Adaptado de Almeida (2017) e Sampaio (2015)

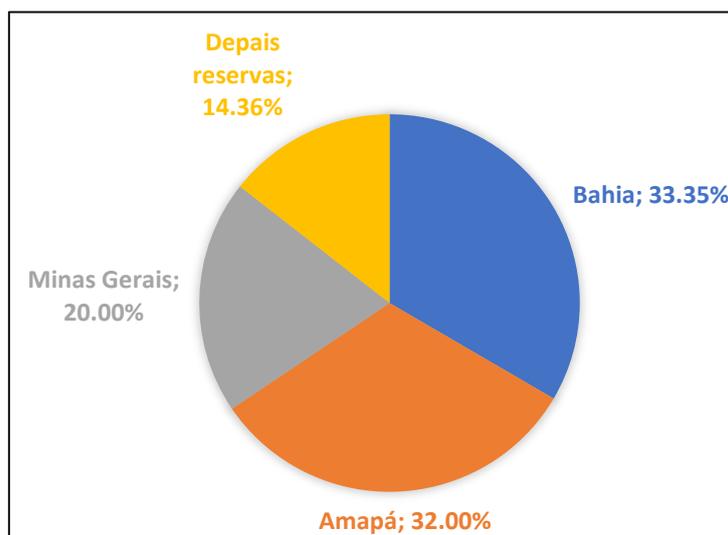
Em termos de reservas, as principais reservas de cromita estão localizadas na África do Sul, Cazaquistão e na Índia (>90% das reservas mundiais), além de serem os maiores polos produtores do metal (DALLA COSTA, 2017). O Brasil, tem destaque como o único produtor de cromo do continente americano e detém 0,11% das reservas mundiais, sendo as maiores reservas encontradas no estado da Bahia (33,53%), Amapá (32%) e Minas Gerais (20%; Gráfico 2; LIMA, 2016). Na tabela 1, pode ser visualizado o contexto mundial das produções do minério cromítico nos anos de 2016 e 2017, como também as reservas minerais respectivas aos países listados.

Tabela 1: Principais países produtores de minério de cromo.

País	Produção (em mil toneladas; peso bruto de cromita comercializável)		Reservas
	2016	2017	
África do Sul	14.7	15	200
Cazaquistão	5.38	5.4	230
Índia	3.2	3.2	54
Turquia	2.8	2.8	26
Estados Unidos	-	-	620
Outros países	4.16	4.2	-
Total	30.24	30.6	510.62

Fonte: adaptado de USGS, 2018

Gráfico 2: Representação gráfica das principais reservas cromitíferas do Brasil



Fonte: Adaptado de LIMA, 2016

Através do desenvolvimento técnico-científico, a pesquisa mineral passou a ganhar novas técnicas, permitiu-se a representação dos depósitos minerais em meios digitais (BITAR, 2000). Métodos cada vez mais tecnológicos e precisos passam a fazer parte ao escopo das geotecnologias no desenvolvimento científico, como aquisições geofísicas, ou mesmo através de sensores remotos como também a renderização de dados para projeção de dados em diferentes dimensões. Devido a esta evolução tecnológica, diversos métodos passaram a ganhar participação na caracterização de depósitos minerais, o que levou consequentemente no desenvolvimento da geoestatística como método fundamental na determinação em etapas de cubagem do depósito e estruturação de modelos digitais (FERANDES, 2009).

2. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Atualmente, há poucas pesquisas brasileiras que buscam trazer questionamentos atuais vinculados à modelagem dos depósitos cromitíferos. O desenvolvimento das geotecnologias vem proporcionado ao ramo mineral não somente o refinamento nos dados, como também permite abrir novos horizontes para conhecimentos ainda não explorados.

A mina de Medrado, juntamente com a Ipueira, constituem-se como duas das principais minas de cromo explorado pela Companhia Ferro-ligas da Bahia (Ferbasa) e está entre os maiores depósitos desse tipo de *commodity* da América Latina. Diante disto, a organização e agrupamento das informações sobre depósitos cromitíferos são grande importância para embasamento de novas pesquisas na região nesse gênero de depósito.

2.1. Objetivos Gerais

O trabalho em questão tem como objetivo principal fazer um estudo sobre o estado da arte dos conhecimentos geológicos, modelagem 3D, geoestatística e dos processos de formação de cromita dos depósitos de Medrado-Ipueira, Bahia.

2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisar e agrupar estudos e pesquisas de caráter regional do distrito cromitífero do Vale do Jucurici;
- Sintetizar informações atuais sobre os depósitos cromitíferos do Brasil e região da Bahia, buscando identificar e reportar as principais discussões já existentes sobre estes depósitos;
- Realizar um levantamento dos atuais conceitos de modelagem 3D e geoestatística aplicadas ao desenvolvimento digital de depósitos minerais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre depósitos minerais cromitíferos do distrito cromitífero do Vale do Jucurici, buscando analisar o contexto de formação, estruturação e gênese desses depósitos minerais, de modo a correlacioná-los com depósitos de cromita conhecidos de outras regiões.

Além disso, serão abordados através da revisão bibliográfica os trabalhos científicos que explanam sobre conceitos de modelagem 3D de depósitos minerais e geoestatística para a construção digital. Ao final do estudo, juntando as informações geológicas já existentes de depósitos de cromo com o aparato atual oferecido pelas geotecnologias, se avançará para a conclusão do trabalho, apresentando sugestões para o aprimoramento tecno-científico, no tratamento geoestatístico de depósitos minerais.

4. CONCEITOS GERAIS, REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE

4.1 Geotecnologias na mineração

Devido a sua ampla aplicabilidade, seja ela industrial, ambiental ou mesmo social, as geociências desenvolveram pesquisas fundamentadas na resolução dos dilemas socioambientais e econômicos. Em busca do suprimento das necessidades advindos da sociedade, as geociências passaram a incorporar gradualmente a tecnologia em suas pesquisas e aplicações.

Segundo BITAR (2000), as geotecnologias estão conectadas a necessidade da caracterização, avaliação e solução de problemas advindos da contínua relação das atividades humanas e o meio físico geológico. Portanto, seja por meio de construção de obras de engenharia e recursos hídricos ou mesmo exploração minerais, estas tecnologias passaram a serem usadas como resolução para diversos tipos problema. Na mineração não seria diferente, as geotecnologias ganharam seu espaço, contribuindo com a acessibilidade na aquisição dos dados e qualidade dos resultados.

Devido à grande cadeia processual da mineração, as geotecnologias passaram a serem aplicadas em várias fases deste segmento, seja durante a etapa de processamento de imagens de satélite e interpretação destas, como na aquisição e inversão de dados geofísicos e geodésicos, ou ainda, na sintetização das informações e modelagem computacionais em projeções 2-D, 3-D ou até mesmo 4-D de reservas minerais.

4.2 O que são os dados *Voxel*?

Com o decorrer do avanço da tecnociência, o desenvolvimento da visualização volumétrica passou a ser difundida como interpretação e análise de dados, por meio de técnicas de computação gráfica. Portanto, a “*visualização volumétrica é o processo de rendering¹, realizado com o objetivo de obter uma melhor compreensão da estrutura contida nos dados volumétricos*” (SEIXAS, 1999). Em sua obra, “*Introdução a visualização volumétrica*”, Seixas cita que a visualização volumétrica é definida como um processo de renderização (*rendering*) com o objetivo da obtenção da melhor compreensão da estrutura contida nos dados volumétricos.

O desenvolvimento de aplicações de visualização visa fornecer aos usuários cientistas ferramentas que auxiliem nas mais variadas tarefas que requerem formas de analisar, exibir e explorar o interior de grandes volumes de dados multidimensionais (que geralmente variam com o tempo), para permitir que o usuário consiga identificar características significativas e obter os resultados desejados mais fácil e rapidamente. (MANSSOUR, 2002)

Para o desenvolvimento de um modelo em projeção tridimensional, são usados os dados *Voxel* para a estruturação e caracterização dos objetos de estudo. O *Voxel* também conhecido como “células” (ELVINS, 1992), é um dado volumétrico que representa uma única amostra ou dado pontual em uma malha regular tridimensional. Portanto, A modelagem é realizada iterativamente usando técnicas de modelagem de voxel com ferramentas desenvolvidas para este fim.

Os dados volumétricos são geralmente tratados como uma matriz de elementos de volume, denominados *voxels* (análogo 3D de um *pixel*). *Voxels* são paralelepípedos, fortemente agrupados, formados pela divisão do espaço do objeto através de um conjunto de planos paralelos aos eixos principais desse espaço (SEIXAS, 1999).

¹ Redering ou renderização 3D, se refere aos cálculos realizados por um software através de uma aproximação matemática a fim de que uma cena modelada em 3D resulte em uma imagem 2D. Durante o processo, as informações espaciais, de textura e de iluminação da cena são combinadas para determinar o valor de cor de cada pixel na imagem renderizada (OLIVEIRA, 2019).

Em literatura (Figura 2), estes dados apresentam dois sentidos no que concerne sua representação em conjunto. A primeira é vista como um hexaedro estabelecido em torno de um valor amostrado, e a segunda baseada baseada em um hexaedro, porém os valores estão distribuídos nos vértices do volume.

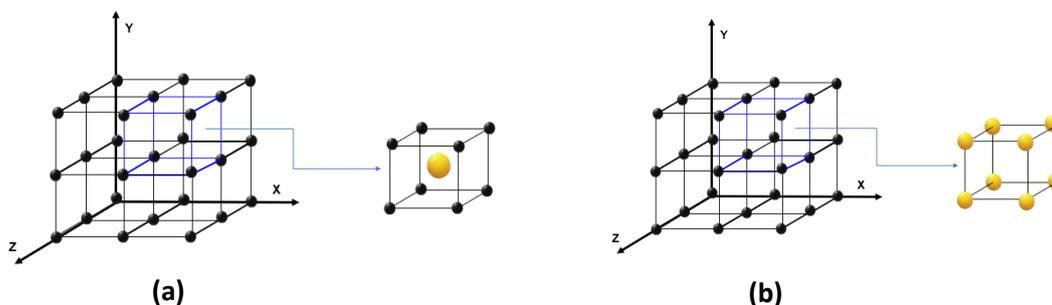


Figura 2 - Representação dos dados voxel. Na imagem (a), observa-se o hexaedro definido em torno do valor do dado, já em (b) o hexaedro os valores amostrados estão nos vértices.
Fonte: Representação adaptada de SEIXAS (1999).

4.3 Modelagem tridimensional de recursos minerais

Quando é falado do projeto minerário, muitos questionamentos são levantados para a boa descrição do objeto de estudo, buscando um bom nível de detalhamento, para a melhor eficiência no aproveitamento dos recursos minerais. Sendo assim, é de máxima importância para qualquer atividade mineral que haja uma caracterização acurada em função de diferentes projeções dos recursos que estão contidos na área de implantação da atividade extrativista (SILVA, 2016). As propriedades geológicas apresentam variação espacial, ou seja, podem ser apresentadas através de medidas em números reais ou categorizados, como também podem mudar em função de controles estruturais ou estratigráficos (SILVA, 2000). Devido à influência direta na formação dos depósitos, estes controles demandam de informações refinadas para a caracterização das porções aflorantes como também em subsuperfície. A conjunção de modelamento em uma área delimitada por controle estrutural e metalogenético mostrou eficiência na prospecção de jazimentos não aflorantes, que são um paradigma comum na pesquisa mineral atual.

Silva (2000) explica ainda, que as investigações são realizadas por meio de interpolação de dados de testemunhos de furos de sondagens, permitindo realizar a discretização e a qualificação das unidades com mesmos atributos geológicos.

O conjunto de amostras de testemunhos de sondagens sequencialmente organizadas e distribuídas espacialmente, permitem o desenvolvimento de seções verticais. Estas seções por sua vez, quando emparelhadas, permitem a construção dos modelos por base das informações contidas nos testemunhos. Segundo SILVA (2000), quando desenvolvida em meio computacional, as seções permitem a modelagem geométrica, gerando polígonos que sintetizam as áreas com os mesmos atributos geológicos. A união dos objetos de superfícies criadas (polígonos), possibilitam a construção do sólido tridimensional cujo a geometria do volume representa os atributos contidos. O esquema apresentado na Figura 3, mostra o método empregado por meios computacionais para realizar a modelagem geológica.

