

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BRUNO TEIXEIRA CAMPOS SOUSA

**MAPAS DE ANOMALIA DE ELEMENTOS ATRAVÉS DE PROSPECÇÃO
GEOQUÍMICA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO NO MUNICÍPIO DE
CAÇAPAVA DO SUL E ARREDORES**

Caçapava do Sul

2019

BRUNO TEIXEIRA CAMPOS SOUSA

**MAPAS DE ANOMALIA DE ELEMENTOS ATRAVÉS DE PROSPECÇÃO
GEOQUÍMICA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO NO MUNICÍPIO DE
CAÇAPAVA DO SUL E ARREDORES**

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.

Orientador: Dra. Cristiane Heredia
Gomes

**Caçapava do Sul
2019**

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) .

S725m Sousa, Bruno Teixeira Campos

Mapas de anomalia de elementos através de prospecção
geoquímica e tratamento estatístico no município de Caçapava
do Sul e arredores / Bruno Teixeira Campos Sousa.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Crisriane Heredia Gomes".

1. Geoprocessamento. 2. Krigagem. 3. Geoquímica. I. Título.

BRUNO TEIXEIRA CAMPOS SOUSA

**MAPAS DE ANOMALIA DE ELEMENTOS ATRAVÉS DE PROSPECÇÃO
GEOQUÍMICA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA
DO SUL E ARREDORES**

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.

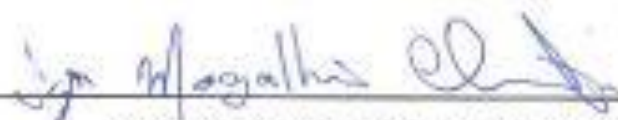
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de julho
de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes

Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

UNIPAMPA



Prof. Me. Lenon Melo Ilha

UNIPAMPA

Dedico este trabalho a minha mãe Irene e ao meu pai Juscelino, os quais nunca mediram esforços e incentivos para meu êxito na conclusão desta etapa ou em nenhuma outra da minha vida. Obrigado, amo vocês.

AGRADECIMENTO

A Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes, pela orientação no trabalho de conclusão de curso com excelência, pela amizade e por ser minha principal referência no meio acadêmico.

A todos os professores da Unipampa no qual tive a honra de ter convivido durante esta etapa da minha vida.

Aos meus familiares pelo apoio frequente.

A todos os colegas de curso principalmente a meus grandes companheiros de 2014 Guilherme Bitencourt, Jorge Trovó e Giovanni Argenta pelos momentos inesquecíveis, bem como todos os quais tive a oportunidade de conhecer durante estes anos, em especial meu grande amigo Guilherme Alves que para execução deste trabalho despendeu de aparelhos em momento peremptório para conclusão do presente trabalho.

Aos meus companheiros de morada, André Gaino, Tiago Strunkis e Leonardo Dias pela convivência e auxílio sempre que necessário.

A minha namorada Eduarda Dalla Nora pelo companheirismo e incentivo imprescindível para a conclusão desta etapa.

A todos, meu sincero muito obrigado.

“Para um autêntico samurai não existem as tonalidades cinzas no que se refere a honra e justiça, só existe o certo e o errado.

Bushido

RESUMO

A prospecção geoquímica possibilita a análise da concentração, mobilidade e dispersão de elementos químicos nas rochas, solos e águas. Fornece informações para pesquisa mineral, ambiental e hidrogeológica. O presente trabalho visa a elaboração de mapas de anomalia de elementos a partir da obtenção de dados geoquímicos coletados através de amostragem de solo, concentrado de bateia, sedimentos de corrente e rochas em bancos de dados digitais públicos preexistentes. O desenvolvimento do trabalho se dividiu em duas etapas principais, a coleta dos dados obtidos via banco de dados através do portal GeoSGB e a organização e seleção dos dados que apresentem interesse e relevância para o trabalho proposto, para que subsequentemente com a utilização de tratamento estatístico univariado e bivariado executado através do Excel, sejam definidos os elementos de interesse. A segunda etapa foi realizada através do software ArcGIS, onde foi aplicada interpolação através de krigagem para os elementos ouro, molibdênio, cobre, níquel, chumbo, estanho, e zinco. As respostas de Krigagem apresentaram resultado anômalo em grande e pequena escala de localização e para o elemento ouro devido ao maior número de dados referente ao elemento foi possível observar uma maior acuracidade na detecção de anomalias.

Palavras chave: Geoprocessamento, geoestatística, krigagem.

ABSTRACT

Geochemical prospecting makes it possible to analyze the concentration, mobility and dispersion of chemical elements in rocks, soils and waters. Provides information for mineral, environmental and hydrogeological research. The present work aims at the elaboration of anomaly maps of elements from the obtaining of geochemical data collected through soil sampling, bateia concentrate, current sediments and rocks in preexisting public digital databases. The development of the work was divided in two main stages, the collection of the data obtained through the database through the GeoSGB portal and the organization and selection of the data that present interest and relevance for the proposed work, so that subsequently with the use of statistical treatment univariate and bivariate analysis performed through Excel, the elements of interest are defined. The second step was performed through ArcGIS software, where interpolation was applied to the elements gold, molybdenum, copper, nickel, lead, tin, and zinc. The Kriging responses presented an anomalous result in large and small scale of location and for the gold element due to the greater number of data regarding the element it was possible to observe a greater accuracy in the detection of anomalies.

Keywords: Geoprocessing, geostatistic, kriging.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 –Mapa de localização</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2 –Domínios Tectônicos do Rio Grande do Sul</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3 –Mapa Metalogenético</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 –Mapa Geológico</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5 –Plataforma webmap</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6 –Tabela Excel</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 –Krigagem Au</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 –Krigagem Mo</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9 –Krigagem Cu</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10 –Krigagem Ni</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11 –Krigagem Pb</i>	<i>40</i>
<i>Figura 12 –Krigagem Sn</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13 –Krigagem Zn</i>	<i>40</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Análise Univariada Au</i>	25
Tabela 2 – <i>Análise Univariada Cr</i>	25
Tabela 3 – <i>Análise Univariada Cu</i>	25
Tabela 4 – <i>Análise Univariada Mo</i>	25
Tabela 5 – <i>Análise Univariada Ni</i>	25
Tabela 6 – <i>Análise Univariada Pb</i>	25
Tabela 7 – <i>Análise Univariada Sn</i>	25
Tabela 8 – <i>Análise Univariada Zn</i>	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	15
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 ÁREA DE ESTUDO	17
5 GEOLOGIA REGIONAL	17
6 GEOLOGIA LOCAL	20
7 METODOLOGIA.....	23
7.1 AQUISIÇÃO DE DADOS GEOBANK.....	24
7.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA MULTIVARIADA.....	26
7.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA	26
7.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA.....	28
7.3 KRIGAGEM.....	28
8 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	29
8.1 PADRONIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS	29
8.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA.....	30
8.2.1 OURO.....	30
8.2.2 CROMO.....	31
8.2.3 COBRE	31
8.2.4 MOLIBDÊNIO.....	32

8.2.5 NÍQUEL.....	33
8.2.6 CHUMBO	33
8.2.7 ESTANHO	35
8.2.8 VANÁDIO	35
8.2.9 ZINCO	35
8.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA	36
8.3.1 AU/SN.....	36
8.3.2 CU/ZN, ZN/CR E CR/NI.....	37
8.4 KRIGAGEM.....	37
8.4.1 OURO.....	37
8.4.2 MOLIBDÊNIO	38
8.4.3 COBRE	39
8.4.4 NÍQUEL.....	41
8.4.5 CHUMBO	42
8.4.6 ESTANHO	42
8.4.7 VANÁDIO	44
8.4.8 ZINCO	44
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A geoquímica auxilia na compreensão dos processos envolvidos em todo sistema Terra, se valendo de conceitos e princípios da química elementar para o entendimento de toda dinâmica de troca de matéria e energia ao longo do tempo em todos os ambientes terrestres. De acordo com Faure (1991) a geoquímica é definida pelo conhecimento da distribuição dos elementos químicos no planeta Terra e no Sistema Solar, indicando o motivo da composição química através das reações químicas presentes no interior e na superfície terrestre no passado, presente e futuro através de ciclos geoquímicos. Se valendo da compreensão destes processos químicos, os trabalhos de prospecção geoquímica vêm alcançando êxito no conhecimento da potencialidade mineral de cada região estudada através da identificação de halos geoquímicos. Halo geoquímico é a região que contém teores anormalmente elevados ou reduzidos de elementos químicos nas rochas encaixantes, solos, vegetação, águas superficiais e subterrâneas, de modo a revelar a presença de um alvo geoquímico (LITCH, 2001).

A região de Caçapava do Sul, São Sepé e Lavras do Sul é conhecida por sua diversidade em contextos geológicos, apresentando ocorrências de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, estruturas geológicas como falhas e dobras, mineralizações e feições superficiais provindas de diversos processos naturais. Devido a esta geodiversidade a região se tornou alvo de pesquisas de interesse acadêmico e econômico, apresentando um considerável acervo de informações sobre a geologia da região e seu entorno.

No presente cenário, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, através do sistema de Geociências o GeoSGB, disponibiliza dados geoquímicos coletados e analisados pela empresa nos últimos 45 anos. A disponibilização compreende 367.411 amostras, entre sedimentos de corrente, concentrados de bateia, solos, rochas e água, distribuídos em todo o território nacional e na plataforma continental brasileira (CPRM, ANO).

Neste sentido, é possível se valer do geoprocessamento de dados, para englobar um conjunto de técnicas ou tecnologias ligadas à informação espacial, quer seja no tocante a coleta, tratamento e análise desses dados para a melhor compreensão de halos geoquímicos em uma determinada região. Tendo em vista que

os avanços tecnológicos na área de geoprocessamento a cada dia oferecem maior subsídio para a análise e manipulação de dados referentes a Geociências é de extrema importância a sua utilização, principalmente quando os dados estão disponíveis ao público.

Em conjunto ao considerável acervo de informações geoquímicas existentes sobre a região de interesse, o presente trabalho propõe a compilação de dados geoquímicos preexistentes e o tratamento estatístico com auxílio das ferramentas de geoprocessamento das informações coletadas para a produção de mapas de anomalia geoquímica para cada elemento químico de interesse, com o viés informativo econômico e ambiental.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é a confecção de mapas de anomalia geoquímica na região do município de Caçapava do Sul, São Sepé e Lavras do Sul, através do tratamento estatístico de informações obtidas no banco de dados da CPRM.

Objetivos específicos são:

- 1- Produzir através da integração de ferramentas de geoestatística e dados de geoquímica um material cartográfico sobre a região;
- 2- Encontrar possíveis alvos para trabalho de prospecção em menor escala com maior adensamento de amostragem através de um método com menor custo financeiro.
- 3- Através dos resultados obtidos do trabalho, fornecer conteúdo que fomente trabalhos posteriores na área ambiental e pesquisa mineral.

3 JUSTIFICATIVA

Esta proposta se justifica por apresentar uma contribuição à prospecção da região de Caçapava do Sul e arredores com vistas à compreensão de halos geoquímicos através de geoprocessamento em escala de detalhe. O conhecimento das propriedades geoquímicas de um ambiente é de extrema importância para o

desenvolvimento de todas as fases de um projeto de mineração, desde o planejamento passando pela implementação até a produção, levando em consideração o baixo investimento necessário para a prospecção geoquímica de uma área em relação aos benefícios obtidos através de seus resultados. Ressaltando, ainda, que informações obtidas através da prospecção geoquímica de uma área, não apresentam utilidade exclusiva para a mineração. Sendo de grande importância para estudos de impacto ambiental causados por fatores antrópicos ou naturais. Revelando possíveis concentrações fora dos valores comuns de cada ambiente.

Podendo, ainda, contribuir para o desenvolvimento de conteúdo científico para o meio acadêmico para trabalhos posteriores, tendo em vista a intensa atividade de pesquisa na região de interesse devido a sua Geodiversidade e disponibilidade geoquímica de dados públicos.

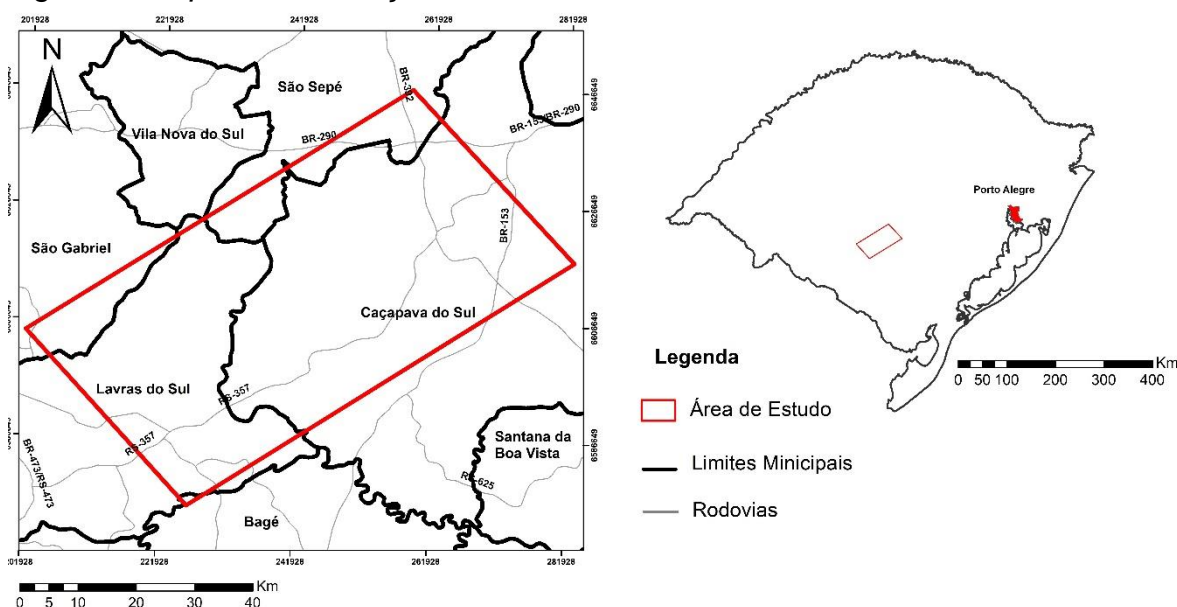
Tendo conhecimento da importância da compreensão dos aspectos geoquímicos da região de interesse, o presente trabalho se faz necessário para apresentar um maior aprofundamento das informações disponíveis sobre o contexto geológico da área em estudo. Cuidando para não produzir informações em dualidade, tendo em vista que a produção de conteúdo cartográfico e geoquímico da região é relativamente alto, devido à importância econômica mineral e acadêmica da área em estudo. Objetivando utilizar das informações já existentes para se obter maior embasamento no tratamento dos dados e na produção cartográfica do trabalho.

