UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ALEXA CARMO TESTI MOREIRA

PRODUTIVIDADE E ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO HOMOCLINAL CURRAL

BELO HORIZONTE
2026

ALEXA CARMO TESTI MOREIRA

PRODUTIVIDADE E ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO DA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO HOMOCLINAL CURRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Geólogo(a).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sérgio de Paula
Coorientador: Prof. Dr. Wallace Maciel Pacheco

BELO HORIZONTE,
2026

Dedico essa monografia a todos que me ajudaram a construir meu caminhar geológico até agora.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para sua concretização.

Agradeço ao Prof. Rodrigo Sérgio de Paula, meu orientador, pela orientação técnica e científica, pela paciência e pela sensibilidade ao longo deste processo. Sua dedicação e compreensão foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Wallace Maciel Pacheco, meu coorientador, agradeço pela disponibilização dos dados geofísicos, pelas contribuições técnicas e pela constante disposição em esclarecer dúvidas e revisar este trabalho.

Sou grata aos membros e ex-membros do Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID), em especial a Matheus Castro de Fiusa, Rafael Quintão, Letícia Pereira, Ana Maria Nascimento Gonçalves, Vitória Gomes Macedo, Thomaz Augusto Vidal, Rafael Magno, Sheila Barbosa e Andreia Rezende, pelo apoio em todas as etapas do projeto. Agradecimento especial ao Thomaz Vidal, pela parceria e orientação nas discussões da área de pesquisa.

Aos geólogos Isabella Andrade, Celina Magalhães, Alice Zupo, Ednilson Rosa, Danilo Almeida, Bruno Pandolf, Georgete Dutra, registro minha gratidão pela colaboração na obtenção de dados e pelo compartilhamento de conhecimentos que contribuíram para este estudo no Quadrilátero Ferrífero.

Agradeço também aos geógrafos Luiz Passos e Gabriel Borges Assunção pelo suporte na elaboração dos mapas, e à engenheira ambiental Yara Ferreira, minha mentora no programa *Women in GIS*, pelo auxílio e orientações em geoprocessamento.

Aos amigos Anna Luiza Mattos, Ana Luiza Rezende, Alex Araújo, Yvens Barbosa, Lays Côrrea, Ana Clara Pires, Aline Barbosa e Jéssica Maia, agradeço pela amizade, incentivo e carinho ao longo desta jornada.

Por fim, à minha família, principalmente a meu irmão, Mark Testi Moreira, pelo amor, paciência e apoio incondicional, minha eterna gratidão.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

RESUMO

O Homoclinal Curral, localizado no Quadrilátero Ferrífero, constitui uma importante unidade geológica e hidrogeológica regional, caracterizada pela presença de aquíferos associados às formações ferríferas do Supergrupo Minas, especialmente o Aquífero Cauê, amplamente explotado para usos minerários e abastecimento hídrico. Este trabalho teve como objetivo realizar o zoneamento hidrogeológico do Homoclinal Curral, fundamentado na produtividade das unidades aquíferas e na integração entre condicionantes geológicos, estruturais e hidrodinâmicos. Para isso a metologia aplicada utilizou utilizados dados hidrogeológicos de poços tubulares, informações de capacidade específica, análise de falhas, fotolineamentos e lineamentos aerogeofísicos, além da elaboração de mapas potenciométricos e de produtividade hídrica. A análise de lineamentos integrada de 2.130 estruturas sugere a provável presença de quatro possíveis áreas de até 3 km dentro do Homoclinal Curral que possam ser descontinuidades regionais ainda não mapeadas. O zoneamento hidrogeológico permitiu identificar que o Homoclinal possui suas faixas de produtividade aquífera duplicadas ao longo de toda topografia, com exceção da faixa de altíssimo nível. Os resultados indicam que o Aquífero Cauê e Aquífero Gandarela apresentam maior produtividade relativa, enquanto unidades como Aquitardo Batatal, Aquitardo Supergrupo Rio das Velhas e Aquitardo Piracicaba apresentam comportamento predominantemente nas faixas de baixa ou baixíssima produtividade, enquanto o Aquífero Moeda ficou na faixa intermediária. O fluxo subterrâneo regional mostra-se condicionado principalmente pela topografia ao invés da geologia estrutural, mesmo sendo uma área com alta influência estrutural, convergindo para as bacias dos rios das Velhas e Paraopeba. O zoneamento hidrogeológico proposto segmentou em cinco regiões (Margem Esquerda do Rio Paraopeba, Margem Direita do Rio das Velhas, Margem Direita do Rio Paraopeba, Compartimento Central, Margem Esquerda do Rio das Velhas).