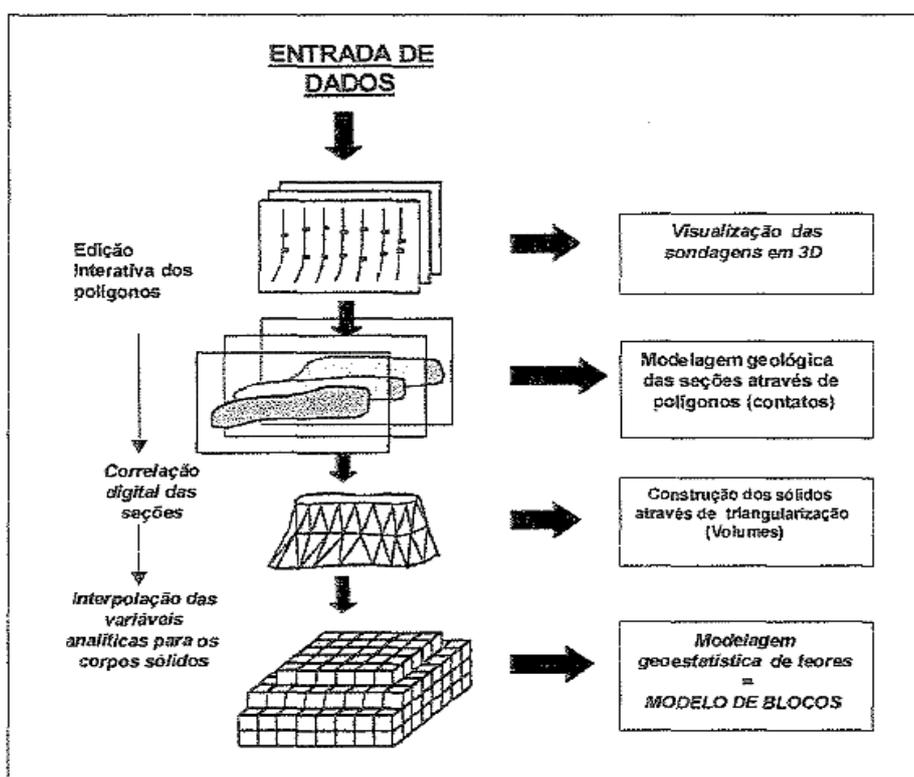


Figura 3 - Esquema ilustrativo da modelagem geológica tridimensional (Fonte: SILVA, 2000)

Muitos depósitos minerais não apresentam uma geometria de fácil modelagem tridimensional, por vezes, apresentam estruturas de alta complexibilidade, o que dificultou por muito tempo as implementações computacionais para representação dos corpos geológicos. Diante disto, Renard & Courioux (1999) explicam que, os sistemas computacionais hoje utilizados

para modelagem geológica são adaptações de *software* de CAD (*Computer Aided Design*).

Com o avanço na tecnologia no que concerne a modelagem de recursos minerais e meio computacional, os planejadores de mina representam o meio geológico por um conjunto de blocos regulares tridimensionais denominado modelo de blocos (CAMPOS, 2017). Os modelos de blocos foram inicialmente utilizados devido a sua regularidade geométrica, o que se assemelhava ao padrão retangulares dos das operações de desmonte (JONHSON, 1968). As dimensões dos blocos variam em função dos equipamentos e estruturas geológicas, altura de bancos, dentre outras características (CAMPOS, 2017). Campos explica ainda, que a metodologia clássica para a construção de modelos de blocos é iniciada pela interpretação geológica. Esta interpretação das seções, permitem a criação de modelos 3D conhecido como modelo de *wireframes* ou superfície de *wireframes*.

Com as superfícies (*wireframes*) do modelo já definidas por meio de técnicas de triangularização² e método de modelagem por seções, o corpo mineral passa a ser subdividido em blocos regulares em três dimensões (Figura 4) com coordenadas estabelecidas. A Figura 5, mostra a representação final do corpo geológico através de modelos de blocos.

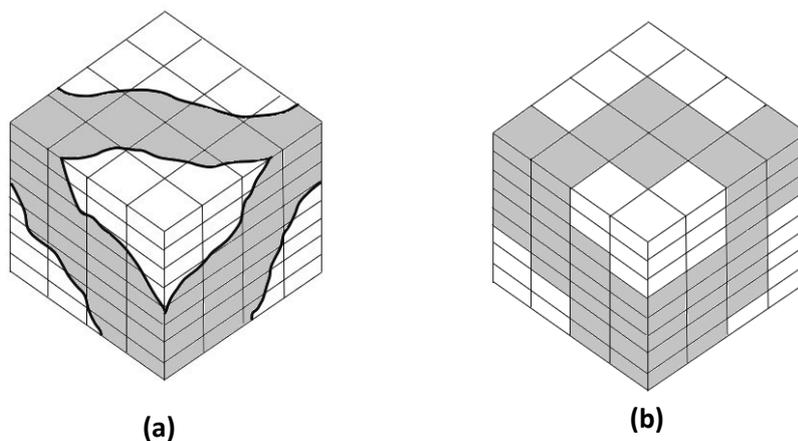


Figura 4 – O primeiro bloco (a) diagrama representa a interpretação geológica. O segundo (b), representa a interpretação geológica em função do modelo de blocos. (Adaptado de DARLING, 2011)

² A triangularização constitui-se de uma técnica que desenvolve uma grade irregular triangular formado por poliedros de faces triangulares para formar uma superfície contínua. Em um modelo de grade irregular triangular os pontos amostras são conectados por linhas para formar triângulos. (FELGUEIRAS, 2001)

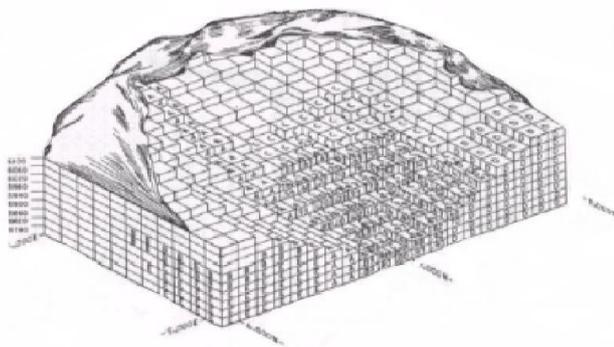


Figura 5 - Representação do corpo mineral por modelos de blocos
(Fonte: DAGDELEN, 2001)

De acordo com SILVA (2000), as principais vantagens do modelo 3D estão relacionadas a possibilidade de reproduzir e elaborar diferentes cenários, atualizar e ajustar os modelos para novas informações de modo mais eficiente e rápido.

Após a estruturação do modelo de blocos do corpo mineral, as unidades dos blocos precisam apresentar valores e atributos. Estas informações, são introduzidas nos blocos por técnicas de interpolação, atribuindo-lhes informações de teor de minério, densidades, litotipos correspondentes as amostras, dentre outros atributos.

4.4 Geoestatística aplicada a modelagem de recursos minerais

A etapa de estimativa dos recursos minerais se configura como processos matemáticos para a obtenção dos valores de tonelagem do corpo mineral, teor de minério, tamanho e forma, como também a localização dos depósitos (DARLING, 2011).

A análise prévia dos dados por meio de estatística clássica permite o conhecimento das características dos dados, como também analisa a distribuição espacial destes. De acordo com Fernandes (2009), é a partir da estatística, que é possível inferir e obter diferentes informações dos dados: diferentes populações indicando litologia e ou mineralizações diferentes estabelecendo de teor de minério dentre outras informações. Fernandes ainda explica, que para atingir os objetivos de extração dos dados estatísticos, devem-se calcular as medidas de tendência central (média, mediana e moda), e as medidas de dispersão em torno da média, que se constitui pela variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação (FERNANDES, 2009).

A geoestatística surgiu inicialmente voltada para a resolução de problemas na mineração na etapa de estimativa de recursos e reservas minerais,

que posteriormente, passou a ser empregada em outras áreas. Dentro da mineração, ganhou destaque como solução de problemas de estimativas. Portanto, configura-se como um método probabilístico, com dados espacialmente coordenados para o estudo dos valores amostrados, que permite estimar variáveis em locais não amostrados (FERNANDES, 2009).

De acordo com Yamamoto (2015), a geoestatística tem um papel fundamental no planejamento de lavra de curto, médio e longo prazos, pois, por meio de estimativas atualizadas das reservas minerais, pode auxiliar na tomada de decisões na operação da mina.

Entre os problemas operacionais que a Geoestatística pode resolver estão: definição da quantidade e localização de amostras vizinhas para estimativa de um bloco; reconhecimento e tratamento de amostras agrupadas por amostragens preferenciais ou detalhadas de zonas mais ricas em minério; tipo de mineralização em estudo (distribuição e variabilidade espaciais da variável de interesse); transformação de variáveis; geometria. (YAMAMOTO, 2015)

A geoestatística pode ser entendida como uma subárea da estatística, cujo as técnicas e métodos visam o estudo das variáveis regionalizadas, buscando entender a aleatoriedade dos dados, estruturação espacial e as funções de correlações destes (YAMAMOTO, 2015). Estas variáveis de acordo com Matheron (1965), possuem as mesmas características qualitativas dos fenômenos que elas representam, como também apresentam características de localização, suporte, continuidade e anisotropia (Matheron, 1965, *apud* Fernandes, 2009).

4.5 GEOLOGIA REGIONAL E METALOGENIA DOS DEPÓSITOS DE CROMO

4.5.1. Geologia regional do Cráton São Francisco

Dentro da evolução geológica, os crátons do continente sul-americano e africano são entendidos como porções interiores mais estáveis das placas, que ao final do Neoproterozóico se amalgamaram após uma série de colisões diacrônicas (BRITO NEVES et al. 1999; CAMPOS NETO, 2000; ALKMIM et al. 2001 *apud* ALKMIM, 2004). As margens das placas, juntamente com as partes a elas adicionadas passaram a compor os cinturões orogênicos brasilianos-panafricanos (ALKMIM, 2004).

O Cráton São Francisco apresenta duas feições tectônicas que estruturam o embasamento cristalino do cráton que são partes o orógeno paleoproterozóico e seus antepaís (ALKMIM, 2004). Em si, o cráton está delimitado pelas faixas brasileiras Brasília, a sul e oeste, a noroeste pelo Rio Preto, a norte pelo Riacho do Pontal e Sergipana e a sudeste pela faixa Araçuaí (ALMEIDA, 1977; 1881 apud ALKMIM, 2004). No interior do cráton, sua maior parte é recoberto por unidades pré-cambrianas e fanerozóicas, compreendendo três grandes unidades morfotectônicas: Bacia do São Francisco, o Aulacógeno do Parnamirim e uma grande parte do Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (ALKMIM, 2004). Alkmim (2004) ainda afirma, que além das coberturas citadas anteriormente, também compõe a este grupo de afloramentos do interior do cráton os domínios das coberturas neoproterozóicas de antepaís do Rio Pardo e da Faixa Sergipana.

O Embasamento do Cráton São Francisco adquiriu estabilidade ao final do evento transamazônico, sendo possível assumir que o embasamento do cráton é constituído por rochas e feições tectônicas de idade superior a 1.8 Ga (ALMEIDA, 1977). Quanto as duas feições tectônicas no embasamento do cráton, entende-se que o orógeno paleoproterozóico está presente de forma apenas fragmentária no seu interior, uma pequena porção do seu cinturão externo encontra-se preservada e exposta no extremo sul do cráton compreendendo o Quadrilátero Ferrífero e adjacências, denominado de Cinturão Mineiro (TEIXEIRA et al.1996 apud ALKMIM, 2004). Outro fragmento considerável do mesmo orógeno paleoproterozóico, aflora na porção norte do cráton, envolvendo parte do substrato do Aulacógeno do Paramirim e toda a área compreendida entre a Chapada Diamantina e o litoral baiano (FIGUEIREDO, 1989; TEIXEIRA & FIGUEIREDO, 1991; MARINHO et al., 1993; LEDRU et al., 1994; 1997; TEIXEIRA et al., 2000; BARBOSA & SABATÉ, 2001; 2004 apud ALKMIM, 2004).