Busca-se com isto, também, respostas a processos geológicos que atuaram ao longo dos milhões de anos na área de estudo e a homogeneização dos dados de forma que possam ser utilizados por outros interessados como um guia prospectivo na busca de novos prospectos minerais. Os resultados obtidos, principalmente aqueles relacionados às mineralizações, podem fornecer indicativos para outras áreas próximas, principalmente aquelas ocorrências minerais relacionadas ao mesmo ambiente geológico ou formadas na mesma época geológica. Assim, auxiliando nos estudos e abrangência do projeto maior intitulado “Reconhecimento de Indicadores Prospectivos de Depósitos Minerais na região Centro-Sul do Rio Grande do Sul”, ao qual este estudo é parte integrante.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município de Caçapava do Sul, abrangendo também as cidades de São Sepé e Lavras do Sul entre as coordenadas UTM 282644/6617355 e 777078/6604831 (Figura 1), localizada a aproximadamente 250 km a sudoeste da capital Porto Alegre. O acesso pode ser realizado a partir da Capital pela BR 290 até a intersecção com a BR 392 para acesso as áreas urbanas da região em estudo.

Figura 1: Mapa de localização



Fonte: Modificado de GeoSGB

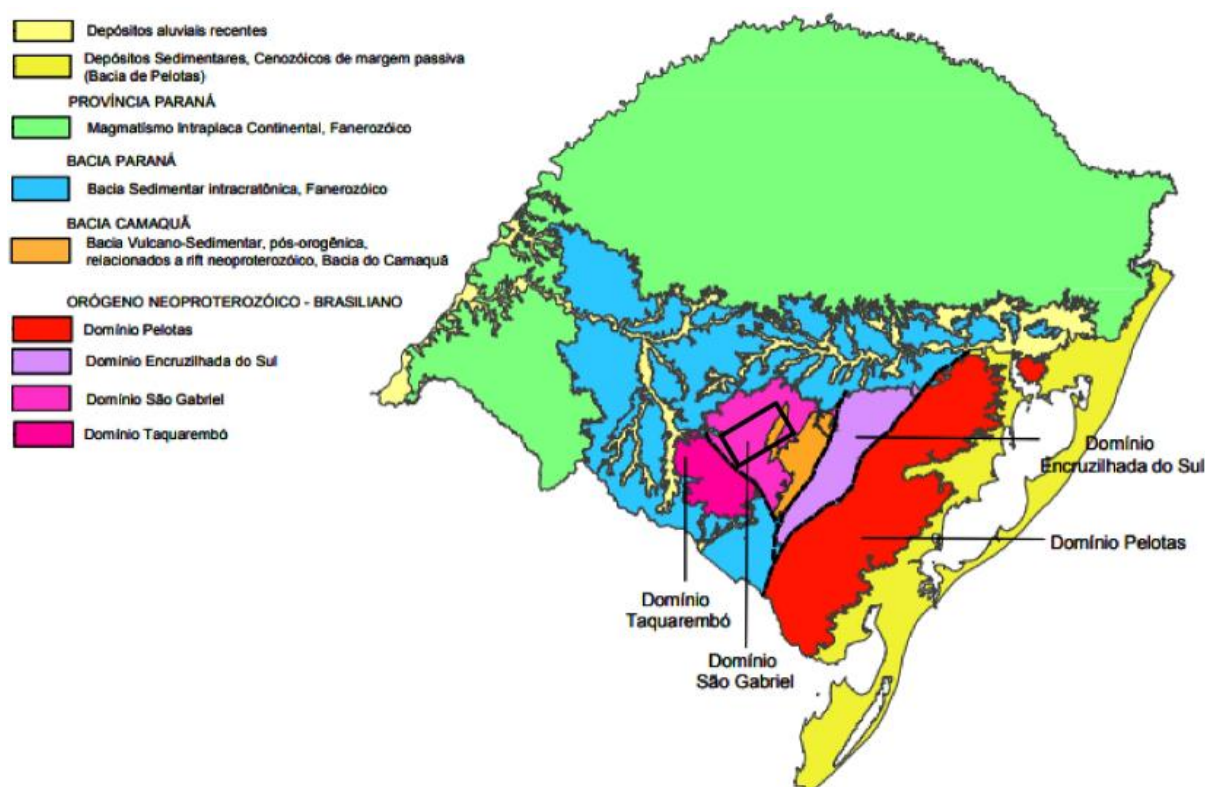
5 GEOLOGIA REGIONAL

A área de interesse está inserida nos domínios do Escudo Sul-rio-grandense e compreende geologicamente porções do Domínio São Gabriel e Bacia do Camaquã. O Domínio São Gabriel abrange a região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul e é limitado em sua porção leste pela Bacia do Camaquã (Figura 2).

O Domínio São Gabriel se encontra situado na região próxima ao limite do Terreno Taquarembó, sendo composto por unidades acrescionárias com segmento de crosta neoproterozóica com assinatura juvenil (Borba, 2006). O domínio é

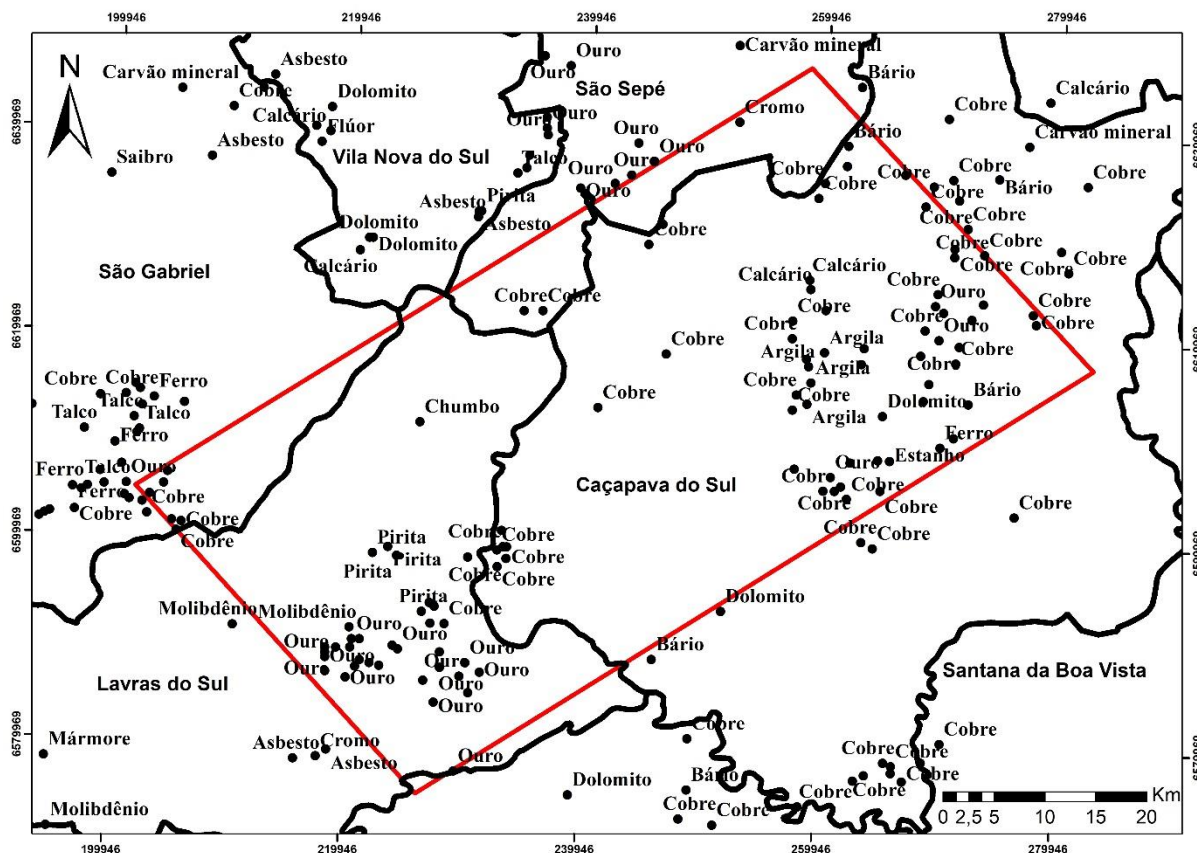
composto pela intercalação tectônica de associações metavulcano-sedimentares, paragneisses, ortogneisses, metagranitos e rochas metamáfica-ultramáficas, intrudidas por metagranitóides tardi e pós tectônicos cálcio-alcálicos de baixo a médio K (Babisnki et al. 1996). Estas unidades caracterizam porções superiores e inferiores de dois arcos magmáticos denominados intra-oceânico e continental (Chemale Jr., 2000). Os limites dos arco magmáticos são evidenciados por duas descontinuidades magnéticas, sugerindo a presença de zonas de falhas de escala regional (Costa, 1997), sendo limitados a leste pela Sutura de Caçapava com direção N40°E que se relaciona com o Sistema de Falhas Irapuá (Ribeiro et al. 1966), e a sul, limitado pelo Lineamento de Ibaré, com direção N45°W, sendo possível classificar como um sistema de transcorrência regional dextral (Porcher & Lopes, 2000).

Figura 2: Domínios Tectônicos do Rio Grande do Sul



Fonte: Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, CPRM (2008)

Figura 3: Mapa metalogenético de parte do Rio Grande do Sul com destaque para a área de estudo



Fonte: Autor

A Bacia do Camaquã compreende o conjunto das unidades estratigráficas sedimentares e vulcanogênicas, desprovidas de feições indicativas de metamorfismo regional, aflorantes na região do Escudo Sul-rio-grandense (Borba, 2006). Esta sequência de rochas vulcânicas e sedimentares é dividida em três bacias principais com característica de retro-arco (Bacia Maricá), transtraccional (Bacia Bom Jardim) com magmatismo predominantemente shoshonítico (cálcico-alcalino, alto K) e, extensional (Bacia Acampamento Velho-Santa Bárbara) com magmatismo alcalino pós-orogênico e de colapso orogênico (Bacia Guaritas; Paim *et al.*, 2000).

Em meio aos eventos tectônicos e deposicionais da bacia destaca-se o desenvolvimento de episódios associados às mineralizações, que durante mais de vinte anos foram foco de extração e exploração de Cu, Au, Zn, Pb e Ag. São descritas na literatura científica áreas de ocorrência como a região das Minas do Camaquã, municípios de Caçapava do Sul, São Sepé e Lavras do Sul (Figura 3). A mineralização, em geral, nestas áreas ocorre disseminada em sedimentos arenosos

e conglomeráticos e na forma de sulfetos maciços em filões e preenchendo fraturas (Teixeira & Gonzáles, 1988), marcados por intensa alteração hidrotermal. Alguns deles associados as atividades vulcânicas e/ou plutônicas (Laux & Lindenmayer, 1998), outros ainda apresentam uma lacuna em relação a gênese dos fluidos mineralizantes.

6 GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo compreende a NE a Formação Varzinha (Figura 4), Grupo Guaritas, que é composta por ritmitos psamo-pelíticos interpretados como fácies fluviais e deltaicas (Nobrega et al., 2008). A Formação Hilário, Grupo Bom Jardim, é caracterizada por rochas vulcânicas de composição básica, intermediária e ácida (basaltos, latito-basaltos, latitos, andesitos e riolitos) colocadas em ambiente subaquático, com subordinadas rochas piroclásticas (lapilli-tufos, tufos grossos líticos e vítreos) colocadas por processos de fluxos de gravidade ou decantadas em água (Janikian et al., 2003).

O Complexo Metamórfico Vacacaí (Figura 4), circunda a Suíte Granítica Caçapava do Sul, onde ocorrem xistos provenientes de metapelitos, grafita xisto, quartzito, anfibolito e níveis de metavulcânicas intermediárias (CPRM). Já a Suíte Granítica Caçapava do Sul pode ser dividida em três fácies principais, os biotita granitóides, os leucogranitóides e os granitoides transicionais.