Palavras-Chave: Homoclinal Curral, Hidrogeologia, Quadrilátero Ferrífero, Aquífero Cauê, Zoneamento.

ABSTRACT

The Homoclinal Curral, located in the Quadrilátero Ferrífero (Iron Quadrangle), represents an important regional geological and hydrogeological unit characterized by aquifers associated with the iron formations of the Minas Supergroup, particularly the Cauê Aquifer, which is extensively exploited for mining activities and water supply. This study aimed to develop a hydrogeological zoning of the Homoclinal Curral based on aquifer productivity and the integration of geological, structural, and hydrogeodynamic controls. The methodology employed hydrogeological data from tubular wells, specific capacity information, structural analyses of faults, photolineaments, and aerogeophysical lineaments, as well as the construction of potentiometric and groundwater productivity maps. An integrated analysis of 2,130 structural lineaments suggests the probable occurrence of four previously unmapped regional discontinuities, each extending up to approximately 3 km within the Homoclinal Curral. The hydrogeological zoning revealed that aquifer productivity zones are duplicated along nearly the entire topographic profile of the homoclinal structure, except for the very high productivity class. The results indicate that the Cauê and Gandarela aquifers exhibit the highest relative groundwater productivity, whereas the Batatal Aquitard, the Rio das Velhas Supergroup Aquitard, and the Piracicaba Aquitard are predominantly characterized by low to very low productivity. The Moeda Aquifer presents intermediate productivity. Regional groundwater flow is primarily controlled by topography rather than structural geology, despite the strong structural influence throughout the study area, and converges toward the Rio das Velhas and Paraopeba river basins. Based on these findings, the proposed hydrogeological zoning subdivides the Homoclinal Curral into five hydrogeological compartments: the Left Margin of the Paraopeba River, the Right Margin of the Rio das Velhas, the Right Margin of the Paraopeba River, the Central Compartment, and the Left Margin of the Rio das Velhas.

Keywords: Homoclinal Curral, Hydrogeology, Quadrilátero Ferrífero, Cauê Aquifer, Compartmentalization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Objetivos 15
1.1.1 Objetivos Específicos 15
2 CONTEXTO DA ÁREA 16
2.1 Climatologia 18
2.2 Hidrografia 18
2.3 Geomorfologia 19
2.4 Geologia Regional 20
3 HIDROGEOLOGIA 27
3.1 Definições 27
3.2 Trabalhos Anteriores Hidrogeológicos no Quadrilátero Ferrífero 27
3.3 Unidades Hidrogeológicas 34
3.4 Parâmetros Hidrodinâmicos 36
4 MATERIAIS MÉTODOS 39
4.2 Base de Dados 39
4.2 Análise de Falha, Lineamentos e Aerogeofísica 41
4.3 Caracterização Hidrogeológica 46
4.4 Avaliação de Produtividade Aquífera 46
4.5 Avaliação de Fluxo 49
4.6 Zoneamento Hidrogeológico de Produtividade 49
5 RESULTADOS 50
5.1 Análise de Falhas, Fotolineamentos e Aerogeofísica 50
5.2 Caracterização Hidrogeológica 71
5.3 Zoneamento Hidrogeológico de Produtividade Hídrica 85
6 CONCLUSÕES 92
7 REFERÊNCIAS 93
ANEXO A 99