No interior do Cráton também é possível identificar a presença de um núcleo arqueano estável, que possivelmente constitui o embasamento da maior parte do cráton (além das faixas Uraçuaí e Brasília). Esse núcleo arqueano remete a um possível cráton transitório, que se estabilizou após o Evento Jequié (2.7 Ga) e teve suas margens retrabalhadas durante os eventos Transamazônico e Brasileiro. Esse material pretérito junto ao que foi retrabalhado resultou na

configuração que hoje é denominada como Cráton São Francisco (ALMEIDA, 1981 apud ALKMIM, 2004).

O Cinturão Mineiro corresponde a porção do embasamento exposto no Sul do cráton que experimentou deformação (ALKMIM & MARSHAK, 1998 apud ALKMIM, 2004) e ação termal (NOCE et al. 1998; MACHADO et al. 1992; OLIVEIRA, 2004 apud ALKMIM, 2004) no decorrer do Evento Transamazônico. Esse terreno envolve: (a) um complexo metamórfico basal, b) as Supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, c) o Supergrupo Minas e d) o Grupo Itacolomi. Porém além destes também existem volumes de granitóides arqueanos e paleoproterozóicos (ALKMIM, 2004).

- (a) O complexo metamórfico ocupa a maior parte da exposição do embasamento no Sul do cráton e nas áreas vizinhas ao Quadrilátero Ferrífero. É constituído por TTG's (gnaisses e migmatitos), cujos protólitos formaram-se entre 2,9 e 3,2 Ga, corpos de anfibolitos e ultramáficas, (TEIXEIRA et al. 2000; MACHADO & CARNEIRO, 1992; CARNEIRO et al. 1998 apud ALKMIM, 2004). Granitóides calcialcalinos com idades em torno de 2,78 Ga e granitóides anorogênicos formados entre 2,7 e 2,6 intrudem os gnaisses e migmatitos mais antigos (CARNEIRO et al, 1994; Machado et al. 1992; NOCE, 1995; NOCE et al. 1998 apud ALKMIM, 2004).
- (b) O Supergrupo Rio das Velhas é composto por uma típica sucessão greenstone belt, que congrega metavulcânicas (komatiitos, basaltos, vulcanoclásticas), incluindo formações ferríferas, carbonatos e terrígenos. A idade de vulcânicas félsicas da base desta unidade é de 2,78 Ga (MACHADO et al. 1992 apud ALKMIM, 2004). À exceção da geração mais jovem de granitóides, todos os componentes arqueanos que formam o substrato do Cinturão Mineiro foram deformados e metamorfisados no curso do Evento Rio da Velhas, que teve lugar entre 2,78 e 2,7 Ga (CARNEIRO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 2000 apud ALKMIM, 2004).
- (c) O Supergrupo Minas tem como unidades basais quartzitos, filitos, rochas carbonáticas e BIFs do tipo lago superior (DORR, 1969 apud ALKMIM, 2004). A idade do Supergrupo de 2.7 – 2.0 Ga foi estimada com base em relações de campo com as rochas mais jovens do substrato e datações de zircões detríticos (NOCE, 1995; RENGGER, 1995; MACHADO et al. 1996 apud ALKMIM, 2004). As unidades do Supergrupo indicam o

estabelecimento de uma margem passiva no continente transicional anterior recém consolidado, no qual nas porções mais superiores do Supergrupo encontra-se, essencialmente, material terrígeno, marcados por uma discordância que os separa das unidades basais (ALKMIM & MARSHAK, 1998 apud ALKMIM, 2004).

- (d) O Grupo Itacolomi é composto por meta-arenitos e metaconglomerados aluviais, recobrimdo todas as demais unidades. O Grupo é interpretado como um evento pós-tectônico em relação ao evento Transamazônico (DORR, 1969; ALKMIM & MARSHAK, 1998 apud ALKMIM, 2004).

A porção do embasamento localizado ao norte do Cráton (Figura 6) é denominado como Fragmento do Orógeno Paleoproterozóico. Essa porção possui quatro componentes litotectônicos principais, os Blocos a) Gavião; b) Jequié; c) Serrinha e d) Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá. Esses quatro terrenos são todos arqueanos, porém dispostos de maneiras diferentes dentro da escala de tempo geológico, ou seja, possuem toda composição e ambiência gênica distintas (BARBOSA & DOMINGUEZ, 1996; TEIXEIRA et al. 2000; BARBOSA & SABATÉ, 2001; 2004 apud ALKMIM, 2004). Segundo Barbosa & Sabaté (2001; 2004 apud ALKMIM, 2004), os blocos apresentam as seguintes características:

- (a) O Bloco Gavião compreende um núcleo arqueano intacto com retrabalhamento nas bordas. É nesse contexto que se encontram as rochas mais antigas do Cráton São Francisco. Ou seja, essa porção engloba TTGs de 3.4 Ga, duas gerações de granitóides, uma de 3.2 – 3.1 Ga e outra de 2.7 Ga, e sequências greenstone belts. Todas as rochas desse grupo se encontram metamorfolizadas na fácies anfíbolito;
- (b) O Bloco Jequié é composto essencialmente por migmatitos datados em 2.9 Ga e granitóides de 2.7 Ga. O Bloco Jequié apresenta intensas formas de deformação e metamorfismo datados do transbrasiliano nas condições de fácies granulito. Além disso é nessa porção que são mais visíveis a presença de metassedimentos e metavulcânicas básicas, que aparecem preenchendo riftes dispostos sobre o bloco;
- (c) O Bloco Serrinha é similar aos blocos anteriores e apresenta forte metamorfismo, agora na fácies anfíbolito, e também apresenta sequências greenstone belts paleoproterozóicas, aqui cobrindo parte do

embasamento e em contexto de bacias de retro-arco. O embasamento é composto por granitos e tonalitos datados em 2.9 Ga;

- (d) O Cinturão Itabuna-Salvador-Curaça compreende um terreno formado por tonalitos, trondhjemitos. É caracterizado num contexto de arco-magmático neoarqueano/paleoproterozóico. Nessa porção de convergência paleoproterozóica também é visível metamorfismo e deformação na fácies granulito, similar ao encontrado no Bloco Jequié. Também se encontram rochas shoshoníticas. Estes terrenos estão justapostos por zonas de empurrão. Os depósitos e minas de cromita estão inseridos neste cinturão (TEIXEIRA, 2010).

Já em relação às coberturas proterozóicas e fanerozóicas que ocorrem sobre o embasamento acima discutido, destacam-se: (a) A Bacia São Francisco, (b) O Aulacógeno Parnamirim e (c) O Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá.

- (a) A Bacia do São Francisco é uma típica bacia intracratônica de caráter polihistórico, ou seja, possuindo unidades que registraram regimes tectônicos distintos;
- (b) O Aulacógeno Parnamirim, feição morfotectônica que tem seus limites coincidentes com os limites entre o cráton e as faixas brasileiras da porção norte, tem como unidades de preenchimento;
- (c) Segundo Magnavita & Milani e Thomaz Foy (1992;2000 apud ALKMIM 2004) o rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá representa um ramo não desenvolvido do sistema de riftes que deu origem ao Atlântico Sul. Sua composição é essencialmente de semi-grabbens e seu preenchimento compreende três mega-sequências que caracterizam seus estágios evolutivos principais (Milani & Thomaz Foy, e Silva et al., 2000 apud ALKMIM, 2004);

4.5.2. Mineralogia e Metalogenia dos depósitos de cromo

O cromo é encontrado na natureza sob a forma de alguns minerais específicos, como cromita e magnesiocromita, que fazem parte do grupo dos espinélios, que contém magnésio, cromo, ferro e alumínio em sua estrutura (SAMPAIO, 2005). A cromita, dentro dos minerais com cromo, é o único mineral minério que apresenta viabilidade econômica.

Tabela 2: Séries dos minerais por base de cromo em sua formação (espinélio, cromita e magnetita).

SÉRIES	ELEMENTO BÁSICO	MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
Cromita	Cromo	Cromita	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$
		Magnesiocromita	$\text{Mg O} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$
Espinélio	Alumínio	Espinélio	MgAl_2O_4
		Hercinita	FeAl_2O_4
		Gahnita	ZnAl_2O_4
		Galaxita	MnAl_2O_4
Magnetita	Ferro	Magnetita	FeFe_2O_4
		Magnesioferrita	MgFe_2O_4
		Franklinita	$(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})$ - $(\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{ZnFe}_2\text{O}_4$
		Jacobisita	MnFe_2O_4
		Trevorita	NiFe_2O_4

Fonte: Adaptado de SAMPAIO, 2005.

De acordo com Sampaio (2005), a sua composição teórica da cromita, contém 68% de Cr_2O_3 e 32% de FeO , porém devido às implicações das impurezas, esses valores nunca são encontrados na natureza. Sampaio afirma, que sob os aspectos cristalográficos, a cromita é um óxido com a estrutura dos espinélios, cuja a fórmula cristalográfica apresenta-se como XY_2O_4 .

Em contexto de gênese de formação dos depósitos de cromita, estes são formados como resultado da cristalização do mineral durante o processo de arrefecimento do magma, sendo a cromita a única fase cúmulos (SAMPAIO, 2005; FERREIRA FILHO, 2002). Segundo Ferreira Filho (2002), para que haja a deposição de cromita na câmara magmática, precisa-se ocorrer relações de fases bem específicas para que o sistema entre no campo de estabilidade da cromita.

Através da forma como se desenvolvem os depósitos, podem ser classificados em dois grupos distintos: i) os depósitos de cromita compacta (estratiformes) e ii) podiformes (STOWE, 1994). Um terceiro grupo passou a ser introduzido aos gêneros de depósitos de cromita por Kropschot e Doebrich

(2010), os cromititos relacionados a complexos máfico-ultramáficos zonados tipo alasquiano-uraliano (FRIEDERICH, 2018).

O primeiro grupo, os estratiformes, são depósitos cromitíferos tabulares, que ocorrem em leitos de intrusões ígneas, e são responsáveis por um expressivo percentual das reservas de cromo conhecidas no mundo, totalizando 90% das reservas (SAMPAIO, 2005). Estas intrusões são formadas em formatos de escudos e apresentam idades superiores a 1,9 bilhões de anos (Idades pré-cambrianas, entre o Arqueano e Paleoproterozoico), associada a intrusões máfico-ultramáficas acamadadas (SAMPAIO, 2005; THAYER, 1972). As intrusões máfica-ultramáficas estão associadas a terrenos cratonicos ou mesmo relacionados a eventos de rifteamento. Compreendem rochas como dunitos, peridotitos, piroxenitos e gabros. A mineralização do tipo disseminada e/ou maciça pode conter até 90% ou mais de cromita na zona maciça estando associada a porções inferiores das intrusões (THAYER, 1972). No Brasil, um grande exemplo para esse tipo de depósito pode ser encontrado no estado da Bahia, no Complexo máfico-ultramáfico de Campo Formoso, no Vale do Jucurici.

O segundo grupo desses tipos de depósitos, os podiformes, ocorrem associados a rochas máficas-ultramáficas igualmente os estratiformes, porém seu diferencial ocorre no sistema de formação, sendo os podiformes relacionados a formação em complexos ofiolíticos (Figura 7; MOORES, 2003). Esses depósitos ocorrem ao longo de bordas de placas tectônicas acrecionárias na litosfera oceânica, e sendo preservadas no continente através de sua incorporação às margens continentais através de processos de obducção (MOORES, 2003).