Os biotita granitóides apresentam coloração cinza, tornando-se róseas quando intemperizados, contendo teores elevados de biotita e alanita como acessório característico. Predominam nas porções sul, sudoeste e oeste do complexo. Os leucogranitóides são rochas de coloração rósea, com baixo teor de minerais máficos, contendo localizadamente granada e moscovita. Predominam na porção norte-nordeste do corpo. Os granitoides transicionais apresentam características comuns entre as outras duas fácies. Ocorre principalmente na porção centro leste da suíte (Nardi e Bittecourt, 1989).

A oeste da Suíte Granítica Caçapava do Sul (Figura 4) afloram as rochas da Formação Pedra do segredo, Grupo Santa Barbara, caracterizada pela presença de progradação de arenitos fluviais seguidos por conglomerados de leques aluviais (Fambrini et al., 2005).

Na porção central da área ocorre a Formação Serra dos Lanceiros (Figura 4), Grupo Santa Bárbara, com o corpo orientado em NE/SW onde afloram arenitos de rios entrelaçados com conglomerados associados (Fambrini et al., 2005). A oeste desta formação ocorre um corpo igualmente orientado identificado como Formação Santa Fé, Grupo Cerro do Bugio, onde ocorrem conglomerados aluviais ricos em clastos vulcânicos e plutônicos de composição ácida, que gradam verticalmente para arenito e ritmito arenito-pelítico com ambiente de deposição aluvial e deltaico (CPRM).

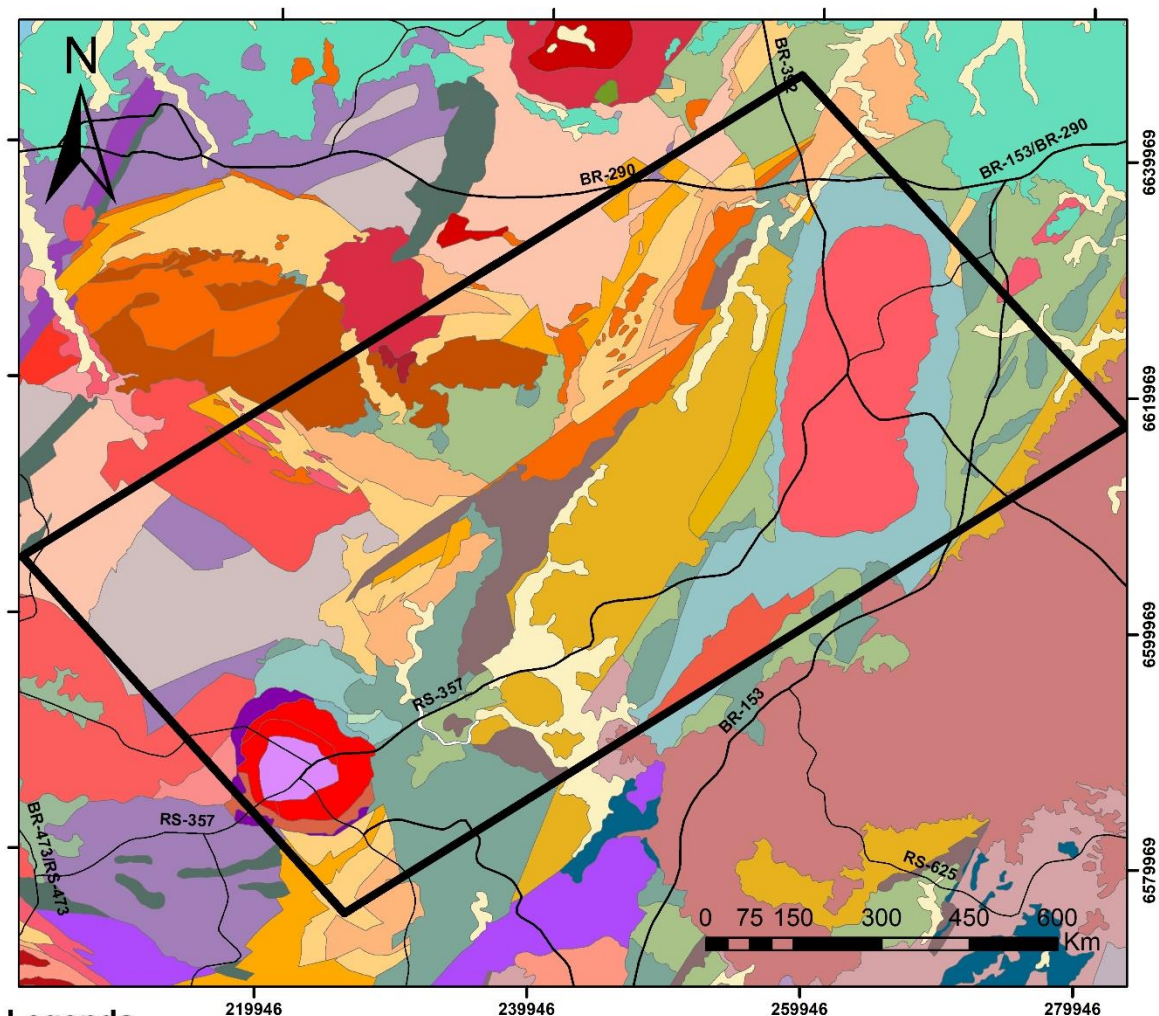
Na região sul da área é reconhecida a Formação Hilário (Figura 4), Grupo Bom Jardim, descrita como depósitos vulcanogênicos de afinidade shoshonítica, onde predominam depósitos vulcânicos acumulados tanto em ambiente subaéreo quanto subaquoso, representados por derrames de traquibasaltos a traquiandesitos, sucedendo-se andesito, localmente dacito e intrusivas representadas por domos de lamprófiros espessartíticos e *necks* de monzonitos e quartzomonzonitos (CPRM, 2008).

A oeste da Formação Hilário se encontra a Suíte Intrusiva Lavras do Sul (Figura 4), que se apresenta como um corpo arredondado na parte central da suíte composto por Biotita Granodiorito seriado a porfirítico, variando de grosso a fino, e feições de exsolução de voláteis (Gastal et al., 2006). Circundando o corpo central se encontra o Monzogranito contendo oligoclásio cálcico, andesina e percentuais de Fe-biotita iguais ou superiores aos da Fe-hornblenda dispersamente apresenta variações texturais devido a exsolução de voláteis.

Na porção norte da suíte aflora um corpo classificado como Pertita Granito contendo oligoclásio, albita, hornblenda e biotita, apresenta titanita rica em elementos terras raras. Mais a norte na suíte ocorre o Monzonito Tapera, este descrito como quartzo monzonito com arranjo intergranular, apresentando grãos tabulares de andesina e anédricos de quartzo e K-feldspato. Apresenta apatita e titano-magnetita como minerais acessórios.

Na porção sudoeste da área de estudo ocorre o Granito Jaguari, este se dividindo em duas partes, a primeira classificado como um Monzogranito com textura heterogranular, variando de média a grossa, e composição predominante de plagioclásio e biotita, e forma schilierens em partes distintas da rocha. A segunda é classificado como Sienogranito equigranular, variando de médio a grosso. Apresenta arranjo típico de quartzo com aglomerado de grãos. Em relação ao Monzogranito de distingue pela presença de anfibólio (Gastal, 1992).

Figura 4: Mapa Geológico de parte do Rio Grande do Sul com destaque para a área de estudo



Legenda

Geologia

UNIDADE

- Unidade de Ortognaisses Porongos
- Acampamento Velho
- Acampamento Velho - Fácies Coerente
- Acampamento Velho - Fácies Particulada
- Formação Arroio América
- Formação Arroio Marmeleiro
- Formação Arroio Mudador
- Complexo Granito-Gnaissico Bagé
- Cambaí, ortognaisse
- Cambaí, paragnaisse
- Suíte Caçapava do Sul
- Cerro Manteigueira
- Depósitos aluviais
- Gnaisses Encantadas
- Formação Pedra Pintada
- Formação Rio Bonito
- Formação Santa Tecla
- Gabro Mata Grande

- Gabro Santa Catarina
- Granito Cerro da Cria
- Granito Jaguari
- Granito Ramada
- Granito Saibro
- Granito Santa Zélia
- Granito Santo Afonso
- Granito São Manoel
- Granito São Sepé
- Granitóide Santana da Boa Vista - monzogranito
- Granitóide Santana da Boa Vista - sienogranito
- Granodiorito Lavras do Sul
- Granodiorito Fazenda do Posto
- Hilário - Fácies Coerente
- Hilário - Fácies Particulada
- Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua
- Maçico de Pedras Pretas
- Monzodiorito Arroio do Jaques
- Monzogranito Lavras do Sul
- Monzogranito Lajeado

- Monzogranito Rincão dos Coqueiros
- Monzogranito Santa Rita
- Monzonito Tapera
- Formação Palermo
- Passo da Promessa
- Pedra do Segredo
- Pertita Granito
- Quartzo Monzonito
- Rodeio Velho
- Formação Santa Fé
- Santa Maria Chico
- Serra dos Lanceiros
- Sieno Granito Lavras do Sul
- Sienogranito Camaquã Pelado
- Formação São Rafael
- Formação Taciba
- Unidade metassedimentar Porongos
- Vacacai - unidade metassedimentar
- Vacacai - unidade metavulcânica
- Formação Varzinha

Fonte: Modificado de GeoSGB

Na porção oeste da área de estudo se encontra a Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua (Figura 4), contendo dioritos, tonalitos, granodioritos e monzogranitos. Apresentam granulometria fino a médio, variam de mesocráticos a melanocráticos e apresentam coloração cinza (CPRM, 2008).

Na porção oeste da área ocorre o Granito São Manoel (Figura 4), este se apresenta com um corpo orientado NW/SE, composto por monzogranitos e granodioritos de textura variando de média a grossa (CPRM, 2008).

A norte do granito afloram rochas da Formação Passo da Promessa, Grupo Maricá, que compreende depósitos de arenitos e arenitos conglomeráticos com estrutura cruzada acanalada, de ambiente fluvial entrelaçado (Pelosi, 2005).

Mais a norte na área de estudo se localiza a Formação São Rafael (Figura 4), Grupo Maricá, caracterizada por ritmitos arenosos e pelíticos, de proveniência de ambiente de plataforma marinha e face litorânea (Pelosi, 2005). Ainda a norte da formação ocorre a Formação Arroio América (Figura 4), Grupo Maricá, caracterizada pela presença de arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerado, o ambiente deposicional é classificado como fluvial entrelaçado, e a formação é definida como a unidade de topo do grupo. Na região centro-oeste da área afloram as rochas da Formação Acampamento Velho (Figura 4), Grupo Cerro do Bugio, onde ocorrem depósitos vulcânicos predominantemente ácidos, podendo ser observados ignimbritos, brechas vulcânicas, tufos de queda, eventualmente cobertos por lavas riolíticas. (Sommer et al., 2011). Ainda na porção centro-oeste da área ocorre o Granito Ramada descrito por (Naime., 1991) como constituído por sieno e monzogranitos com anfíbio cálcico e biotita, além de magnetita, titanita, allanita, zircão e fluorita. Sua textura varia de equigranular hipidiomórfica até porfirítica.

7 METODOLOGIA

Para este estudo foram realizadas etapas distintas e que se dividem em duas fases: a coleta e o tratamento estatístico dos dados geoquímicos; e a produção cartográfica com os resultados obtidos.

Na primeira fase através do banco de dados da CPRM, o GeoSGB, foram extraídos os dados geoquímicos da área de estudo. Com os dados devidamente

organizados a próxima etapa consistiu no tratamento estatístico dos dados através do pacote de análise estatística do *software* Excel. O pacote incluiu análise estatística univariada e bivariada, dentre elas a análise por componente principal, matriz de covariância, autovalores, autovetores e transformada de Hotelling.

Na segunda fase foi utilizado o *software* ArcGIS para a produção dos mapas de anomalia para cada elemento que apresentou concentração anômala em alguma região da área estudada. Nesta etapa ainda foi utilizada a krigagem através do próprio *software*.

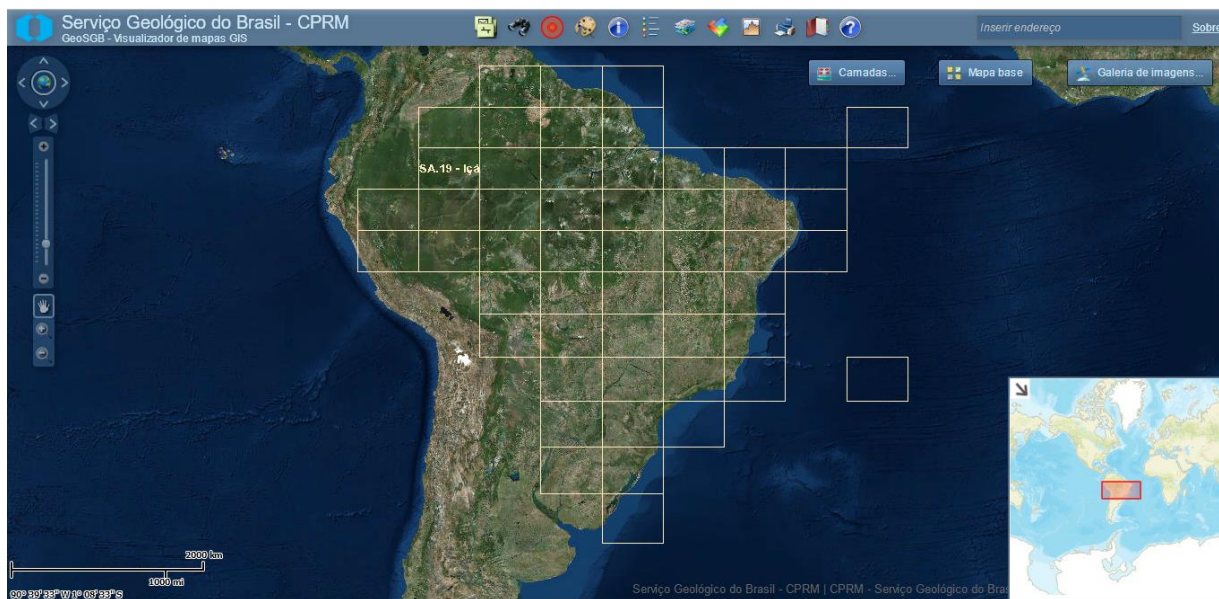
7.1 AQUISIÇÃO DE DADOS GEOBANK

O GEOBANK é a plataforma de banco de dados Oracle que foi disponibilizada pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM). Através de seu acervo contendo inúmeras bases ele fornece apoio aos trabalhos e pesquisas referentes as Geociências através da disponibilidade de dados e ou armazenamento de informações (Figura 5). Hoje a base de dados utiliza o módulo espacial e um *webmap* conectado de forma a divulgar o acervo da cartografia geológica atual da CPRM. Através de pesquisas no *website* o usuário pode baixar e armazenar dados para plotar em mapas, exportar dados pontuais e realizar *downloads* de arquivos vetoriais do tipo *shapefile*.