LISTA DE FIGURAS

‘

Figura 1- Mapa de localização da área com delimitação da área em vermelho com os principais rios regionais, e mapas auxiliares de Minas Gerais e Brasil. Datum: Sirgas 2000 23 S 17
Figura 2- Mapa geológico simplificado da porção oeste do Homoclinal curral com o traçado da rodovia federal Br-381..... 22
Figura 3 - Coluna Estratigráfica das unidades pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero..... 23
Figura 4 – Mapa Geológico da Área de Estudo (destaque em preto)..... 26
Figura 5 – Mapa de Localização dos Poços analisados ao longo de toda poligonal da área de estudo filtrados de poços outorgados da SEMAD/IGAM ..... **Erro! Indicador não definido.**
Figura 6 - Fluxograma Processual da investigação científica presente neste Trabalho de conclusão de Curso 41
Figura 7 - Histogramas de Frequência das Falhas Presentes na Homoclinal Curral nas Direções NNE-SSW; NW-SE e E-W a ENE conforme modelo geotectônico de Endo (2005; 2019b). A - Histograma de Frequência absoluta de todos as falhas pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas; B- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção E-W (cor vermelha)..... 52
Figura 8- Mapa da Área de Estudo indicando as falhas analisadas: Vermelho referente a direção E-W a ENE; Verde a direção NNE-SSW; Rosa a direção NW-SE; Vermelho a direção E-W 54
Figura 9 - Histogramas de Frequência dos Fotolineamentos Presentes do Homoclinal Curral nas Direções NNE-SSW; NW-SE e E-W a ENE conforme modelo geotectônico de Endo (2005; 2019b). A - Histograma de Frequência absoluta de todos os fotolineamentos pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas; B- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NW-SE (cor rosa). 56
Figura 10: Disposição espacial dos fotolineamentos sobre a área de estudos em traços (rosa, vermelho e verde) sobrepostos a geologia e hipsometria. 58
Figura 11 – Orientação dos fotolineamentos e faixas de frequência por direção NW-SE ; NNE-SSW; E- W 59
Figura 12 – Mapas aerogeofísicos referentes a área de estudo: A – DV-DZ – A; B- DV-DZ-B; C- DV-DZ-C; D- Contagem Total; Gradiente Total A 61

Figura 13 – Histograma dos Lineamentos Geofísicos Traçados – A – Histograma de Frequência absoluta de todos os lineamentos aerogeofísicos pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas. B – Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE 63
Figura 14- Mapa do Lineamentos Aerogeofísicos separados em 3 direções ao longo do Homoclinal Curral: A – Lineamentos Aerogeofísicos NNE-SSW ; B- Lineamentos Aerogeofísicos E-W a ENE; C- Lineamentos Aerogeofísicos NW-SE 65
Figura 15 – Histograma dos Lineamentos Geofísicos Traçados – A – Histograma de Frequência absoluta de todos os lineamentos (falhas, fotolineamentos, lineamentos aerogeofísicos) pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas. B – Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE 67
Figura 16 – Proposição de divisão da presença de descontinuidades estruturas no Homoclinal Curral: Vermelho é a sugestão de compartimentação E-W a ENE ; Verde-claro é a sugestão de estruturas NNE-SSW; Amarelo é a sugestão de estruturas NW-SE 70
Figura 17 – Mapa de unidades aquíferas presentes no Homoclinal Curral (Adaptado Vidal 2025) com a presença dos principais rios regionais: R. Paraopeba (esquerda); R. das Velhas (direita) 72
Figura 18 : Histograma dos valores de capacidade específica no Homoclinal Curral 75
Figura 19 – Histograma de Frequência de Capacidade Específica por unidade hidrogeológica do Homoclinal Curral 76
Figura 20 – Mapa de Capacidade Específica e Produtividade Hídrica dos Poços ao longo do Homoclinal Curral nas faixas de 0,4 a 4,0 m³/h/h 78
Figura 21- Mapa de Indicativo de Individualização dos Poços de Capacidade Especifica por produtividade hídricao ao longo do Homoclinal Curral. Faixas de Valores – Bola verde – 0 a 0,4 ; X vermelho – 0,4 a 1,0 m³/h*m ; Losango roxo: 1,0 a 2,0 m³/h*m; Triângulo- 2,0 a 4,0 m³/h*m; Cruz preta - > 4,0 m³/h*m 79
Figura 22- Mapa de isolinhas de capacidade específica de acordo com Struckmeir and Margat / Diniz et at. (2012) 81
Figura 23- Mapa potenciométrico do Homoclinal Curral com linhas equipotenciais em branco com linhas de fluxo em azul claro indicando a direção de fluxo regional. 83