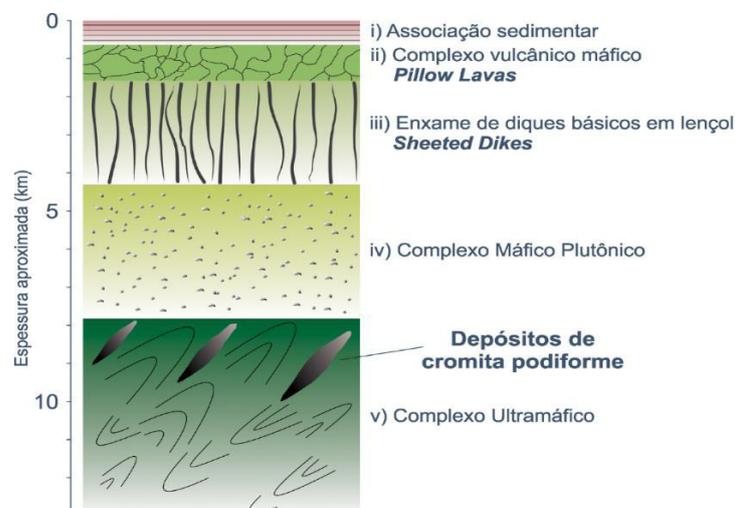


Figura 7: Esquema ilustrativo do complexo ofiolítico
Fonte: DICKEY, 1975 apud DIAS, 2020

Friedrich (2018) explica baseado em outros autores como Jackson (1961, 1963) e Eales (2000) que em função da forma como a cromita se cristaliza na câmara magmática e em função da remobilização dos cristais, podem ser agrupadas em dois grupos em complexos acamadados: *on stage* e *off stage*.

O primeiro modelo, *On-Stage* foi proposto por Jackson (1961, 1963) baseado em estudos das camadas cromitíticas do Complexo de Stillwater nos Estados Unidos. Neste modelo, Jackson (1963), determina que os cristais de cromita passam a se cristalizar próximo a base da câmara magmática, se estabelecendo em um magma relativamente estagnado e sem transporte lateral, onde o deslocamento cotético seria causado pela mistura do magma residente, mais evoluído, com um primitivo (com contaminação crustal) a adentrar a câmara (IIRVINE, 1977 apud FRIEDERICH, 2018). Além disso, de acordo com Friederich (2018), o autor (Jackson) em 1963, publicou importantes variações na soma de ferro total ($Fe^{2+} + Fe^{3++}$) entre as camadas, como também variações laterais na razão de oxidação ($Fe^{3+}/Fe^{2+}+Fe^{3+}$).

Às variações laterais na razão de oxidação o autor atribuiu a existência de um gradiente lateral na fO_2 do magma durante a formação da Zona Ultramáfica, o que poderia estar relacionado ao padrão de convecção na célula, ao posicionamento dos condutos alimentadores ou à extração de água dos sedimentos intrudidos, ao longo das margens da intrusão (JACKSON 1963 apud FRIEDERICH, 2018).

O modelo *On-Stage*, apresenta também outras propostas em sua formação, onde de acordo com Cameron (1980) propõe a cristalização das cromitas nas câmaras em função de flutuações de pressão total, onde o magma estaria próximo ao limite para precipitação da cromita, onde variações provocadas por oscilação de pressão deslocaria o sistema para o campo de estabilidade da cromita (CAMERON, 1980 apud FRIEDERICH, 2018). Outros autores propõem as flutuações na pressão total ocasionadas através de bolhas de CO_2 e aumento da câmara magmática (Lipen, 1993), e posterior diminuição ou escape magmático como agente do deslocamento para o limite olivina-cromita (LIPEN, 1993, apud FRIEDERICH, 2018). Friederich (2018) argumenta, que a única forma de cristalização para a cromita preceder o piroxênio é se a concentração inicial de Cr_2O_3 for maior que 0,2% da massa.

O segundo modelo, *Off-Stage* do qual foi proposto por Eales (2000), descreve que juntamente com a câmara magmática que formou o Complexo de Bushveld³, na mesma época, haveria uma segunda câmara magmática contendo um magma mais rico em composição magnesian e mais rico em Cr, onde processos de cristalização fracionada e assentamento gravitacional estariam ocorrendo (FRIEDERICH, 2018). Friederich (2018) explica, que através de escapes líquidos *intercumulus* dessa segunda câmara, uma injeção magmática contendo até 3% de microfenocristais de cromita foi adicionada à câmara de Bushveld previamente cristalizada, o que acabou enriquecendo em Cr. Além disso, um modelo similar foi proposto por Voordouw (2009), onde a cromita seria formada ao longo de condutos alimentadores da câmara através da mistura de magmas que fluíram através desse espaço e se acumularam em armadilhas estruturais (VOORDOUW, 2009 apud FRIEDERICH, 2018). Friederich (2018) explica, que os cristais de cromita acumulados ao longo dos condutos seriam remobilizados e injetados na câmara magmática em forma de *sills* através de uma lama cromitífera contendo em torno de 53 a 62% de cromita (Figura 8).

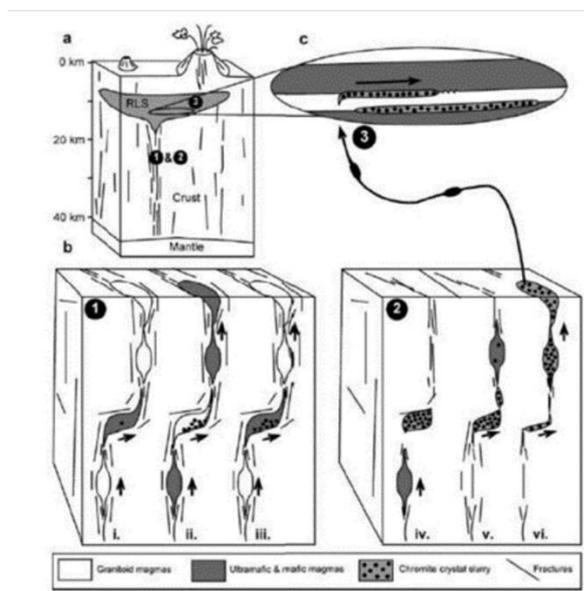


Figura 8: Modelo ilustrando uma origem intrusiva para camadas de cromitito. (a) Esboço da crosta terrestre, mostrando as localizações aproximadas das três etapas. (b) Etapas 1–3: (1) acumulação de lama cromitífera em uma armadilha estrutural; (2) remobilização da lama rica em cristais de cromita e ascensão através do conduto; (3) colocação da lama cromitífera ao longo de contatos litológicos na Suíte Acamadada de Rustenburg. (Fonte: VOORDOUW, 2009 apud FRIEDERICH, 2018).

³ O Complexo máfico-ultramáfico de Bushveld foi usado como base de estudo por Eales (2000) para o desenvolvimento do modelo sobre remobilização dos cristais de cromita *Off-stage*. Esse Complexo localiza-se na África do Sul.

4.5.3. Estado da Arte dos distritos cromitíferos máfico-ultramáficos do Vale do Jacurici, Campo Formoso

O complexo máfico-ultramáfico do Vale Jucurici localiza-se no nordeste do estado da Bahia, sendo esta parte integrante do Cráton São Francisco, limitado por três faixas móveis neoproterozóicas, possuem idades datadas entre 2085 ± 5 Ma, o que é similar a idade do pico metamórfico na região (Faixa Riacho do Pontal-Formosa, Rio Preto e a Sergipana e Araçuaí; BARBOSA, 1996; FRIEDERICH, 2018). O complexo hospeda vários corpos intrusivos máfico-ultramáficos encaixados em granulitos e gnaisses (BARBOSA, 1996). Os litotipos predominantes desse complexo são gnaisses leucocráticos granodiorítico a tonalítico, contendo intercalações de anfibolitos, formações ferríferas bandadas, olivina-mármore, calcissilicáticas ricas em diopsídio, quartzitos, gnaisses granadífero e metacherts (FRIEDERICH, 2018 apud MARINHO, 1986). Os corpos anfibolíticos que antes eram considerados de origem sedimentar, passaram a serem entendidos como metagabronorito como proposto por Silveira et al. (2015), que posteriormente, Marques et al. (2017) sugeriram como intrusões cogenéticas ao Complexo Jacurici.

No complexo em questão, os corpos cromitíferos ocorrem no bloco Serrinha em contextos arqueanos. Segundo Friedrich (2018), as intrusões que ocorrem no complexo do Vale Jucurici, compreendem uma área de aproximadamente 70Km de extensão e 20Km de largura, onde em grande maioria, estão orientados em N-S.

Ao longo do Vale Jucurici (Figura 9) e de acordo com Alves (2005), 14 corpos cromitíferos foram identificados no ano de 2005, nomeados de norte para o sul: Logradouro do Juvenal, Várzea do Macaco I, Várzea do Macaco II e Várzea/Teiú (município de Uauá); Monte Alegre, Cemitério, Riachão I, Riachão II, Barra, Algodões e Lajedo (município de Monte Santo); Medrados, Pindoba, Ipueira/Socó e Pedra do Dórea (município de Andorinha); Laje Nova (município de Cansanção); e por fim, Barreiro e Pau Ferro (município de Queimadas). Porém em estudos mais recentes, de acordo com Friedrich (2018), atualmente são catalogados 22 corpos máfico-ultramáficos.

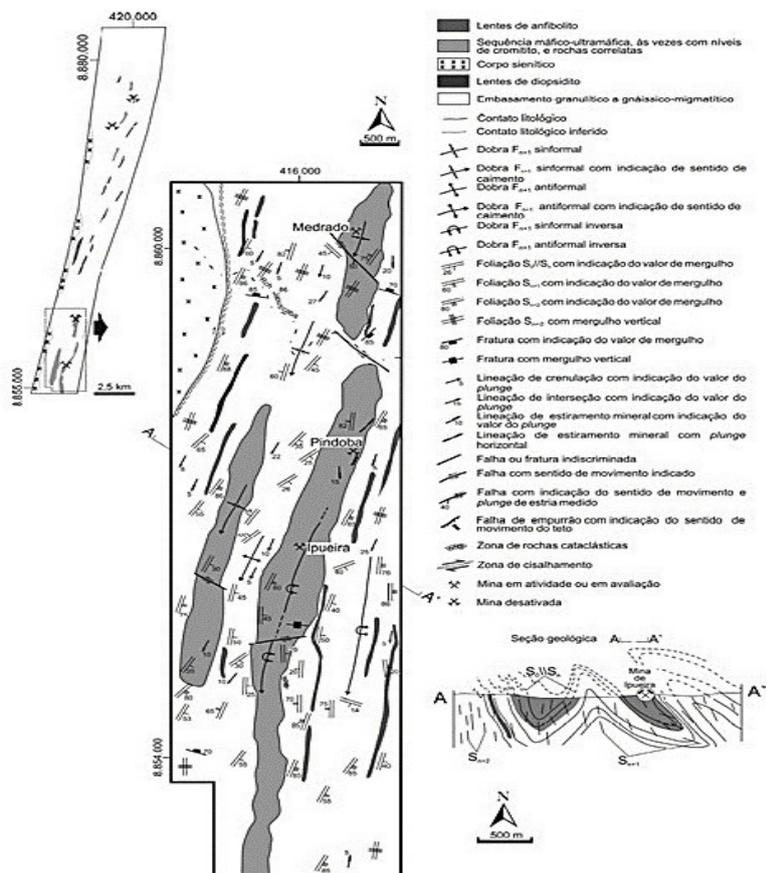


Figura 9: Mapa geológico-estrutural da região do Vale do Jucurici, dando ênfase na região de Ipueira-Medrado

As rochas do complexo do Vale Jucurici foram submetidas a intensos eventos de deformação e metamorfismo, estando relacionados a colisões dos blocos Serrinha, Gavião e Jequié durante o paleoproterozóico (BARBOSA, 2004). Em termos gerais, os depósitos cromitífero do Complexo Jucurici são orientados paralelamente à foliação regional e são alongados, marcados por uma interrupção na continuidade devido atividades tectônicas (MARQUES, 2003).

De acordo com Marinho (1986), três eventos deformacionais regeram sobre os terrenos da região durante a formação dos depósitos, formando as dobras isoclinais e transpostas, dobras fechadas e uma lineação de foliações nas direções NNE e NNW. Essas rochas passaram por altos graus metamórficos (anfíbolitos), o que de segundo Del Lama (2001), essas rochas de alto grau metamórfico passaram por processos metassomáticos pós-pico metamórfico, produzindo processos de serpentinização e flogopitização.