Além das informações geoquímicas é possível visualizar e baixar também os arquivos referentes a datações geocronológicas, análises mineralométricas, domínios hidrológicos, aerogeofísica, entre outros.

Para a extração dos dados, o usuário delimita a área de interesse em mapa e seleciona os dados desejados e o formato de saída das informações. Em relação aos dados geoquímicos foram utilizados os dados referentes as pesquisas realizadas até o ano de 2012, que são as informações relevantes ao projeto maior. Os dados foram obtidos em formato de planilha de Excel (Figura 6). A planilha foi organizada para apresentar apenas informações pertinentes ao objetivo do estudo, contendo apenas dados de localização e concentração dos elementos alvo.

Figura 5: Plataforma webmap



Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Figura 6: Exemplo de tabela de Excel com dados geoquímicos pré 2012

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X								
1	OBJEC	id_amo	amostra	numero	base_oi	id_class	classe	tipo_amo	material	fonte_ar	situacao	grau_int	mineral	tipo_veg	area_dre	tipo_sol	pluviosix	horizont	profundi	projeto	metodo	abertura	unidade	precisac								
2	1	109,747	FDD831	IP0657	SB-24-Z	2	Concent	Simples	Coluviã	Po	Ásio									0	Encaito	Espectr	HBr,Br	ppm	0							
3	2	204,590	HEDP206	FV0722	SD-24-Y	2	Concent	Compos	Argila	Solo	residual									0	Rio Sals	Espectr	HBr,Br	ppm	0							
4	3	170,598	HB1044	VP0589	SC-24-Y	7	Solo	Compos	Solo	Solo	residual			Cerrado	N	Áo es	Per	Á	od C	0	Serra de	Colorim	Semiqu	ppm	0							
5	4	176,551	HBP593	AT0147	SC-24-Y	7	Solo	Compos	Solo	Solo	n	Áo especificado		Caatinga/Agreste	Jovem	Per	Á	od B	0	Serra de	Espectr	H3PO4	ppm	0								
6	5	161,034	HAM23	OS0375	SD-23-X	7	Solo	Simples	Solo	Solo	residual			Cerrado	Jovem	Per	Á	od C	0	Rochas	Espectr	HBr,Br	ppm	0								
7	6	174,963	HBQ111	CM0026	SC-23-Z	7	Solo	Compos	Solo	Afloramento				Caatinga/Agreste	Calc	Árivi	Per	Á	od B	0	Morro d	Quantita	Total	%	0							
8	7	206,863	HDF146	ES0012	SC-24-V	7	Solo	Compos	Solo	Solo	n	Áo especificado		Caatinga/Agreste	N	Áo es	Per	Á	od B	0	Serra da	Colorim	Semiqu	ppm	0							
9	8	227,162	HES886	JJ0024	SD-24-V	7	Solo	Simples	Solo	Solo	residual			Terras cultivadas	N	Áo es	Per	Á	od B	0	PLGB - I	Espectr	HNO3	a	%	0						
10	9	29,202	DAH888	RC0067	SB-21-X	9	Rocha	Simples	Rocha sedimentar	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Sulfetos	Cromat	Semiqu	ppm	0							
11	10	37,129	DAT898	AS0062	NA-22-Y	9	Rocha	Simples	Granulito	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Sudoest	Espectr	Pastilha	ppm	0							
12	11	58,780	EAE832	AA0112	SB-21-X	9	Rocha	Simples	Anfibolit	Afloramento										0	Jamanã	Colorim	Semiqu	ppm	0							
13	12	216,510	HEM941	PB0120	SC-24-X	9	Rocha	Canal	Gabro	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Canind	Quantita	Total	%	0							
14	13	216,499	HEM921	PB0109	SC-24-X	9	Rocha	Canal	Gabro	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Canind	Quantita	Total	%	0							
15	14	214,315	HEM821	RG0020	SC-24-X	9	Rocha	Canal	Gabro	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Canind	Quantita	Total	%	0							
16	15	215,974	HEL406	QM0100	SD-24-V	9	Rocha	Simples	Dolomito	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Peden	Á	Colorim	Semiqu	ppm	0						
17	16	275,874	JBH358	EM0236	SC-22-Z	9	Rocha	Compos	Quartzo	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Canelin	Espectr	HNO3	a	%	0						
18	17	299,516	KAU356	HT0078	SC-20-Z	9	Rocha	Simples	Peridotit	Trincheira	Fresca	ou n	Áo oxidada							0	Cacoal	Colorim	Semiqu	ppm	0							
19	18	339,863	HDP022	AM1725	SC-24-X	9	Rocha	Canal	Dolomit	Sondagem	Fresca	ou n	Áo oxidada							0	Codise	Espectr	HNO3	a	ppm	0						
20	19	338,927	HDF695	AM0285	SC-24-X	9	Rocha	Outros	Dolomit	Sondagem	Fresca	ou n	Áo oxidada							0	Codise	Espectr	HBr,Br	ppm	0							
21	20	345,897	HEL398	OM0095	SD-24-V	9	Rocha	Simples	Dolomito	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Peden	Á	Colorim	Semiqu	ppm	0						
22	21	314,934	KCE399	SJ0430	SD-20-X	9	Rocha	Simples	Anortos	Afloramento	Fresca	ou n	Áo oxidada							0	Platina F	Quantita	Total	%	0							
23	22	371,069	JEX873	EC0098	SH-22-Y	9	Rocha	Simples	Rocha	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Folha H	Determin	Fus	Áo	%	0						
24	23	320,891	KCE007	SJ2026	SD-20-X	9	Rocha	Simples	Gabro	Afloramento	Parcialmente	decomposta	ou oxidada							0	Platina F	Quantita	Total	%	0							
25	24	216,552	HEM995	RG0048	SC-24-X	9	Rocha	Canal	Gabro	Fresca	ou n	Áo oxidada								0	Canind	Quantita	Total	%	0							
26	25	1,821	AAC195	YS1807	SD-23-X	10	Sedimer	Compos	Areia	Afloram	Leito	seco		Caatinga	At	Á	10 Km2	Per	Á	odo seco	0	Santo O	Colorim	Semiqu	ppm	0						
27	26	2,259	AAD345	RD0279	SD-23-X	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Per	Á	odo seco	0	Santo O	Colorim	Semiqu	ppm	0							
28	27	51,495	DBS262	JF8070	NA-22-Y	10	Sedimer	Simples	Aluviã	Áo	Leito	seco		Floresta	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	C	Á	be	Colorim	Semiqu	ppm	0				
29	28	42,518	DEP021	JF8064	NA-22-Y	10	Sedimer	Simples	Aluviã	Áo	Leito	seco		At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	C	Á	be	Espectr	Semiqu	%	0					
30	29	79,967	FAM021	FP1043	SB-24-X	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	Fortalez	Espectr	Quantita	ppm	0							
31	30	72,106	FAH745	CG0435	SB-24-Z	10	Sedimer	Simples	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	Rio Jagu	Espectr	Semiqu	%	0							
32	31	62,976	EAC444	VP2010	SB-21-X	10	Sedimer	Simples	Aluviã	Á	Solo	traí	Leito	ativo	abaixo	do	n	Á	ve	Floresta	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	1	Jamanã	Colorim	Semiqu	ppm	0
33	32	84,796	FAU454	JA2011	SA-24-Y	10	Sedimer	Simples	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	Urucua	Colorim	Semiqu	ppm	0							
34	33	81,806	EAD157	VP2035	SB-21-X	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	1	Jamanã	Colorim	Semiqu	ppm	0							
35	34	81,783	FAL679	EE1847	SA-24-Y	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	Caatinga	At	Á	10 Km2	Per	Á	odo seco	0	Cobre n	Colorim	Semiqu	ppm	0						
36	35	105,547	FDJ988	AA0078	SB-24-Z	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	Caatinga	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	PLGB - I	Colorim	Semiqu	ppm	0						
37	36	113,761	FDQ509	BR0226	SB-24-X	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	Mapa G	Espectr	Pastilha	ppm	0							
38	37	171,694	HBC411	JE1019	SC-24-Y	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Á	Afloram	Leito	seco	At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	Serra de	Colorim	Semiqu	ppm	0							
39	38	204,277	HDY490	RV0187	SC-24-Z	10	Sedimer	Compos	Aluviã	Áo	Leito	seco		At	Á	10 Km2	Chuv	as	esparsas	0	PLGB - I	Espectr	HNO3	a	ppm	0						

Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

7.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA MULTIVARIADA

7.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA

De acordo com Babbie (1999) a análise estatística bivariada objetiva temas explicativos e relações causais, onde o principal objetivo é de comparar os grupos, com o pressuposto de que a variável de estratificação terá algum efeito causal (explicação) sobre a variável de descrição.

7.2.2.1 CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1. O sinal indica a direção da correlação (negativa ou positiva) enquanto que o valor indica a magnitude. Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação. Em particular, uma correlação de valor zero significa que as variáveis são ortogonais entre si (ausência de correlação). Uma correlação positiva indica que quando x aumenta, y também aumenta, ou seja, valores altos de x estão associados a valores altos de y, Figueredo (2014).

Dancey e Reidy (2006) apresentam a seguinte classificação no que diz respeito à magnitude do coeficiente:

$>0,7$	<i>Positiva</i>
$<0,7/>-0,7$	<i>Ausente</i>
$<-0,7$	<i>Negativa</i>

7.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA

A análise estatística univariada de acordo com Fávero et al. (2009) consiste nos seguintes tópicos:

- Frequência de ocorrências de um conjunto de observações por meio de tabelas de distribuição de frequências;
- Representação da distribuição de uma variável por meio de gráficos;
- Apresentar medidas representativas de uma série de dados, como medidas de posição ou localização, medidas de dispersão e variabilidade e medidas de forma como curtose e assimetria.

De acordo com Costa (2001) é possível classificar e caracterizar as informações obtidas através da análise univariada, sendo estas divididas em medidas de tendência central, medidas de localização, medidas de espalhamento e medidas de forma, como citado em seguida:

7.2.2.1 MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL:

Para as medidas de tendência central, no trabalho foram aplicadas no banco de dados média, mediana e moda.

Média: aritmética, é o centro de gravidade da distribuição da variável. Requer que a variável seja quantitativa e é pouco sensível a variações nos valores centrais, enquanto que (e esta é sua maior desvantagem) é grandemente afetada pelos valores extremos da variável.

Mediana: é o valor que divide o conjunto de observações exatamente ao meio, de tal maneira que o número de observações maiores do que a mediana seja igual ao número de observações menores do que a mediana. A aplicação da mediana requer que a variável possa ser ordenável. Uma desvantagem da mediana é ser muito afetada por ligeiras variações nos valores centrais da variável. Em compensação, ela permanece inalterada para mudanças ainda que grandes nos valores extremos da distribuição.

Moda: é a medida de tendência central mais simples e é aplicável a qualquer variável, seja quantitativa ou qualitativa. É o valor médio do intervalo de frequência com maior quantidade de valores e é extremamente sensível a pequenas alterações nos valores observados.

7.2.2.2 MEDIDAS DE LOCALIZAÇÃO

Em relação as medidas de localização para o trabalho foram analisadas o máximo e mínimo.

Mínimo: valor no qual temos histograma cumulativo igual a 0%.

Máximo: valor no qual temos histograma cumulativo igual a 100%.

7.2.2.3 MEDIDAS DE ESPALHAMENTO

Como medidas de espalhamento foram obtidas do banco de dados a variância, e o desvio padrão.

Variância: é a diferença quadrática média entre os valores observados e sua média. É muito sensível a valores extremos e é medida na mesma unidades das amostras ao quadrado.

Desvio padrão: é igual à raiz quadrada da variância. É mais frequentemente usado, já que tem unidade igual à das amostras.

7.2.2.4 MEDIDAS DE FORMA

Como medidas de forma, foram geradas aa partir do banco de dados os coeficientes de assimetria e variação.

Coeficiente de assimetria (“skewness”): extremamente sensível a valores extremos, é dado por: $CS=1n\sum(V_i-m)^3_{ni=1}\sigma^3$

Coeficiente de variação: útil como medida de assimetria para distribuições assimétricas positivas com valor mínimo igual a 0. Fornece uma indicação do grau de dificuldade para estimativas locais.