Figura 24 – Mapa de Produtividade Hídrica da Serra do Curral classificado segundo classificação de Struckmeir and Margat (1995)/ Diniz et al. (2012)..... 86
Figura 25 - Foco da presença de poços sobre estruturas propostas na direção NNE-SSW..... 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros Hidrodinâmicos das unidades hidroestratigráficas do Quadrilátero 37
Tabela 2 – Produtividade Hidraúlica de Aquíferos segundo Struckmeir and Margat (1996) adaptado 48
Tabela 3 - Tabela de frequência em comprimento das falhas da Homoclinal Curral por direção em quilômetros 51
Tabela 4 - Tabela de Frequência dos Fotolineamentos por Comprimento presentes na Homoclinal Curral segundo Sturges 55
Tabela 5 – Tabela de Análise de Frequência por Comprimento e Direção dos Lineamentos Aerogeofísicos da Homoclinal Curral por Sturges 62
Tabela 6 - Caracterização e Área Total de cada unidade hidrogeológica dentro do Homoclinal Curral 71
Tabela 7: Estatística básica sobre as características de poços tubulares presentes no Homoclinal Curral 74
Tabela 8 – Tabela de Contagem de poços por produtividade hídrica por unidade aquífera segundo Struckmeir and Margot (1995) / Diniz et al. 2012 77
Tabela 9 - Zoneamento por produtividade aquífera e segmentado pelos rios Paraopeba e Rio das Velhas no Homoclinal Curral 91
Tabela 10: Tabela Base de Dados com dados dos poços trabalhados nesse documento extraídos do portal SIAM- SEMAD/IGAM – MG 99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aqui estão presentes a tradução de abreviaturas presentes nesse documento para maior fluência e coesão textual:

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

ANM - Agência Nacional de Mineração

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CPRM/SBG - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (implícito em fontes)

IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do SISEMA

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão de Águas

LEHID - Laboratório de Estudos Hidrogeológicos

MG - Minas Gerais

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

SIAM - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas de Minas Gerais (implícito na fonte)

SRC - Sistema de Referência de Coordenadas (implícito em informação técnica)

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

USGS - United States Geological Survey

1 INTRODUÇÃO

A área de estudo é um objeto de estudos e berço clássico dentro da construção do conhecimento epistemológico científico geológico nacional, do qual vários autores já se debulharam para investigar e compreender tecnicamente. O Quadrilátero Ferrífero (QF), é uma das províncias metalogenéticas mais expressivas dentro mercado minerário brasileiro e desde o século XVIII até os dias de hoje é importante economicamente, seja pela extração de ouro ou de ferro (Baltazar & LOBATO, 2020) e o Homoclinal Curral é uma das áreas do Quadrilátero que detém a presença de muitas mineradoras atuantes regionalmente.

O Quadrilátero Ferrífero destaca-se nacionalmente não apenas por seus expressivos depósitos de ferro da Formação Cauê, mas também por sua relevância no contexto hidrológico regional. A região atua como um importante divisor de águas, orientando a drenagem para as Bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, a oeste da área de estudo. Do ponto de vista hidrogeológico, suas estruturas rochosas abrigam sistemas aquíferos fundamentais para o armazenamento e fluxo de águas subterrâneas (Beato, D.A.C; Monsores, A.L. M; Bertachini, A.C., 2006)

Nesse contexto, o Aquífero Cauê consolida-se como a principal unidade hidrogeológica do QF, assumindo especial importância na região da Serra do Curral. Reconhecido como um dos sistemas aquíferos mais produtivos da região, ele se caracteriza por elevada capacidade de armazenamento e condutividade hidráulica (ANDRADE, 2023), propriedades estas associadas à sua composição litológica e ao arcabouço estrutural favorável.

A expressiva mineralização da Formação Cauê e a relevância hidrogeológica do aquífero homônimo refletem-se na intensa ocupação por empreendimentos de mineração ao longo da Serra do Curral, como atestam imagens de satélite (GOOGLE EARTH, GOOGLE ENGINE, BING SATELLITE). Tais atividades concentram-se especialmente nos setores onde a unidade Caué aflora, nas porções mais elevadas da área.