O complexo de Campo Formoso (Figura 9) configura-se como um grande complexo de mineralizações de cromita desenvolvido em camadas (depósitos estratiformes; DUARTE, 1986 apud MARQUES, 2003), que se

localiza em torno de 50Km a oeste do *sill*⁴ Ipueira-Medrado. Este complexo juntamente com o Jucurici e Caraíba são importantes corpos máfico-ultramáficos introduzidos ao Cráton São Francisco durante o Paleoproterozóico (MARQUES, 2003). De acordo com Fernandes (2004), o complexo cromitífero de Campo Formoso é composto principalmente por serpentinitos em sua maioria, além de ocorrerem actinolitos, anfíbolitos, talco-serpentininas e xistos com variação proporcional na composição de tremolita e xistos a serpentina ± clorita ± tremolita.

O contexto geológico do complexo Campo Formoso foi bastante discutido na década de 90, que segundo Topitsch (1993) foi comparado as intrusões do Great Dyke (Zimbabwe), Jimberlana (bloco de Yilgarn - Austrália) e ao cinturão aulacógeno norte-finlandês através de sua similiaridade geoquímica e geometria (estreita e alongada; TOPITSCH, 1993 apud FERNANDES, 1994).

De acordo com Ferreira Filho (2002), no Brasil existem outras ocorrências de depósitos cromitíferos com modelos de evolução distintos, porém de grande importância para o conhecimento genético desses tipos de depósitos, sendo eles: Complexo Bacuri (Amapá); Ipueira-Medrado (Bahia); Complexo de Niquelândia (Goias). Além disso, os três complexos possuem estratigrafia ígnea distintas, o que fortalece ainda mais a singularidade destes em função do ambiente interno de formação (FERREIRA FILHO, 2002).

Dentre os exemplos citados por Ferreira Filho (2002), o complexo Bacuri possui a maior parte da cromita concentrada em uma única camada com poucos metros de espessura na base da zona ultramáfica em contato direto com a zona máfica inferior subjacente, o que favorece a injeção de um magma primitivo com o magma já residente na câmara fracionado. Já o complexo de Niquelândia, os cromititos apresentam-se em diversas camadas de poucos centímetros, localizados em na posição restritas de 20m de espessura em uma camada de rochas ultramáficas estimadas em um pacote de 3Km de espessura, sendo sua formação também através de um influxo do magma primitivo com a mistura do magma residente na câmara ligeiramente mais fracionado. Quando abordado o

⁴ O *sill*, ou também conhecido como soleira, são corpos intrusivos geometricamente semelhantes aos diques, porém são apresentados com atitude horizontal e paralelo à estratificação das rochas encaixantes quando formados em rochas sedimentares. Devido a forma como esse corpo geológico é apresentado em rochas encaixantes, é também chamado de corpo intrusivo concordante (GIANNINI, 2000).

sistema de formação de Ipueira-Medrado, Ferreira Filho (2002) explica que a camada maciça de cromita foi formada em um sistema aberto dinâmico, ocasionando o influxo de magma primitivo, porém houve uma transição para o fechamento da câmara e fracionamento do magma. Ferreira Filho (2002) ainda sugere, que através dos resultados de Re-Os e Sm-Nd indicam indícios que o complexo cromitífero de Ipueira-Medrado passaram por fortes contaminações crustais, explicando assim a formação dos cristais de cromita correlacionada a esta contaminação.

4.5.2. Estado da arte das Minas de cromita Ipueira-Medrado

A mina Medrado e Ipueira situa-se no distrito cromitífero do Vale do Jacurici, na borda oeste do Bloco Serrinha, limitando-se com o Cinturão Salvador-Curaçá, e nela, encontra-se inúmeros depósitos econômicos e várias ocorrências de cromita hospedados em rochas máfico-ultramáficas conforme a Figura 10 (BARBOSA, 1997; ALMEIDA, 2017). A mina Medrado, juntamente com a Ipueira, constituem-se como duas das principais minas deste minério explorado pela Companhia Ferro-ligas da Bahia (Ferbasa).

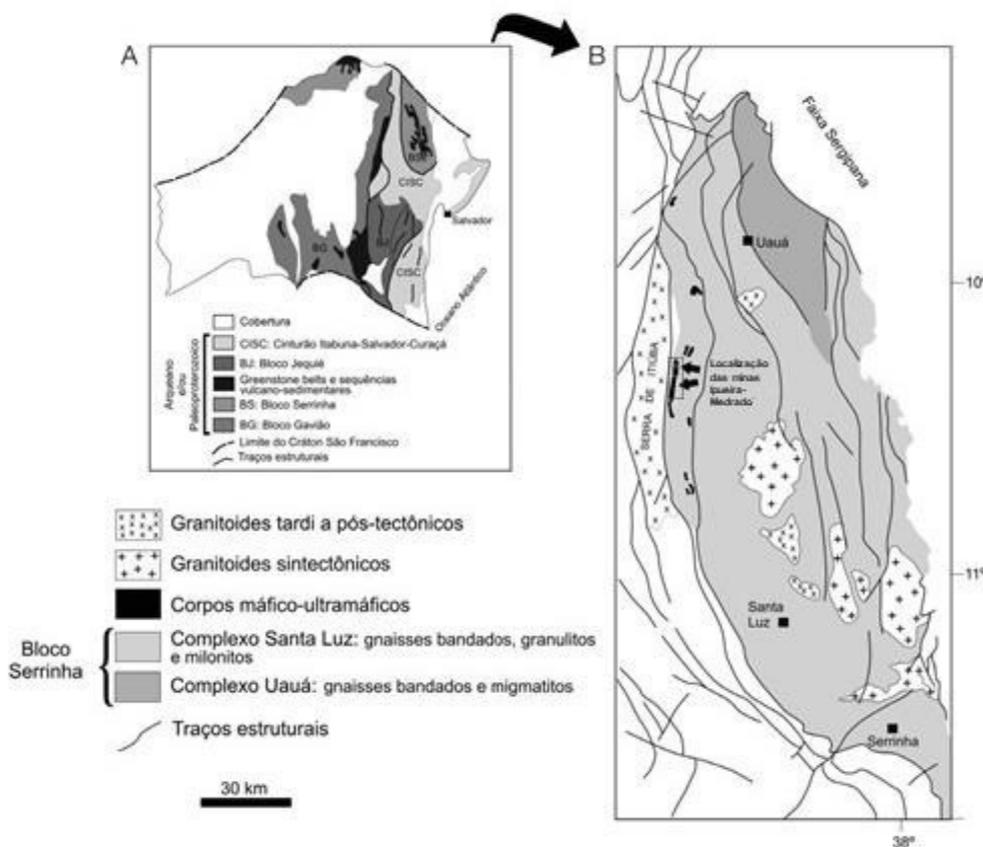


Figura 10: Mapa de localização das minas de Ipueira-Medrado (Parcialmente adaptado; ALMEIDA, 2017 apud de Alkimim et al., 1993 e Kosin et al., 2003.)

As minas de cromo, encontram-se estruturalmente em uma soleira (*Sill*) máfico-ultramáfico, que abriga o maior depósito cromífero do Brasil (MARQUES, 2003). Marques & Ferreira Filho (2003) descrevem o corpo geológico como um corpo alongado, possuindo 7Km de comprimento por 300m de espessura, com uma camada contínua de cromitita de 5 a 8 metros de espessura, mineralizada no interior da zona ultramáfica. Os autores ainda menciona, que o corpo apresenta uma forte diferenciação e estratificação, originados de um magmatismo primitivo e da contaminação crustal (ALMEIDA, 2003; *apud* Barbosa de Deus e Viana, 1982).

Nos corpos geológicos (Figura 11) das minas de Medrado e Ipueira, as rochas apresentam-se intercaladas com rochas gnáissicas e rochas metassedimentares de alto grau metamórfico. Os litotipos da área da mina constituem-se gnaisses bandados migmatizados, granulitos, metacherts, quartzitos, diopsiditos e olivina-mármore (ALMEIDA, 2017). O *sill* que ocorrem na mina Ipueira que correspondem ao prolongamento do *sill* de Medrado (flanco leste), apresenta litotipos com sequências metassedimentares químicos que inclui serpentina, mármore, diopsídio e restritamente metacherts (ALVES, 2005).

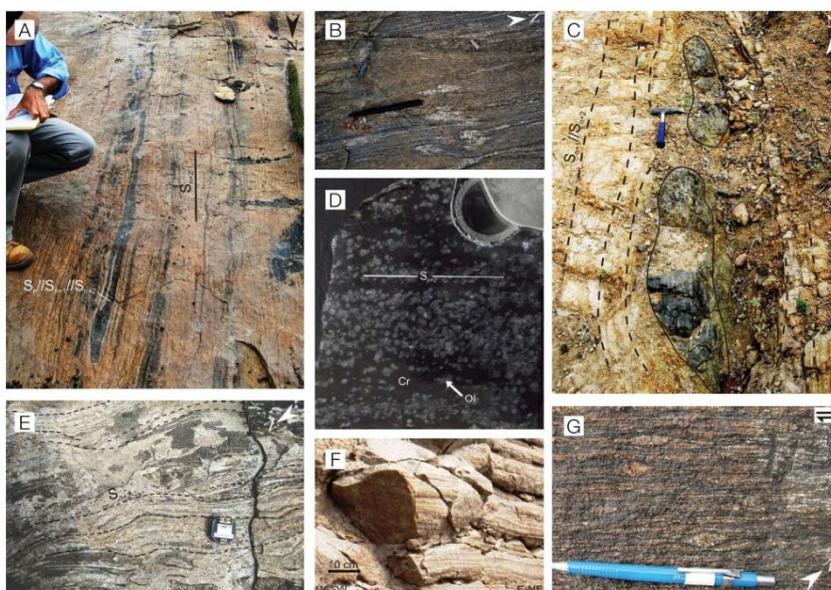


Figura 11: Representações litológicas e registros estruturais em litotipos do distrito cromífero do Vale do Jucurici. (A) representação de Camadas de anfibolito dobradas e transpostas por S_{n+2} .; (B) dobras reliquiárias do tipo "sem raiz" em afloramento submetido a intensa deformação. Traço da foliação S_{n+2} paralela à caneta; (C) camada de diopsidito constituindo boudins em paragneisse (linhas contínuas); (D) seção de amostra de mão mostrando o bandamento S_{n+2} em cromitita. A foliação S_{n+2} (linha horizontal) é definida pela intercalação de massas finas de cromitita (Cr) com bandas compostas por cristais de olivina serpentinizada (Ol); (E) aspecto amendoado da foliação S_{n+2} em escala de afloramento; (F) lineação mineral formada por massas subparalelas de agregados quartzo-feldspato em gnaisse bandado; (G) foliação milonítica em ortogneisse de composição sienítica.

De acordo com Marques & Ferreira Filho (2003), o depósito cromatífero é dividido em três zonas (Figura 12) segundo o seguinte empilhamento estratigráfico da soleira: marginal (5 a 20m de espessura), ultramáfica (até 250m de espessura; a camada subdivide-se em superior e inferior) e a máfica (aproximadamente 30m de espessura). Almeida (2017) explica, que as rochas em caráter regional, passaram por fortes eventos de metamorfismo (alto grau metamórfico) e deformações, com temperaturas mínimas as do fácies anfibolito.

De acordo com Deus e Viana (1982), as olivinas e piroxênios nesses depósitos apresentam mudanças em suas composições, onde mais ao topo do depósito são encontrados mais minerais ricos em Mg e na base mais ricos em Fe. Essa situação mostra possíveis misturas magmáticas recém injetadas com o magma residente através do fluxo convectivo durante o arrefecimento do magma. Segundo MARQUES (2003), por ser composto por dunitos, piroxenitos e harzburgitos, o *sill* Ipueira-Medrado foi subdividido em sete unidades estratigráficas da base para o topo conforme a figura 12.