7.3 KRIGAGEM

De acordo com Gripp (1992) em trabalhos para utilização de geoestatística no tratamento de dados geoquímicos, se considera a Krigagem como o melhor estimador linear não enviesado, que permite estimar um valor médio (equação 1):

$$Z_k(V) = \sum_{a=1}^N \lambda_a Z(V_a) \quad (5)$$

Neste caso os coeficientes λ_α são calculados de modo que possam minimizar a variância na estimação de $z(V_\alpha)$ por $Z_k(V)$, que nos leva ao seguinte sistema de $N+1$, como segue a equação 2:

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^N \lambda_\beta \bar{Y} \\ \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha=1} \end{cases} \alpha\beta + \mu = \bar{Y} \alpha\gamma, \quad \alpha = 1 \text{ à } N$$

Variância da Krigagem é dada por: (2)

$$\partial_k^2 = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_\alpha \bar{Y} \alpha\gamma + \mu - \bar{Y}(V, V)$$

Deste modo, se conhecendo a função variograma é possível calcular o estimador linear, e ainda a variância de estimação, possibilitando a medição da qualidade da estimação (Gripp, 1992).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 PADRONIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados de amostras com análises geoquímicas obtido através do portal GeoSGB apresenta dados referentes a todo o território nacional com amostragem de solo, concentrado de bateia, sedimento de corrente e rocha. Para maior adequação a este estudo foi limitado a partir de dados de coordenadas geográficas um limite a norte e outro a sul para adequar e selecionar dados relevantes ao presente projeto.

Na sequência foram feitas adequações de formato para entrada no *software* ArcGIS e divisão em planilhas individuais para cada elemento para análise estatística através do *software* Excel.

8.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA

8.2.1 OURO

Entre os elementos do banco de dados, o ouro apresentava o maior número de amostras em relação aos outros, devido à presença de maior número dados referentes a todos os tipos de amostragem (Tabela 1).

Entre um conjunto amostral de 253 elementos é possível observar um valor modal de 0,01 ppm entre todos os dados e todos valores de tendência central abaixo de 10 ppm. Para um caso de máximo de concentração com valor de 188 ppm fica maior evidente a presença de anomalias em representação gráfica e espacial devido ao maior intervalo entre os valores máximos e mínimos obtidos.

Tabela 1: Análise Univariada Ouro

<i>Au</i>	
Média	7,812371542
Erro	1,503002738
Mediana	0,695
Moda	0,01
Desvio Padrão	23,90672205
Coeficiente de variação	571,531359
Curtose	29,47751292
Assimetria	5,194910195
Intervalo	187,988
Mínimo	0,002
Máximo	187,99
Variância	1976,53
Contagem	253
Maior	187,99
Menor	0,002
Nível de confiança (95,0%)	2,960047207

8.2.2 CROMO

De forma semelhante aos outros elementos analisados, o cromo apresenta menor número de amostras na área de pesquisa. Nos resultados da análise univariada é observado um valor relativamente alto de desvio padrão, e um valor de máximo e mínimo com maior amplitude entre si, em relação aos demais elementos analisados. É possível, a partir de medidas médias de tendência central próximos a 1000 ppm (Tabela 2), verificar a maior recorrência deste elemento presente em amostras obtidas na região do projeto.

Tabela 2: Análise Univariada Cromo

<i>Cr</i>	
Média	963,6734694
Erro	260,116968
Mediana	50
Moda	10
Desvio Padrão	1820,818776
Coefficiente de variação	3315381,016
Curtose	1,414987951
Assimetria	1,798946604
Intervalo	4990
Mínimo	10
Máximo	5000
Variância	47220
Contagem	49
Maior	5000
Menor	10
Nível de confiança (95,0%)	523,000217

8.2.3 COBRE

A contagem de 29 amostras contendo valores significativos para o cobre (Tabela 3) representa um baixo valor de ocorrência na superfície, do elemento na área prospectada. Com valores de tendência central próximos entre si e baixos em relação aos demais elementos amostrados e um desvio padrão relativamente baixo. Seu valor máximo se mostra bem distante dos valores de tendência central.

Tabela 3: Análise Univariada Cobre

<i>Cu</i>	
Média	19,75862069
Erro	7,009784712
Mediana	7
Moda	5
Desvio Padrão	37,74884594
Coeficiente de variação	1424,975369
Curtose	19,82816216
Assimetria	4,250562455
Intervalo	195
Mínimo	5
Máximo	200
Variância	573
Contagem	29
Maior	200
Menor	5
Nível de confiança (95,0%)	14,35889307

8.2.4 MOLIBDÊNIO

De acordo com os dados de máximo e mínimo, variando de 5 a 45 ppm (Tabela 4), torna-se mais difícil a percepção de valor anômalo. Podendo ser observado, também, pela proximidade de valores de tendência central com baixa variabilidade. Isso demonstra uma regularidade na ocorrência deste elemento na região de pesquisa. Contudo mesmo com ocorrência regular esses valores em relação a níveis explotáveis não são satisfatórios na região, percebidos a partir de valores similares entre média, moda e mediana, além de estes valores se aproximarem mais do valor mínimo que do máximo. A análise univariada deste elemento foi realizada a partir da coleta de 38 amostras na área do projeto.

Tabela 4: Análise Univariada Molibdênio

<i>Mo</i>	
Média	9,289473684
Erro	1,458729496
Mediana	5
Moda	5
Desvio Padrão	8,992212531
Coeficiente de variação	80,8598862
Curtose	11,23723297
Assimetria	3,08618641
Intervalo	45
Mínimo	5
Máximo	50
Variância	353
Contagem	38
Maior	50
Menor	5
Nível de confiança (95,0%)	2,95566671

8.2.5 NÍQUEL

Nos valores de tendência central para o níquel (Tabela 5) é possível observar uma maior distância entre moda e mediana para a média, em conjunto com valores distantes entre máximo e mínimo torna-se mais representativo os valores anômalos para o elemento. A maior variação entre estes valores se deve a presença de um maior número de amostras para análise.

8.2.6 CHUMBO

Com valores máximos e mínimos variando de 10 a 300 ppm (Tabela 6) a amostra pode apresentar boa identificação de valores anômalos. No entanto os valores de média de 85 ppm e mediana de 50 ppm podem centralizar os valores próximo ao mínimo, diminuindo o contraste entre os teores. É possível observar também um valor de assimetria baixo, confirmando a tendência centralizada dos valores. A análise foi realizada com um total de 49 amostras.

Tabela 5: Análise Univariada Níquel

<i>Ni</i>	
Média	47,625
Erro	13,27107359
Mediana	5
Moda	5
Desvio Padrão	83,93363908
Coeficiente de variação	7044,855769
Curtose	4,534297189
Assimetria	2,342044077
Intervalo	295
Mínimo	5
Máximo	300
Variância	1905
Contagem	40
Maior	300
Menor	5
Nível de confiança (95,0%)	26,84328005

Tabela 6: Análise Univariada Chumbo

<i>Pb</i>	
Média	84,79591837
Erro	12,89673071
Mediana	50
Moda	20
Desvio Padrão	90,27711495
Coeficiente de variação	8149,957483
Curtose	0,411834223
Assimetria	1,278032051
Intervalo	290
Mínimo	10
Máximo	300
Variância	4155
Contagem	49
Maior	300
Menor	10
Nível de confiança (95,0%)	25,93061502

8.2.7 ESTANHO

Neste caso foram observadas duas particularidades, os valores de mediana e moda coincidentes com o valor máximo, o que conseqüentemente foi gerado um valor de curtose e assimetria negativos. Representando uma tendência dos valores se agruparem próximos ao valor máximo. Para melhor detecção de valores anômalos seria necessário maior adensamento para coleta de amostras e com um menor espessamento entre os pontos de coleta.

Tabela 7: Análise Univariada Estanho

<i>Sn</i>	
Média	627,5510204
Erro	59,49156075
Mediana	1000
Moda	1000
Desvio Padrão	416,4409252
Coeficiente de variação	173423,0442
Curtose	-1,635836532
Assimetria	-0,411830562
Intervalo	990
Mínimo	10
Máximo	1000
Variância	30750
Contagem	49
Maior	1000
Menor	10
Nível de confiança (95,0%)	119,6157998

8.2.8 ZINCO

Com os valores de medida central variando de 200 a 500 ppm (Tabela 9) é possível observar que o elemento apresenta ocorrência em valores elevados na superfície, no entanto o valor modal é coincidente com o valor mínimo, podendo facilitar a visualização de valores anômalos.

Tabela 8: Análise Univariada Zinco

Zn	
Média	500
Erro	108,4523156
Mediana	200
Moda	200
Desvio Padrão	496,9909456
Coeficiente de variação	247000
Curtose	3,448990701
Assimetria	1,944795832
Intervalo	1800
Mínimo	200
Máximo	2000
Variância	10500
Contagem	21
Maior	2000
Menor	200
Nível de confiança (95,0%)	226,2275661

8.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA

Na análise bivariada é possível observar a correlação entre dois elementos distintos, podendo definir assim a associação de ocorrência conjunta de certos elementos.

Foram considerados valores acima de 0,7 representativos de correlação positiva e abaixo de -0,7 correlação negativa seguindo o modelo de Dancey e Reidy (2006).

O anexo 1 apresenta a análise bivariada dos elementos investigados. Nela é possível observar correlações positivas entre os elementos Au/Sn, Cu/Zn, Zn/Cr e Cr/Ni.

8.3.1 Au/Sn

A correlação entre ouro e estanho apresenta um valor próximo a 0,99 podendo associar a presença de um elemento praticamente em sua totalidade ao outro. A

ocorrência conjunta destes elementos pode estar relacionada ao final da fase magmática, onde os elementos por não se ligarem comumente a outros podem ocorrer em conjunto devido a esta associação.

8.3.2 Cu/Zn, Zn/Cr e Cr/Ni

As correlações positivas de cobre/zinco, zinco/cromo e cromo/níquel representam a possível atuação posterior ao magmatismo, sendo as possíveis concentrações destes elementos provenientes de hidrotermalismo. Tendo em vista a ocorrência de depósitos destes elementos provindos de fluidos hidrotermais.

8.4 KRIGAGEM

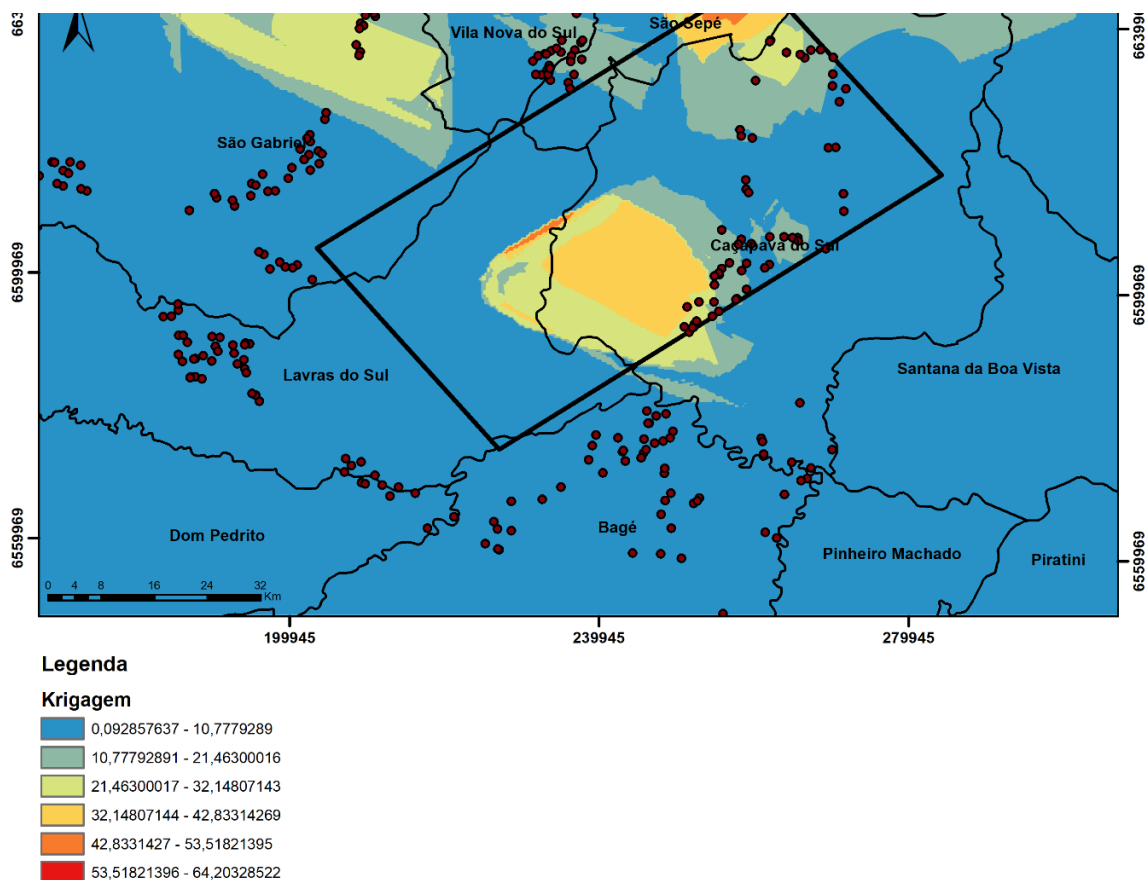
Através dos resultados obtidos com o tratamento estatístico foram definidos os elementos com representatividade e interesse para a elaboração dos mapas de anomalia através da interpolação por krigagem.

8.4.1 OURO

Nota-se uma região anômala com formato alongado na região central do polígono, abrangendo os municípios de Caçapava do Sul e Lavras do Sul (Figura 7). É uma região com maior anomalia do elemento no município de São Sepé na região norte do mapa.

Tendo em vista que foram realizados um maior número de coleta de amostras para o ouro, pode se observar que a área de abrangência e alcance da krigagem foi maior para este elemento em relação aos demais. No contexto geológico os valores anômalos positivamente de ouro se localizam na Formação Hilário, onde a sequência vulcânica da formação Hilário é portadora de mineralização de Au-Cu (Pb-Ag) e ocorrem no oeste do Escudo Sul-riograndense e são pós-colisionais à Orogênese Dom Feliciano (Gastal et al. 2006).

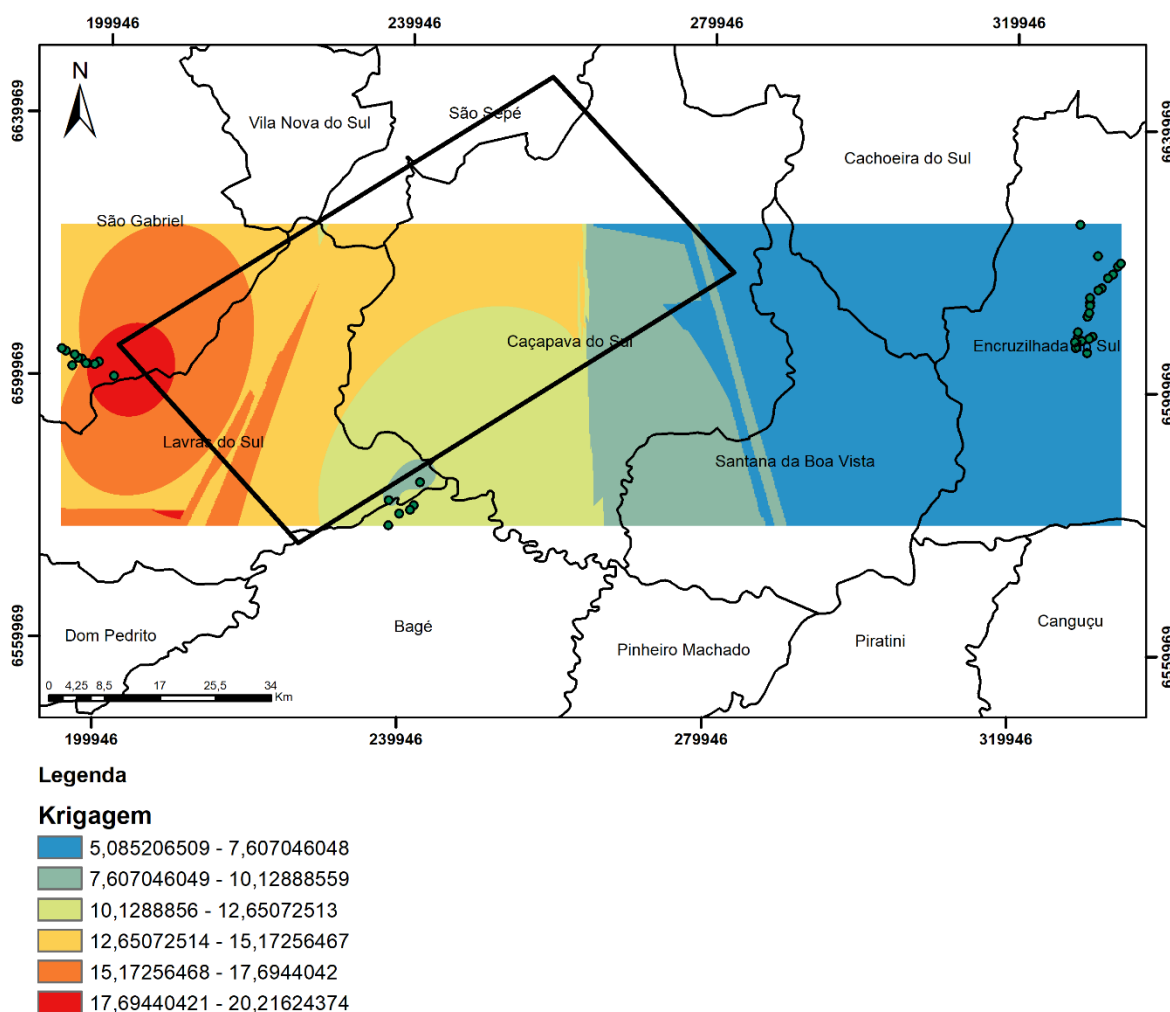
Figura 7. Krigagem Au



8.4.2 MOLIBDÊNIO

Na região oeste do mapa (Figura 8) encontram-se as amostras com maior teor de molibdênio, mesmo a área leste apresentando um maior número de pontos prospectados. Na divisa dos municípios de Lavras do Sul e São Gabriel é possível observar uma região com forma circular onde as concentrações ficam próximas a 20 ppm para o molibdênio. De acordo com Camargo (1944) foi verificada a presença de molibdenita, em coexistência paragenética com outros minerais, quase todos sulfetos, formando filões de pequena extensão e possança, mas bem ramificados e inclusos nas fraturas dos xistos da série Porongos.

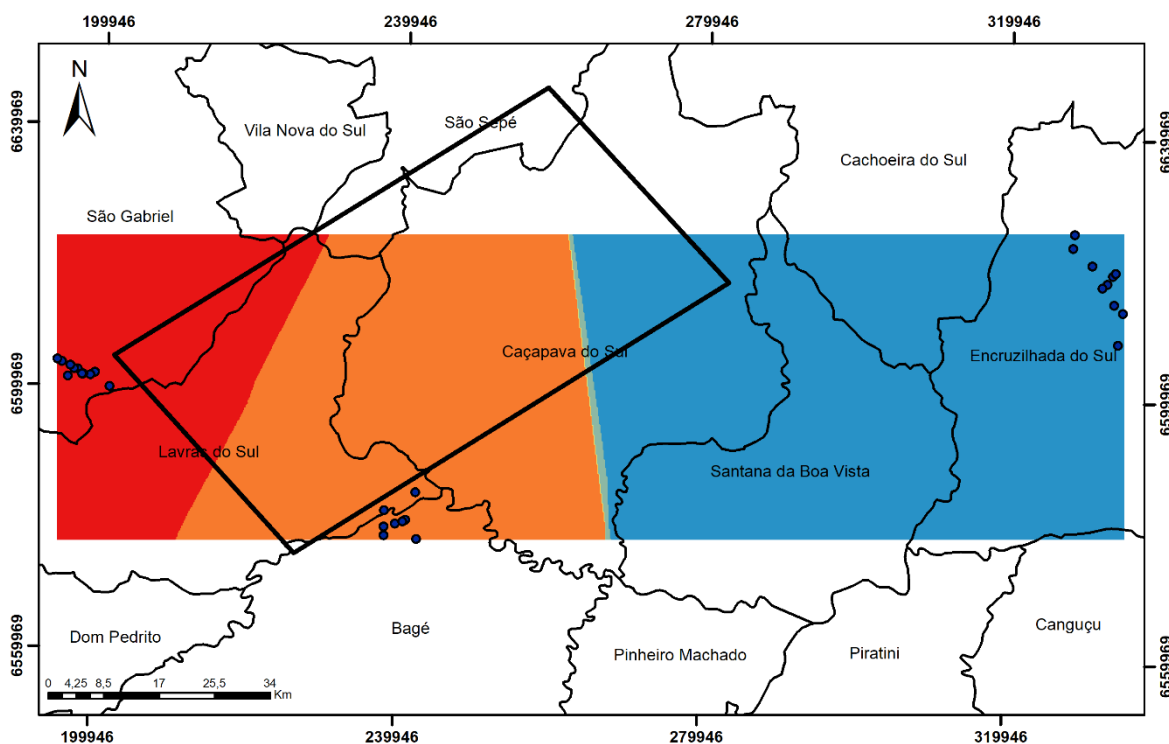
Figura 8. Krigagem Mo



8.4.3 COBRE

Para o elemento cobre é possível observar na área de estudo (Figura 9) que ocorre uma diminuição na concentração do elemento de oeste para leste. Mantendoum padrão na concentração na direção norte-sul. Nos municípios de São Gabriel e Lavras do Sul é possível observar uma área relativamente extensa de anomalia positiva para o cobre. De acordo com Camargo (1944) em áreas do Complexo Vacacaí o cobre nativo (elementar) foi verificado nas fraturas da rocha encaixante, sob forma de dendritos muito friáveis que se desfazem facilmente com água.

Figura 9. Krigagem Cu



Legenda

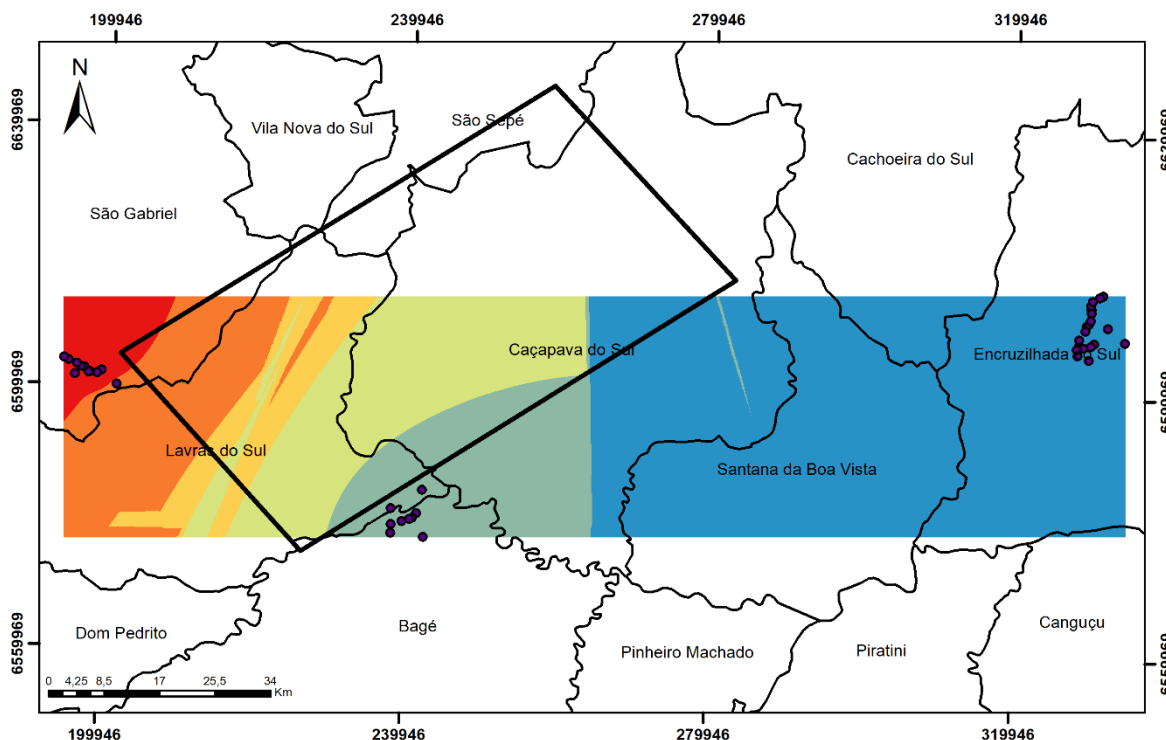
Krigagem







	6,166666031 - 11,30555312
	11,30555313 - 16,44444021
	16,44444022 - 21,58332729
	21,5833273 - 26,72221438
	26,72221439 - 31,86110147
	31,86110148 - 36,99998856

8.4.4 NÍQUEL

A variação no teor de níquel (Figura 10) é observada com uma diminuição gradativa de oeste para leste. No município de São Gabriel é possível observar uma região com anomalia de níquel chegando a concentrações próximas a 150 ppm. No município de Encruzilhada do Sul não foram encontrados valores anômalos para o níquel, mesmo com um número considerável de amostras prospectivas.