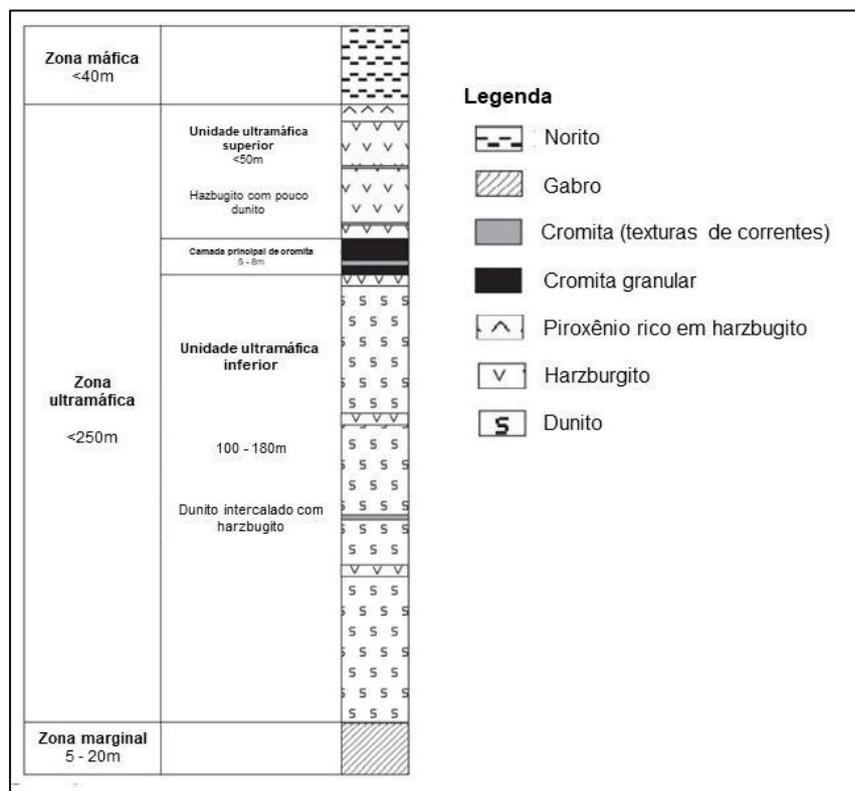


Figura 12: Seção estratigráfica do Sill Ipueira-Medrado (Adaptado de Marques, 2003)

Através de estudos mais recentes, Marques et al. em 2017, publicaram correlações estratigráficas entre as camadas cromitíferas de Ipueira

e Medrado entre si, como também entre Monte Alegre Sul e Várzea do Macaco através das divisões sugeridas para o Complexo Jacurici (Figura 13).

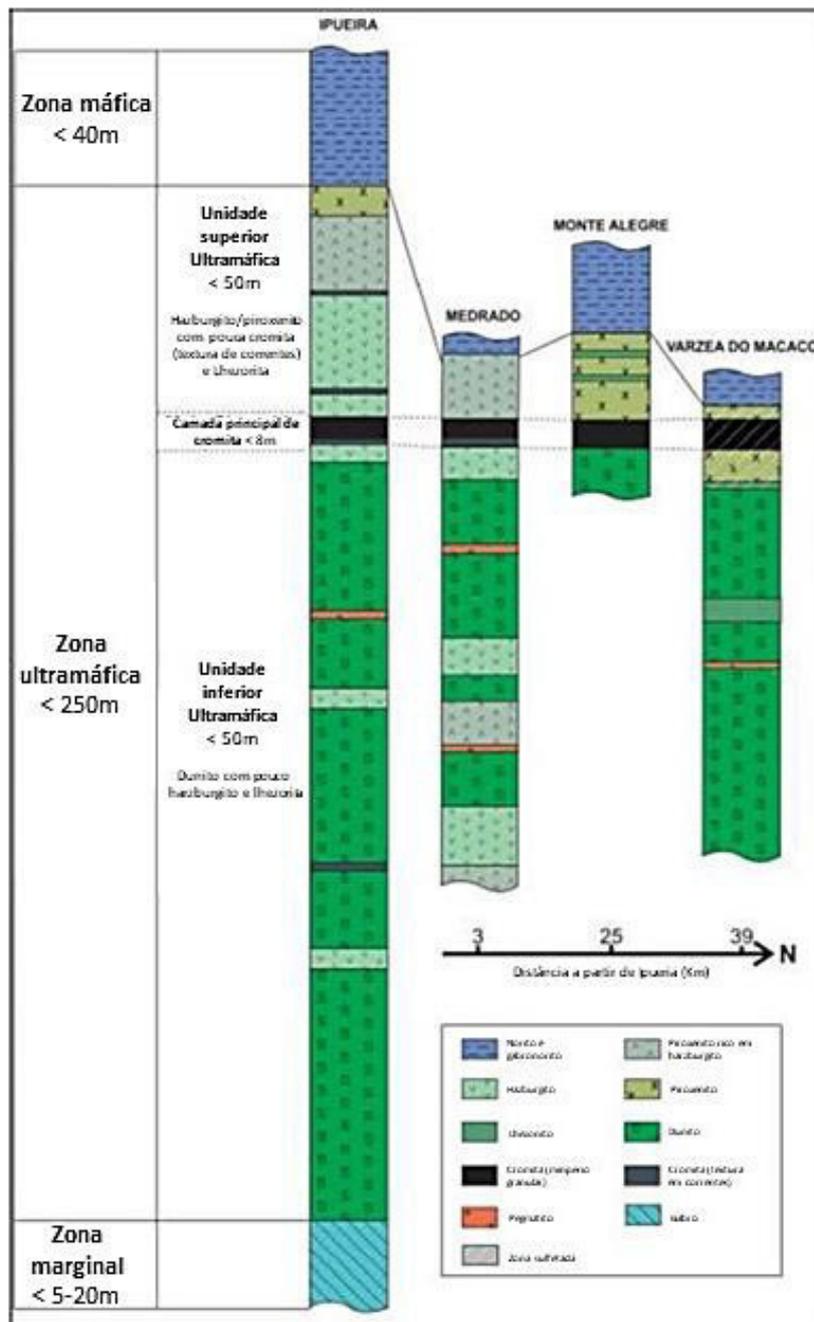


Figura 13: Seções representativas do seguimento Ipueira, Medrado, Monte Alegre Sul e Várzea do Macaco, buscando ilustrar a correlação estratigráfica e divisões para o Complexo Jacurici. Fonte: Parcialmente adaptado de Marques et al, 2017 apud Friederich, 2018.

Marques (2003), descreve que os depósitos Ipueira-Medrado foram formados em unicidade, porém através de eventos tectônicos, o corpo foi separado em dois grupos. Esses dois grupos conservam características litológicas e estruturais parecidos, porém são bastante marcados por processos cisalhantes. Alves (2005) afirma, que o alongamento e a descontinuidade

resultam principalmente de uma forte compressão leste-oeste, relacionada a fase de deformação F_3 , que causou dobramentos e transposições na direção norte-sul.

De acordo com Almeida (2017), a evolução dos corpos cromitíferos máfico-ultramáficos se deram de forma similar com a rocha encaixante gnáissica, portanto sofreram eventos deformacionais D_{n+1} , D_{n+2} e D_{n+3} , formando dobras F_{n+1} . Ainda segundo o autor, essas configurações de controles estruturais permitiram o desenvolvimento de corpos em escala de mina (espessuras entre 7 e 8m) em ambos os flancos da dobra. A repetição de camadas de cromitito pela estar relacionada a zonas de cisalhamento identificadas tanto regionalmente quanto em escala local.

Devido aos condicionantes na formação da estrutura, os níveis cromitíticos também passaram a ocorrer em formas de massas alongadas e subparalelizadas com a linha de charneira das dobras sinformais (ALMEIDA, 2017). A dobra de Ipueira (Figura 14-B) configura-se como sinforme reversa, na qual ambos os flancos mergulham para leste com caimento para sudoeste de 10 a 15° (ALMEIDA, 2017). Já a dobra de sinforme de medrado (Figura 14-A) é normal, com superfície axial mergulhando de 75° a 90°, com um fraco caimento do seu eixo para sudoeste (ALMEIDA, 2017).

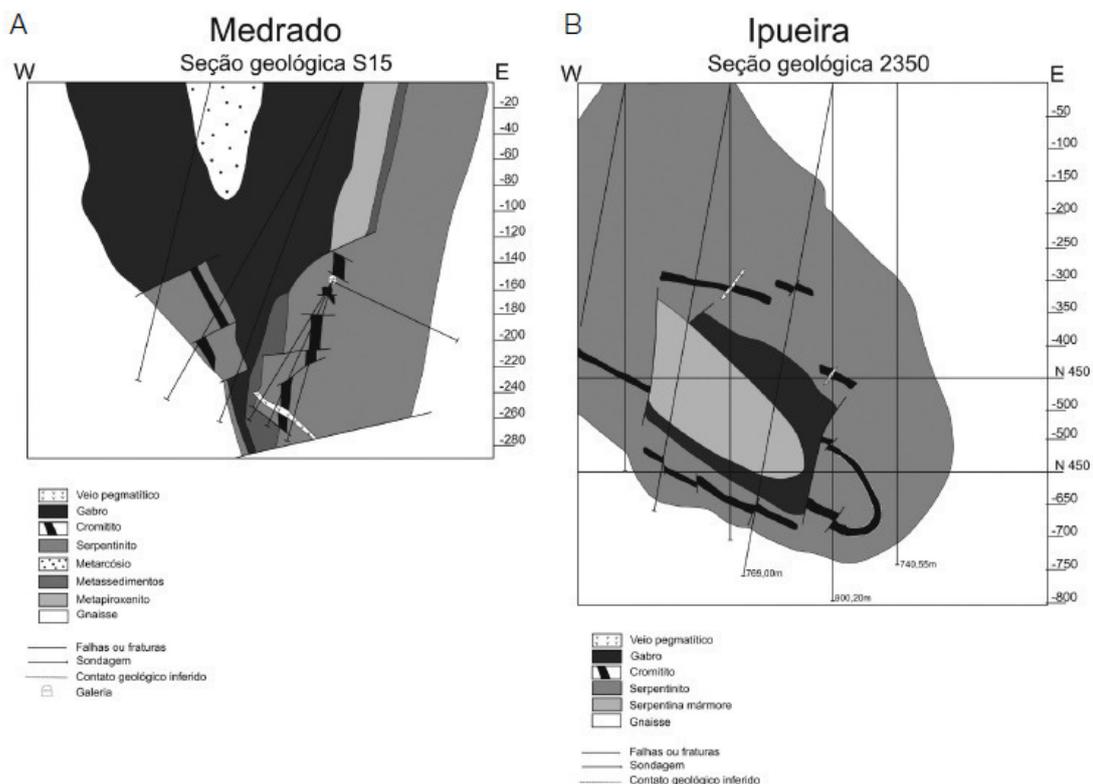


Figura 14: Seções geológicas construídas através de furos de sondagens mostrando o controle estrutural nas minas de cromita de Medrado e Ipueira (ALMEIDA, 2017 apud QUEIROZ, 2014).

Quando abordados pela ótica de extração através das atividades mineradoras, o depósito Ipueira-Medrado é subdividido em três segmentos: Medrado (Figura 15), Ipueira II (Figura 16) e Ipueira Sul (Figura 17; MARQUES, 2003). O minério nessas minas está hospedado em serpentinitos, onde podem variar em ocorrências disseminada ou maciça, que de acordo com Figueiredo (1977) seus teores podem alcançar até 70%.