Figura 10. Krigagem Ni

**Legenda****Krigagem**

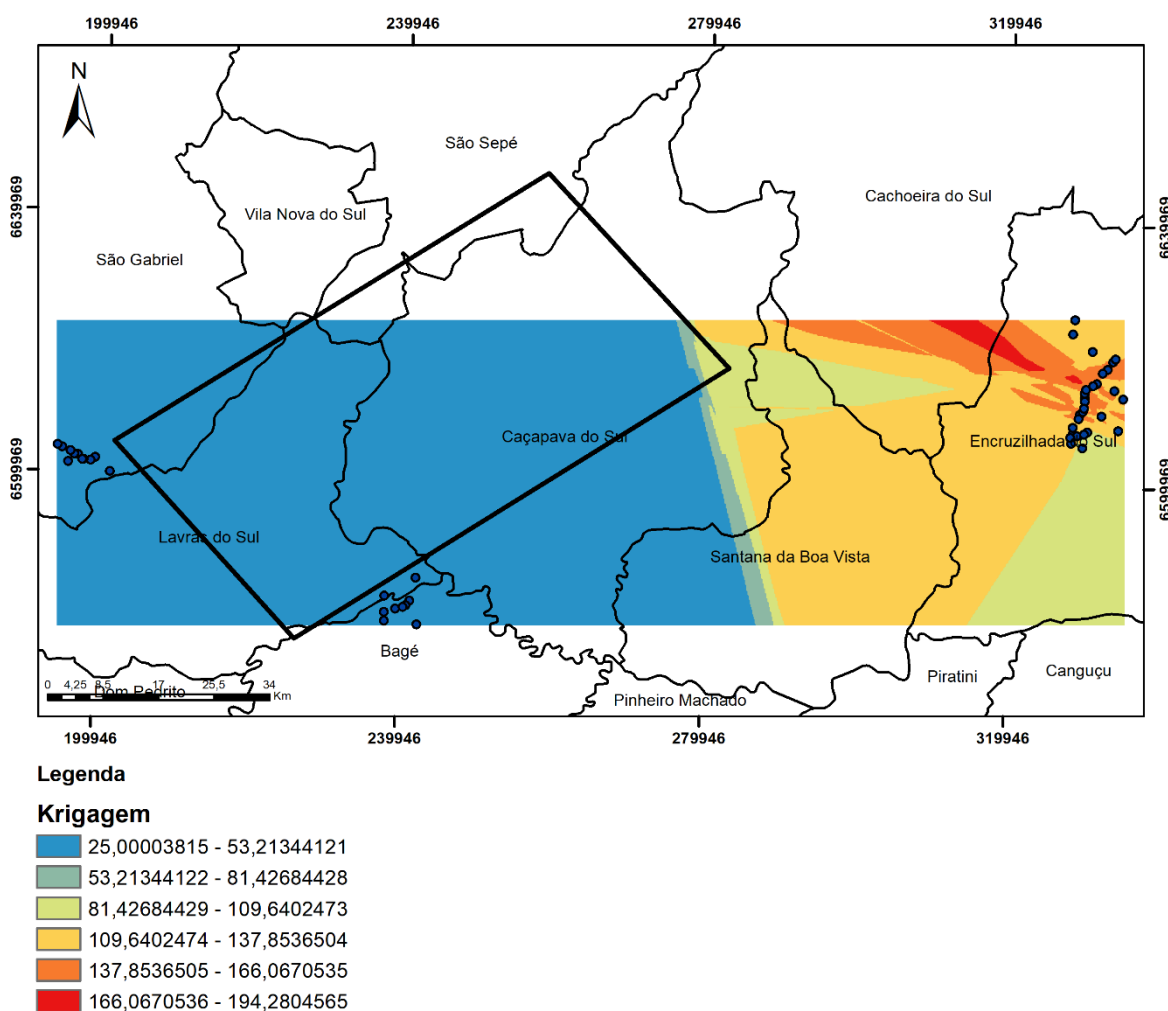
	5 - 29,06780243
	29,06780244 - 53,13560486
	53,13560487 - 77,20340729
	77,2034073 - 101,2712097
	101,2712098 - 125,3390121
	125,3390122 - 149,4068146

Em publicação do CREA-RS (2018) foi anunciado pela CPRM o início de pesquisas na região onde é observada a anomalia para possível presença do elemento. A investigação aprofunda o conhecimento sobre uma das maiores províncias ígneas do planeta: a Grande Província Ígnea Serra Geral (Large Igneous Province - LIP Serra Geral), que constitui uma parte do RS e é formada por um vasto pacote de derrames vulcânicos basálticos e intrusões máfico-ultramáficas, reconhecidas por apresentarem características semelhantes aos encontrados em outras regiões, como Noril'sk (Rússia), principal depósito mundial de níquel.

8.4.5 CHUMBO

Para o elemento chumbo (Figura 11), fugindo do padrão dos demais elementos analisados, ocorre um aumento na concentração no sentido leste do mapa. Com anomalia positiva para o elemento apenas na região dos municípios de Encruzilhada do Sul e Cachoeira do Sul. Podendo alcançar valores próximos a 200 ppm em uma área de orientação NW/SE alongada, na porção leste do mapa, abrangendo os municípios de Encruzilhada e Cachoeira do Sul.

Figura 11. Krigagem Pb

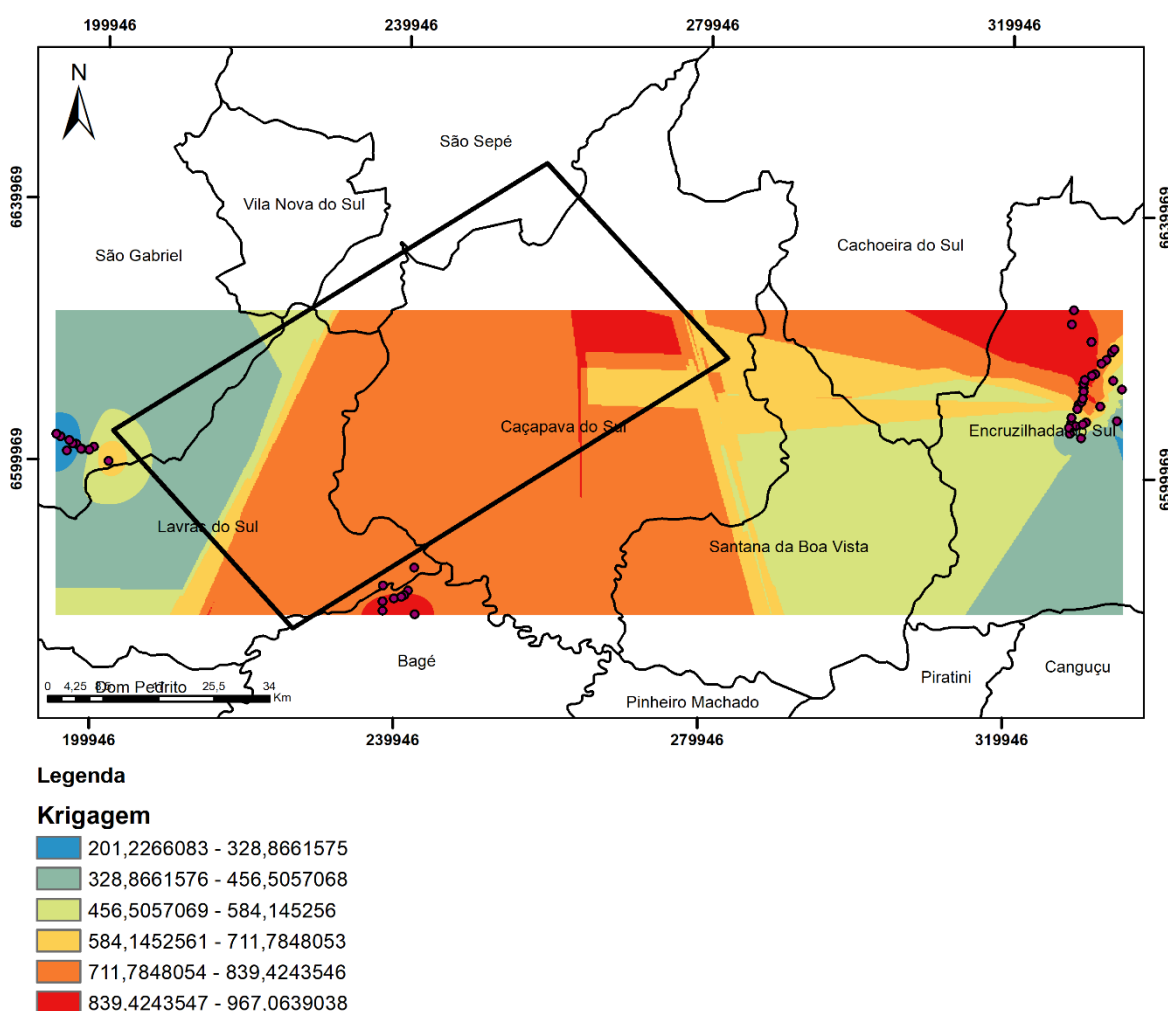


8.4.6 ESTANHO

Para o estanho (Figura 12) se observa valores anômalos de concentração em 3 regiões distintas. Na porção sudoeste do mapa, no município de Bagé é possível

observar uma área em forma de meia lua com valores positivos para o estanho. Na região central do município de Caçapava do Sul é notada uma região também com anomalia positiva de estanho. Na região a leste do mapa é possível observar uma área com altos valores de concentração de estanho abrangendo os municípios de Encruzilhada do Sul e Cachoeira do Sul. Nas três regiões é possível observar valores próximos a 1000 ppm. Na área já ocorre a exploração do estanho, as mineralizações de estanho são associadas a Biotita Granitos da Suíte Intrusiva Campinas. Essas intrusões estão localizadas lateralmente às faixas miloníticas relacionada aos estágios

Figura 12. Krigagem Sn



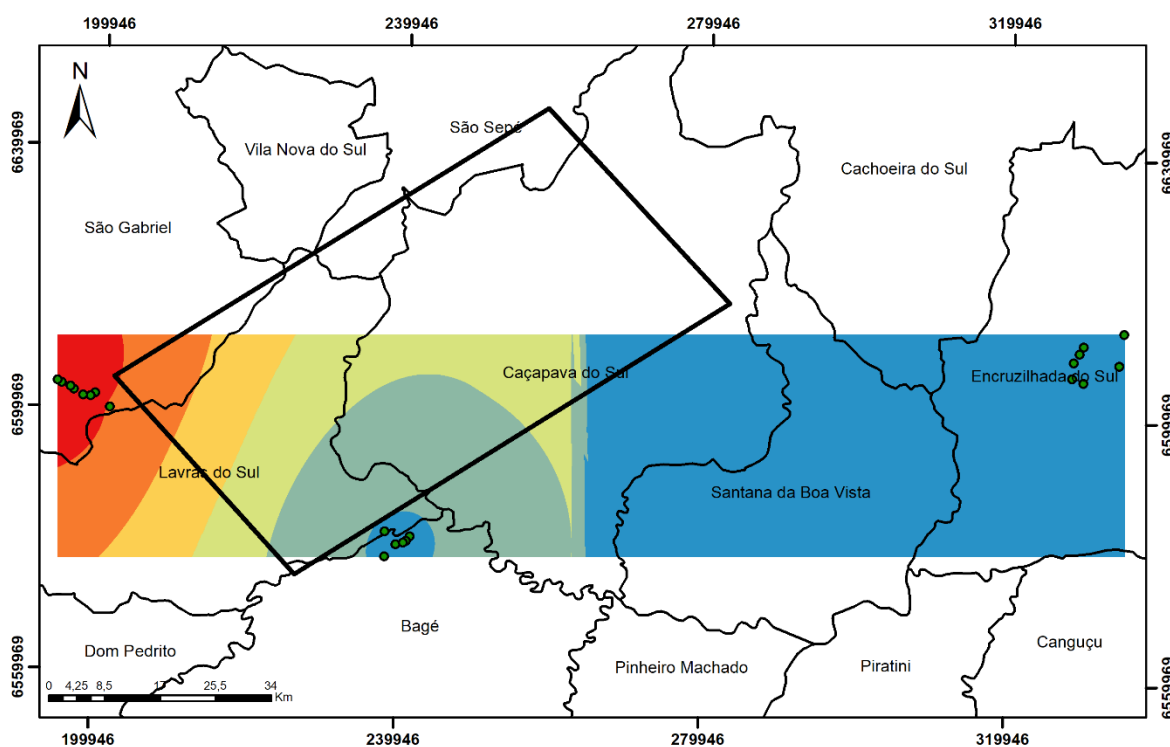
finais da evolução cinemática da tectônica transcorrente do Cinturão Dom Feliciano, exercendo um controle sobre a gênese e o padrão estrutural da mineralização. A mineralização foi gerada por alteração hidrotermal limitada às zonas de contato das injeções graníticas com a rocha encaixante e é representada principalmente por

alterações micáceas em associação com veios de quartzo. A mineralização é constituída por cassiterita disseminada nos veios de quartzo e greisens Brito (2016).