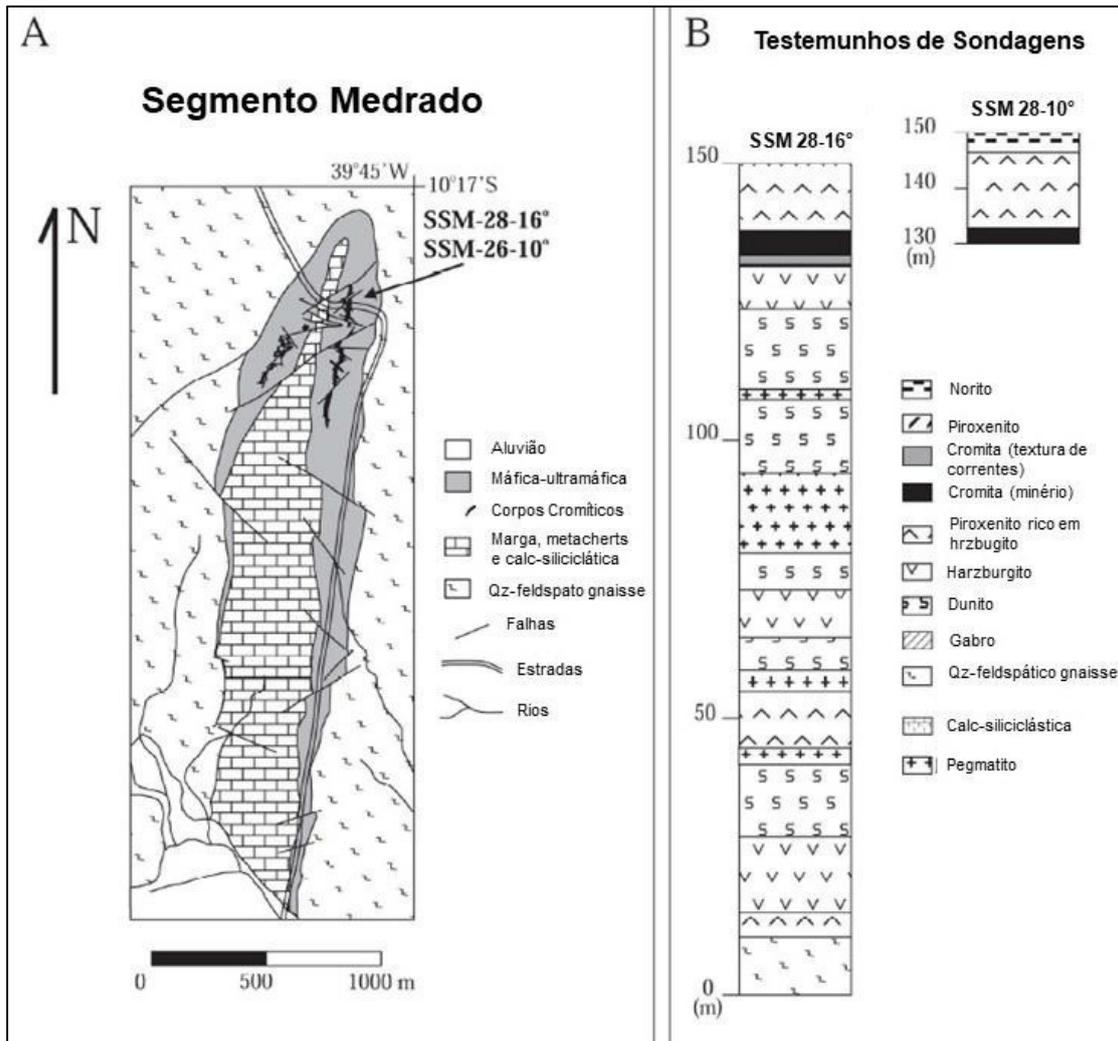


Figura 15: Mapa de detalhe e seção estratigráfica da mina *underground* do segmento do *sill* de Medrado (Fonte: parcialmente adaptado de MARQUES, 2003 apud Relatório interno da mineração do Vale do Jucurici S.A.)

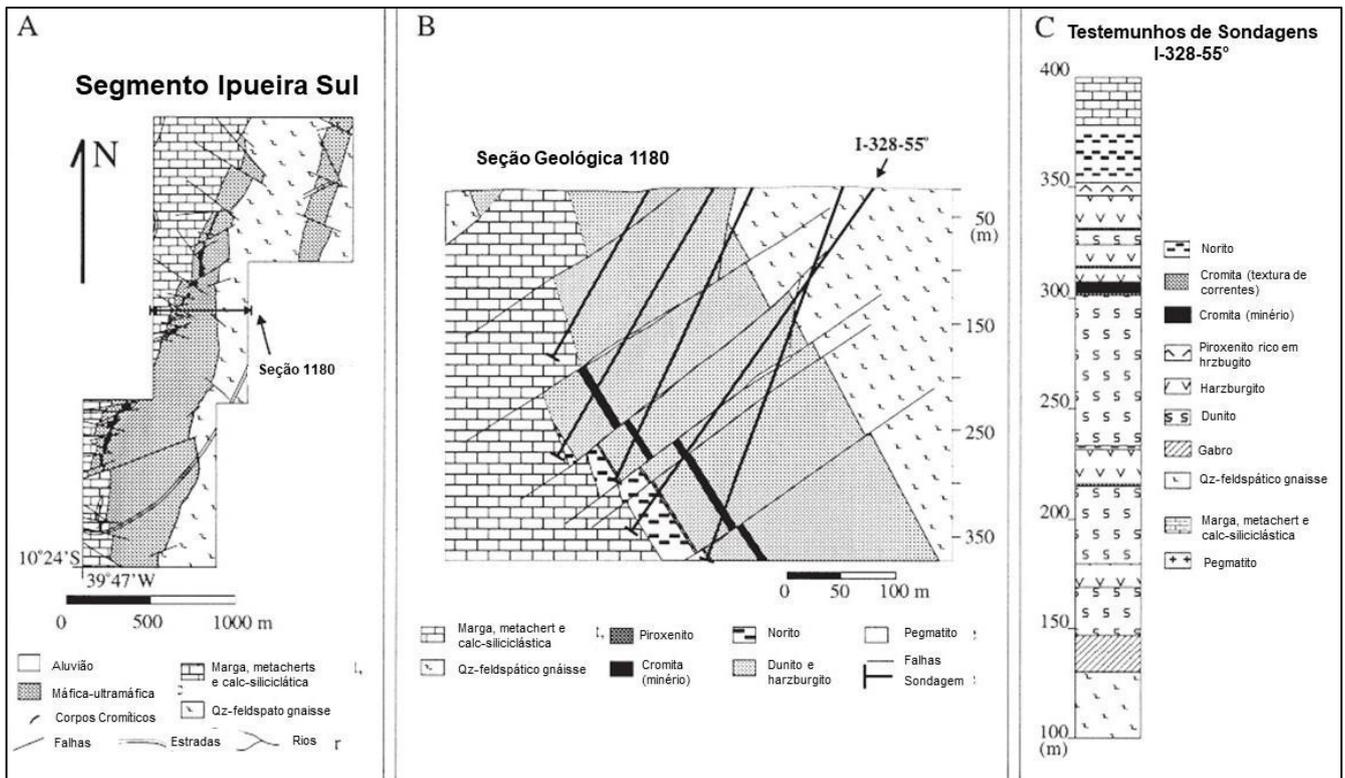


Figura 16: Mapa de detalhe, geológico e seção estratigráfica do segmento do *sill* de Ipueira Sul (Fonte: parcialmente adaptado de MARQUES, 2003 apud Relatório interno da mineração do Vale do Jucurici S.A.)

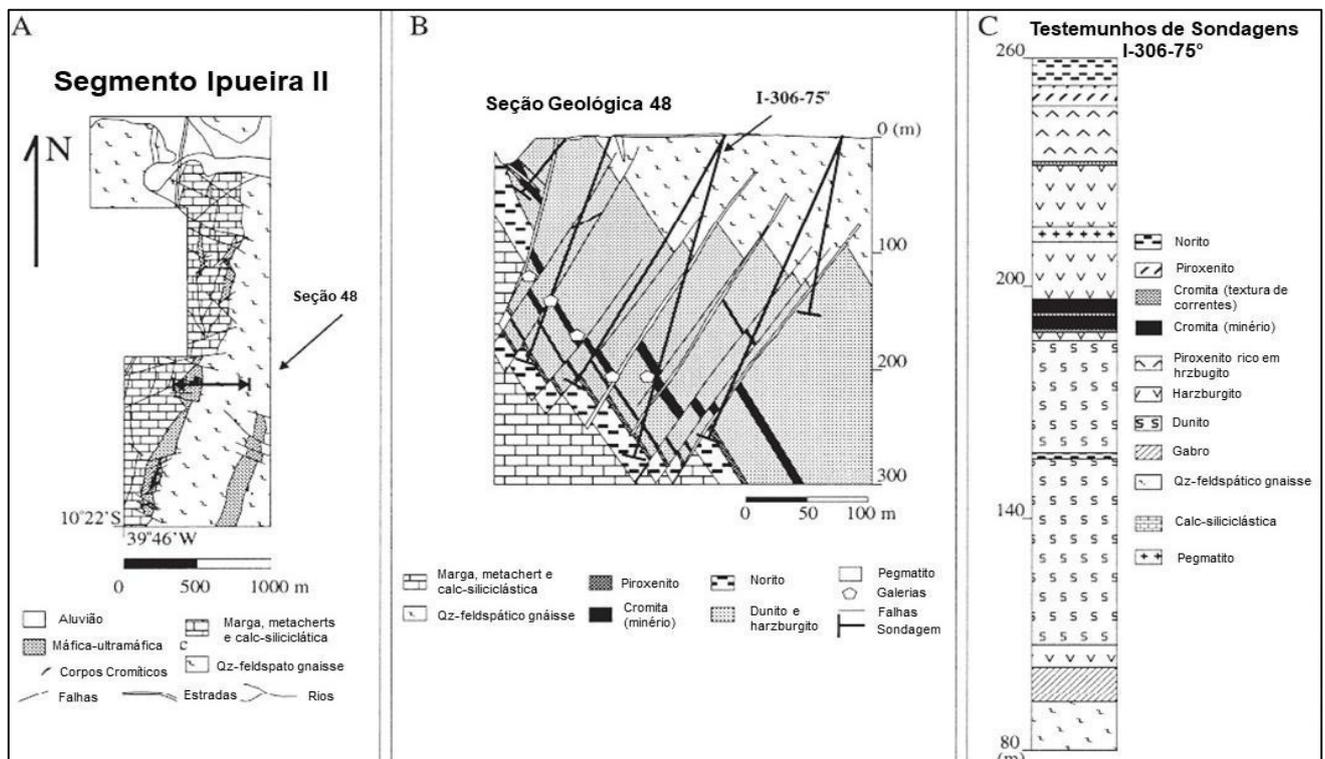


Figura 17: Mapa de detalhe, geológico e seção estratigráfica do segmento do *sill* de Ipueira II (Fonte: parcialmente adaptado de MARQUES, 2003 apud Relatório interno da mineração do Vale do Jucurici S.A.)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido, buscou trazer em uma revisão bibliográfica os principais conceitos sobre modelagem geológica 3D de recursos minerais e de geoestatística, juntamente com o estado da arte do complexo cromítico do Vale do Jucurici, com enfoque no complexo Ipueira-Medrado.

A descoberta de novos depósitos ou mesmo a ampliação de reservas em exploração é normalmente realizada por meio de uma série de etapas interligadas de investigação, que envolvem principalmente o reconhecimento e detalhamento de técnicas de alvos promissores como mapeamento geológico, amostragem de solo e rocha, furos de sondagem, geoquímica geoestatística, sensoriamento remoto e geofísica.

Por estarem conectadas a necessidade da caracterização, avaliação e solução de problemas, as geotecnologias ganharam espaço dentro da mineração como ferramentas de estudos e pesquisas em aquisição de dados digitais em diversas projeções. Através dos incrementos nas geociências, modelos geológicos digitais puderam ser formulados e desenvolvidos, permitindo a criação de diversos cenários, atualizando e ajustando os modelos para novas informações de modo mais eficiente e rápido.

A etapa de estimativa dos recursos, é uma das fases da modelagem de maior importância, estando a ela vinculada, ferramentas para quantificação dos recursos distribuídos em um espaço modelado. A geoestatística aplicada a modelagem geológica 3D apresenta um papel fundamental tanto na quantificação dos teores da reserva ou recurso por meio de estudo de variáveis, como também tem grande participação no planejamento das lavras (curto, médio ou longo prazo).

O cromo, é o quinto elemento de maior uso na atualidade, sendo mais empregados nas indústrias de metalogenia, indústria química e refratários. Devido a isto, surge a grande necessidade de estudos sobre a gênese e formação dos depósitos cromíferos, uma vez que a cromita, é o único mineral com rentabilidade econômica para exploração de cromo.

Os depósitos cromíferos apresentam algumas classificações, dentre elas em função de sua forma, podendo ser depósitos estratiformes (desenvolvidos entre camadas, sendo o maior representante dos depósitos, com cerca de 90% dos depósitos mundiais) e podiformes associados com complexos

ofiolíticos. Alguns autores, ainda propõem um terceiro designação de depósito quando levado em consideração sua forma: os cromititos zonados em complexos máfico-ultramáficos. No Brasil, os maiores exemplares de depósitos tabulares estão inseridos no complexo máfico-ultramáfico do Vale do Jucurici, mais especificamente em Campo Formoso (Ipueira-Medrado).