8.4.7 ZINCO

O zinco (Figura 13) mostra valores de concentração baixa em toda a região leste do mapa. Contendo valores intermediários na região centro oeste do mapa e anomalia positiva observada na porção oeste da área, abrangendo o município de São Gabriel e uma pequena porção de Lavras do Sul. Os valores de ppm elevado

Figura 13. Krigagem Zn



Legenda

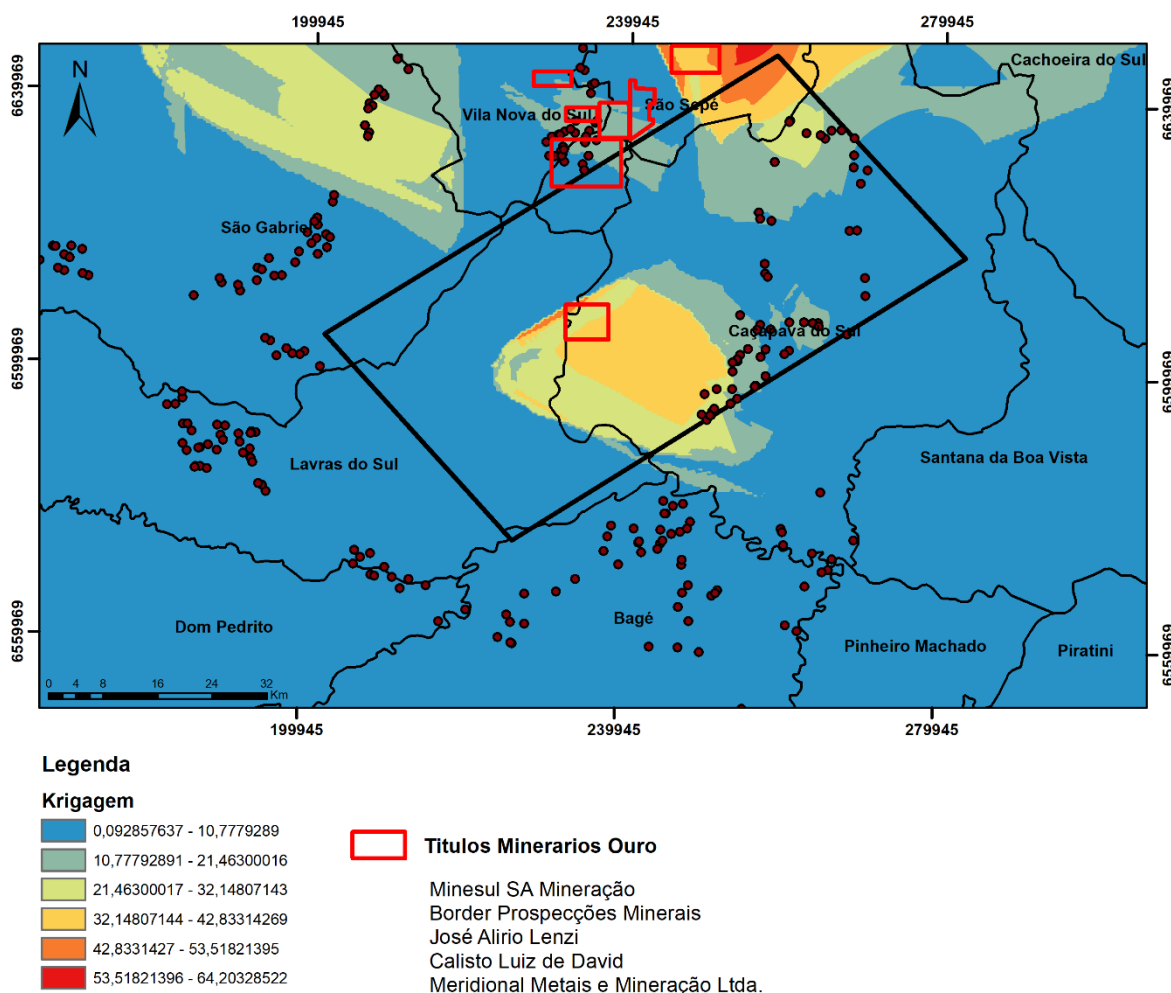
Krigagem

204,4503937 - 328,1302719
328,130272 - 451,8101501
451,8101502 - 575,4900284
575,4900285 - 699,1699066
699,1699067 - 822,8497849
822,849785 - 946,5296631

chegam próximos a 950 ppm. Geologicamente as mineralizações de Zn e Pb foram detectadas associadas as rochas do Complexo Passo do Ivo, formado por uma seqüência ultramáfica (Maciço Passo do Ivo) encaixado em rochas meta-

vulcanossedimentares do Vacacaí, pertencente ao Terreno São Gabriel Gamalho (2018).

Figura 14. Títulos Minerários



Para validação da metodologia, após a elaboração dos mapas de anomalia foi sobreposto sobre o mapa (figura 14) do elemento ouro os arquivos shapefiles referentes aos títulos minerários e licenças de pesquisa junto ao DNPM, vigentes no ano de 2019 através do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (Sigmine).

É possível observar a concordância da área requerida na região central do mapa para pesquisa de minério de ouro pela empresa Border Prospecções Minerais, com a anomalia de concentração de ouro plotada através da interpolação por krigagem. Na parte superior do mapa também é possível observar a presença de diversas empresas com licenciamento para extração e pesquisa de ouro nos

arredores da região informada como presença de anomalia positiva de concentração de ouro chegando a 65 ppm.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível determinar a metodologia utilizada como válida para prospecção em maior escala, abrangendo uma maior área. Possibilitando assim com um trabalho de custo relativamente baixo, levando em consideração que as análises são realizadas através de dados públicos, e ainda não havendo a necessidade inicial de atividades de campo.

No contexto acadêmico e minerário, o trabalho deixa em aberto um novo questionamento e um alvo a se pesquisar, levando em consideração as ocorrências de estanho e ouro relacionadas ao Biotita Granito com ocorrência detectada nos domínios da Suíte Intrusiva Campinas. Levando em consideração as características da rocha portadora das mineralizações e os resultados de correlação positiva obtida através da correlação de Pearson entre ouro e estanho com valor de 0,98 e também dos resultados de Krigagem mostrando valores anômalos em regiões próximas a Suíte Granítica Caçapava do Sul, torna-se válido um aprofundamento e trabalhos de pesquisa prospectiva nas duas regiões, tanto para o elemento ouro quanto para o estanho.

Como suporte e contribuição para possíveis trabalhos futuros de pesquisa mineral, os resultados de anomalia positiva para o níquel na região do município de São Gabriel contribuem e corroboram com as pesquisas e projetos relacionados a detecção de jazimentos de níquel passíveis de exploração na região.

Em relação a projetos minerários já em fase de operação relacionados aos elementos chumbo, cobre e zinco presentes nas regiões detectadas como valores de anomalia positiva através da krigagem, pode-se considerar como uma confirmação e suporte para a metodologia utilizada no trabalho, tendo em vista a concordância de informações acerca destes elementos.

REFERÊNCIAS

ANTON, H, Rorres C., **Álgebra Linear com Aplicações**. Bookman, Porto Alegre, 2004.

Babbie, Earl. 1999. "**Métodos de Pesquisas de Survey**". Belo Horizonte: Editora UFMG. pp.337- 361.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; VAN SCHMUS, W. R.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C. (1996) **Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil. Geology**, v. 25, n. 5, p. 439-442.

BORBA, Andre Weissheimer. **Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-riograndense, RS, Brasil): Uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7906>>. Acesso em 29 Setembro. 2018.

BRITO, Victor Hugo Vaz de. **Controle estrutural da mineralização de estanho da Mina Campinas, Encruzilhada do Sul – RS**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016.

CAMARGO, William Gerson Rolim de. **Sobre a gênese de uma jazida de molibdenita do Rio Grande do Sul**. 1944. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1944. doi:10.11606/T.44.2016.tde-27072016-163300. Acesso em: 2019-06-27.

CHEMALE, F. Jr. (2000) **Evolução geológica do Escudo Sul-riograndense**. In: Holz, M. and De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, pp. 133-160.

COSTA, A. F. U. (1997). **Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas Pré-Cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense**. Ph.D. thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 291 pp.

CPRM – **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br> Acesso em: 12 setembro. 2018.

CREA-RS – **CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL**. Disponível em: <http://www.crea-rs.org.br/site/index.php?p=ver-noticia&id=4715> Acesso em: 14 de Abril de 2019.

DANCEY, Christine P. e Reidy, John. 2006. Estatística Sem Matemática para **Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed.

FAMBRINI, G. L.; Fragoso-Cesar, A. R. S.; Almeida, R. P.; and Riccomini, C. 2005a. **A Formação Barriga Negra (Ediacarano do Uruguai): caracterização estratigráfica e correlação com unidades do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*. 35:515–524.

FAMBRINI, G. L.; Janikian, L.; Almeida, R. P.; and FragosoCesar, A. R. S. 2005b. **O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) na sub-bacia Camaquã Central, RS: sistemas deposicionais, paleogeografia e implicações tectônicas**. *Revista Brasileira de Geociências*. 35:227–238.

FAURE, G. **Principles and Applications of Inorganic Geochemistry**. New York: Macmillan Publishing Company, 1991.626p.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia; SILVA, Fabiana Lopes da; CHAN, Betty Lilian. Análise de dados – **Modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C.; SILVA JR, J.; PARANHOS, R; A., NEVES, J. A. B. e SILVA, M. B.. **“Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno”**.

GASTAL, Maria do Carmo et al. **Alojamento do granito Lavras e a mineralização aurífera durante evolução de centro vulcano-plutônico pós-colisional, oeste do Escudo Sul-riograndense: dados geofísicos e estruturais**. *Braz. J. Geol.* [online]. 2015, vol.45, n.2, pp.217-241. ISSN 2317-4889.

GASTAL, M.C.P., Lafon J.M., Ferreira J.F.F., Magro J.F.U., Remus M.V.D., Sommer C.A. 2006. **Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência**. Parte 1: geologia, geofísica e geocronologia (207Pb/206Pb e 206Pb/238U). *Rev. Bras. de Geoc.*, 36(1):109-124.

GASTAL, M. C. P.; Schmitt. R. S. & Nardi. L. V. S. 1992. **Granitoides da parte centro/sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense**. Novos dados e discussões sobre a gênese e litologia do magmatismo alcalino. *Pesquisas*, 19: 174-182.

GRIP, A. H. **Utilização de geoestatística para tratamento de dados de prospecção geoquímica**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.22, n.2, p. 248 – 251, 1992.

H. ANTON; C. Rorres, **Álgebra Linear com Aplicações**. Editora Bookman, 2004.

JANIKIAN, L.; Almeida, R. P.; Fragoso-Cesar, A. R. S.; and Fambrini, G. L. 2003. **Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, paleogeografia e significado tectônico das sucessões vulcano-sedimentares do Supergrupo Camaquã, RS.** Revista Brasileira de Geociências 33:349–362.

LAUX, J.H., Lindenmayer, Z.G., 1998. **Caracterização da mineralização Cu(Au) de um setor da Mina Uruguai, Minas do Camaquã, Brasil: Geotermometria da clorita.** Congresso Latino-Americano de Geologia, 10 e Congresso Nacional de Geologia Econômica, 6, Buenos Aires, Actas..., vol. 3, pp. 124 – 129.

LITCH, O. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis á prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2001.

NAIME, R. & Nardi, L.V.S. 1991. **O Granito Ramada, porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geologia, petrologia e geoquímica.** Revista Brasileira de Geociências, 21:266-274.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. 1989. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS.** Revista Brasileira de Geociências 19(2):153-169.

NÓBREGA, J.E.S.; SAWAKUCHI, A.O.; ALMEIDA, R.P. **Minerais pesados das porções média e superior do Grupo Guaritas (Eocambriano, RS):** considerações sobre a proveniência sedimentar. Revista Brasileira de Geociências, 2008. v. 38, n. 3, p. 554- 565.

PAIM PSG, CHEMALE Jr F & LOPES RC. 2000. **A Bacia do Camaquã,** In: HOLZ M & DE ROS LF (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora UFRGS. 522 pp.

PELOSI, A.P.M.R. **Evolução paleogeográfica do grupo Maricá, Neoproterozóico III do Rio Grande do Sul.** Tese de doutoramento, IGc-USP, 153p.

PORCHER CA & LOPES RC. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Cachoeira, Folha SH.22-Y-A.** Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. Brasília, CPRM. 117 pp.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; TESSARI, V. F. 1966. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul – RS – Brasil.** DNPM-DFPM, Boletim Divisão de Fomento da Produção Mineral Brasileira, Rio de Janeiro, 127:1-232.

SOMMER, C. A. et al. (2011) **Reoignimbritos e ignimbritos de alto grau do vulcanismo Acampamento Velho, RS: origem e temperatura de formação.** Revista Brasileira de Geociências 41(3): 420-435.

TEIXEIRA, G.; GONZALEZ, A. P. 1988. **Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, RS**. In: Schobbenhaus e Coelho (ed.), Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM, v. III, p.33-41.

Anexos

Anexo 1. Tabela de correlação de Pearson

	ag	b	ca	ca ppm	co	cr	fe	la	mg ppm	mg	me	nb	ni	pb	pf	sc	sr	t	y	zn	arsenio	au	ba	be	cu	sn	w	v		
ag	1																													
b		1																												
ca			1																											
ca ppm				1																										
co		0.33703			1																									
cr		-0.317				1																								
fe			0.47955		0.47955		1																							
la		-0.2442			-0.0642		-0.4883	1																						
mg ppm			0.65024	0.65024			0.43519		1																					
mg			0.65024	0.65024			0.43519		1																					
mo		0.01891			0.40462		0.66148			1																				
nb		-0.0677			0.31094		-0.0903		0.55005		1																			
ni		-0.0044			0.60713		0.79912		-0.4671		0.57708		1																	
pb		-0.0881			0.10567		-0.2343		0.56248		-0.2429		0.63479		1															
pf					0.77481		-0.2105		0.61207		-0.2817		0.67133		0.41258		1													
sc		-0.3885			0.64025		0.45002		-0.2554		0.03249		-0.2023		-0.305		1													
sr		-0.2938			0.02115		0.29652		0.68608		-0.2704		-0.2704				1													
t			0.02115		0.00657		-0.0922		0.29652		-0.2094		0.59195		-0.1918		0.68876		1											
y		1	-0.2292								0.45272		0.83181		-0.1784				1											
zn		-1	-0.3349						-0.393								0.03295			1										
arsenio											0.86603											1								
au											0.86603											1								
ba		1	0.4852						-0.4429		0.17716		-0.167		-0.1958		0.41172					1								
be									-0.3117		-0.1605		-0.3205		-0.1638		-0.1452						1							
cu		-1	-0.1874						-0.1851		0.60393		-0.018		-0.1096		0.19325							1						
sn			0.38456						0.31425		-0.0462		0.49804		0.35733		-0.04							1						
w											0.48244		-0.0436		-0.2287		0.03546								1					
v		-1	-0.0745						-0.4917		0.84785		-0.2287				-0.307								1					