Além da classificação quanto forma, alguns estudos aplicam também a classificação de modelos mediante a remobilização do cromo durante os processos de formação nas câmaras magmáticas, sendo subdivididas em *On-stage* e *Off-stage* (Conforme explicado no tópico 4.5.2). O depósito cromitífero Ipueira-medrado, em analogia a outros complexos cromitíferos, também se formou em estrutura de sill, onde possivelmente os cristais de cromita teriam se acumulado em ao longo dos condutos. Esse aspecto de formação, se assemelha aos depósitos de modelo *Off-Stage*.

Diante dos questionamentos levantados na revisão bibliográfica, observa-se que ainda há muito o que se estudar em relação aos complexos cromitíferos do Vale do Jucurici. O emprego de tecnologias que venham a ampliar os horizontes da pesquisa e conhecimento científico é de vital importância para reforçar o entendimento sobre os depósitos de cromo. A modelagem digital de recursos permite o aprimoramento nas técnicas de pesquisa e análise geológica, que juntamente com métodos geoestatísticos (determinando tendências e variáveis), auxiliaram no desvendar de mais conhecimentos sobre os complexos cromitíferos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ALKMIM F. F. 2004. **O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo.** In: Mantesso-Neto V. et al. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 17-34, São Paulo, Beca, 647p.

ALVES, Carlos de Sá et al. **Caracterização do maciço rochoso com o uso de testemunhos de sondagem na mina Ipueira 3, Andorinha-Bahia.** 2005. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10630>>. Acesso em 28 de março de 2021;

ANDRADE, José Guedes de. **Investimentos em pesquisa geológica.** Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1295/1/Tend%C3%AAsnciasParte3.5.pdf>>. Acesso em 23 de março de 2021;

BARBOSA, J.S.F., Sabaté, P., e Dominguez, J.M.L., 1996, **O Estado da Bahia na Plataforma Sul-americana, suas subdivisões, critérios de empilhamento estratigráfico das coberturas plataformais e ciclos geotectônicos**, in Barbosa, J.S.F., and Dominguez, J.M.L., eds., *Geologia da Bahia: Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo*: Salvador, Secretaria de Indústria Comércio e Minas/Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, v. 2, p. 39–61.

BARBOSA, Johildo Salomão Figueirêdo. **Síntese do conhecimento sobre a evolução geotectônica das rochas metamórficas arqueanas e paleoproterozóicas do embasamento do cráton do São Francisco na Bahia.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n. 3, p. 241-256, 2017. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11288/10753>>. Acesso: 02 de julho de 2020;

BARBOSA, JOHILDO SE; SABATÉ, Pierre; MARINHO, Moacyr Moura. **O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 1, p. 3-6, 2016.

BITAR, Omar Yazbek et al. **Geotecnologia: tendências e desafios.** São Paulo em perspectiva, v. 14, n. 3, p. 78-90, 2000. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-88392000000300013&script=sci_arttext. Acesso: 23 de junho de 2020;

BRITO NEVES, Benjamin B. de; CAMPOS NETO, M. da C.; FUCK, Reinhardt A. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage.** *Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences*, v. 22, n. 3, p. 155-166, 1999.

CAMPOS, Pedro Henrique Alves. **Um comparativo de metodologias no planejamento de lavra: sequenciamento direto de blocos vs. planejamento tradicional.** 2017. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7809>>. Acesso: 28 de junho de 2020;

DALLA COSTA M.M., Fernandes L., Duarte J.E.C., Recuero J.C. (coords.). 2017. **Anuário mineral estadual Minas Gerais**. Anos base 2010 a 2014. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 133 p.

DARLING. P. **MINING ENGINEERING HANDBOOK**. 2011. Edited by Peter Darling, 3rd ed. Acesso em: 28 de junho de 2020;

DE ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, 2004.

DE ALMEIDA, Harrizon Lima; CABRAL, Eraldo Bulhões; BEZERRA, Francisco Xavier. **Evolução deformacional das rochas do Vale do Jacurici: implicações para a estruturação dos corpos cromitíferos máfico-ultramáficos**. Geologia USP. Série Científica, v. 17, n. 2, p. 71-88, 2017. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/guspssc/article/view/134860>>. Acesso: 02 de julho de 2020;

DEL LAMA, Eliane A.; CANDIA, Maria AF; SZABÓ, Gergely AJ. **Petrography and metamorphism of the metasedimentary country-rocks of the Jacurici Valley Chromitite-Hosting mafic-ultramafic complexes**, Bahia, Northeastern Brazil. Geologia USP. Série Científica, v. 1, p. 1-15, 2001.

DEUS, P.B., e Viana, J.S., 1982, Distrito cromitífero do Vale do Rio Jacurici: Congresso Brasileiro de Geologia, 32nd, Salvador, 1982, Roteiro de Excursões, v. 3, p. 44–52.

DIAS, Tatiana Gonçalves. **Cromo**. Recursos Minerais de Minas Gerais – RMMG. Belo Horizonte, 2020;

DICKEY JR, John S. **A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. In: Chromium: its physicochemical behavior and petrologic significance**. Pergamon, 1976. p. 1061-1074. Disponível em: < <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/viewFile/9871/9768>>. Acesso no dia 26 de março de 2021;

ELVINS, T. Todd. **A survey of algorithms for volume visualization**. ACM Siggraph Computer Graphics, v. 26, n. 3, p. 194-201, 1992. Acesso em: 20 de junho de 2020;

FELGUEIRAS, Carlos Alberto; CÂMARA, Gilberto. Modelagem numérica de terreno. **FUKS, SD, CARVALHO, MS, CÂMARA, G. & MONTEIRO, AMV Análise Espacial de Dados Geográficos**. Disponível em:< <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>, v. 8, 2001. Acesso em 29 de junho de 2018;

FERNANDES, Jorge Augusto Basilio. **Krigagem com deriva externa aplicada à avaliação de recursos minerais de calcário e de minério laterítico**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-05052010-164304/en.php>>. Acesso: 01 de junho de 2020;

FERREIRA-FILHO, CESAR F. **Chromitites associated with layered complexes in Brazil: testing" one-fit-all" genetic models.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 74, n. 3, p. 554-554, 2002.

FRIEDRICH, Betina Maria. **Petrogênese da camada de cromitito maciço do Complexo Jacurici, Bahia, Brasil: evidências de inclusões em cromita.** 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/189051>>. Acesso no dia 29 de março de 2021;

GIANNINI, P.C.F. & RICCOMINI, C. 2000. **Rochas ígneas.** In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. ed. Decifrando a Terra (capítulo 16). São Paulo, Oficina de Textos. p.342 -345.

GONZALO, Daiana Aparecida Damião; GARCIA, Ricardo José Francischetti; GOMES, Eduardo Pereira Cabral. **Avaliação de área recuperada sobre cava de areia em São Paulo, SP, Brasil.** Hoehnea, v. 42, n. 4, p. 695-701, 2015.

LIMA T.M. & NEVES C.A.R. (coords.). 2016. Sumário Mineral 2015. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, 135 p. ISSN: 01012053.

MANSSOUR, Isabel Harb; FREITAS, Carla Maria Dal Sasso. Visualização volumétrica. **Revista de informática teórica e aplicada. Porto Alegre. Vol. 9, n. 2 (out. 2002), p. 97-126, 2002.** Acesso em: 24 de junho de 2020;

MARINI, O. **Potencial mineral do Brasil. Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, p. 18-31, 2016. Disponível: <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Taioli/publication/321587426_Recursos_Minerais_no_Brasil_problemas_e_d_esafios/links/5acbbafc4585151e80aa2436/Recursos-Minerais-no-Brasil-problemas-e-desafios.pdf#page=19>. Acesso em 23 de março de 2021;

MARQUES, J. C. **Petrologia e metalogênese do depósito de cromita do sill Ipueira-Medrado, Vale do Rio Jacurici, Bahia.** 2001. Tese de Doutorado. Ph. D. thesis, Universidade de Brasília.

MARQUES, Juliana Charão; FILHO, Cesar Fonseca Ferreira. **The chromite deposit of the Ipueira-Medrado sill, São Francisco craton, Bahia State, Brazil.** Economic Geology, v. 98, n. 1, p. 87-108, 2003. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/articleabstract/98/1/87/22310/The-Chromite-Deposit-of-the-Ipueira-Medrado-Sill?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso: 02 de julho de 2020;

MOORES, Eldridge M. **A personal history of the ophiolite concept.** SPECIAL PAPERS-GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, p. 17-30, 2003;

MOREIRA, A. L. M. M; CAMPOS, B. I. S. **Planejamento de Longo Prazo: Comparação entre Métodos Estimativos e de Definição da Cava Final com Abordagem em Diferentes Formas de Sequenciamento.** Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2019. Disponível em: <www.demin.ufmg.br>, Acesso: 06 de julho de 2020;

OLIVEIRA, Débora Emili Costa. **PixeR: um renderizador de cenas 3D utilizando projetosarquitetônicos criados a partir do Revit**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RENARD P., Courrioux G. 1999 **Three-dimensional geometric modeling of a faulted domain: The Soultz Horst example (Alsace, France)**. In: Computers & Geosciences (Elsevier Science Ltd) V. 20 p.1379-1390. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0098300494900612>>. Acesso: 27 de junho de 2020;

SANTOS, Tais Celestino dos. **Modelagem geológica e avaliação dos recursos minerais de ouro do sistema União do Norte, Província Aurífera de Alta Floresta (MT)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-08032019-112324/en.php>>. Acesso: 24 de junho de 2020;

SEIXAS, Roberto DE Beauclair; GATTASS, Marcelo. **Introdução à Visualização Volumétrica**. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42952192/interpolacaoTrilinear.pdf?1456184652=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DIntroducao_a_Visualizacao_Volumetrica.pdf&Expires=1593662642&Signature=PVRcoPWlq7rjz~dmyjCZcSXOaASPFAj7qd5YgRSE2xepBylz3X~C9AnRSdKwKh6mBgXcznPaQRT2jGR9FDICMTt3rtB2Tnm372RhfbDdn-uEXK68lu0ZJB6-U-0y8AM06FyTe7rt2lvQgglA~ji5I2WmOgSCXPlchZ7VfJ386w7wX3eot5eq1nFWKbSUcplVHX48tNi87sIB6UvNRqGaauOfIJC3gjlMv77t4J5hZbdyAfv91AKaYzWRNA5iwphxWM5qazrgZgP0vSR3K8UrLBbizPunVqrodA5ANdhTooAaEan26Zr8J4s~9eAhhdIm3gHYAV8Lml2nZsquA__&Key-PairId=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 24 de junho de 2020;

SILVA, Alessandro Henrique Medeiros et al. **Modelagem geológica e estocástica da porção NE da Mina de Morro do Ouro, Paracatu (MG)**. 2000. Disponível em: < <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/287204>>. Acesso: 29 de junho de 2018;

SILVA, Thyago de Oliveira da. **Quantificação da incerteza volumétrica na modelagem geológica**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-27032017-151706/en.php>>. Acesso em: 26 de junho de 2020;

STOWE, Clive William. **Compositions and tectonic settings of chromite deposits through time**. Economic Geology, v. 89, n. 3, p. 528-546, 1994;

THAYER, T. P.; JACKSON, E. D. **A classification of igneous rocks by their history of crystallization and emplacement**. US Geol. Survey Prof. Paper 800-B, p. B79-B83, 1972;

Teixeira, J.B.G.; Silva, M.D.G.D.; Misi, A.; Cruz, S.C.P.; Sá, J.H.D.S. **Geotectonic setting and metallogeny of the northern São Francisco craton, Bahia, Brazil**. J. S. Am. Earth Sci. 2010, 30, 71–83

USGS – United States Geological Survey. 2018. **Chromium**. In: U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2018. U.S. Geological Survey, p. 46-47. Acesso em 5/3/2018. ISBN: 9781411341999, doi: 10.3133/70194932;

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2015;