A compreensão das variações hidrogeológicas em uma mesma unidade geológica frequentemente demanda a identificação de compartimentos distintos, de modo a analisar o comportamento hídrico setorizado. Essa abordagem é crucial para elucidar os fatores condicionantes da dinâmica de águas subterrâneas em diferentes contextos estruturais e litológicos, bem como para avaliar o impacto dessas delimitações no funcionamento integrado do sistema aquífero.

Nesse contexto, o Homoclinal Curral representa um domínio geológico de relevância ímpar para investigações dessa natureza. Este trabalho propõe-se, portanto, a uma compartimentação hidrogeológica detalhada desta área**,** mediante a integração sistemática de dados estruturais, hidrogeológicos e geofísicos. A investigação visa a compreensão da dinâmica hídrica subterrânea regional, com base na avaliação de estruturas rúpteis, na classificação de unidades hidrogeológicas e na elaboração de mapas temáticos. Dessa forma, o estudo busca avançar o conhecimento sobre as interações entre a arquitetura geológica e os sistemas hídricos no Quadrilátero Ferrífero, fornecendo uma base técnica robusta para futuras ações de gestão sustentável dos recursos subterrâneos.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar o zoneamento hidrogeológico do Homoclinal do Curral, fundamentando-se nas distintas produtividades das unidades aquíferas associadas às litologias presentes na área de estudo.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta monografia resumidamente são:

a) **Caracterizar e classificar as unidades hidrogeológicas** da área de estudo, integrando dados de capacidade específica de poços
b) **Avaliar a produtividade dos aquíferos** por meio do cálculo de parâmetros hidráulicos e da aplicação de análise estatística sobre os dados de vazão e capacidade específica;
c) **Elaborar mapas potenciométricos** para avaliar a superfície potenciométrica, identificando as direções de fluxo preferenciais e as zonas de recarga e descarga;
d) **Correlacionar o comportamento hidrodinâmico** com os lineamentos e estruturas geológicas identificadas via geofísica (caso essa seja a sua intenção final).

2 CONTEXTO DA ÁREA

A área de estudo abrange toda a extensão do Homoclinal Curral presente no Quadrilátero Ferrífero (QF). (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O Quadrilátero Ferrífero trata-se de uma província mineral que detém formato quadrangular de 7000 km² , disposto na porção sudeste dos estratos neoproterozóicos do Cráton do São Francisco. Esta região foi formada por diversos ciclos geotectônicos que foram responsáveis pelas quebras e reagregações de uma enorme massa continental ao longo do tempo geológico. (Baltazar & Lobato, 2020).

O Homoclinal Curral compõe-se circundada perimetralmente pelos seguintes distritos municipais: Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Ibirité, Mário Campos, Caeté, Raposos, Brumadinho e Igarapé, Itatiuçu. Está disposto geograficamente na porção central do estado de Minas Gerais. É um valioso geossítio de interesse nacional em aspectos científicos, educativos, estéticos e cultural. (Azevedo, *et al*., 2012) A área de cobertura é de 528,016 km² e está na porção sul do Cráton São Francisco e formado por uma litoestratigrafia de unidades arqueanas de *greenstone belts* e estratos metassedimentares paleoproterozóicos. (Almeida, 1997).

A atividade minerária do Quadrilátero desempenha historicamente uma importância socioeconômica crucial dentro da construção do Brasil no século XVIII até 1970 com a extração de ouro e atualmente com a forte explotação ferrífera para os mercados nacionais e internacionais, por que detêm 39,1% da explotação de recursos minerais dentro do território nacional, segundo o Anuário Minerário Brasileiro (ANM, 2024).

O Homoclinal Curral possui ao longo de sua extensão a presença de plantas minerárias de diversas empresas que extraem commodities como ferro, bauxita, ouro, areia e outras substâncias minerais como água mineral.

Devido a intensa atividade minerária regente na área, o aquífero Cauê, um aquífero de fama nacional em relevância hidrogeológica, possui muito da sua capacidade de armazenamento hídrico sendo explotado para uso industrial minerário para poços de bombeamento para rebaixamento do nível d´água em complexos minerários (Mourão, 2007), o que precisa de diversos estudos ao longo dos anos em grau de atualização fidedigna sobre a comportamento hidrogeológico regional.

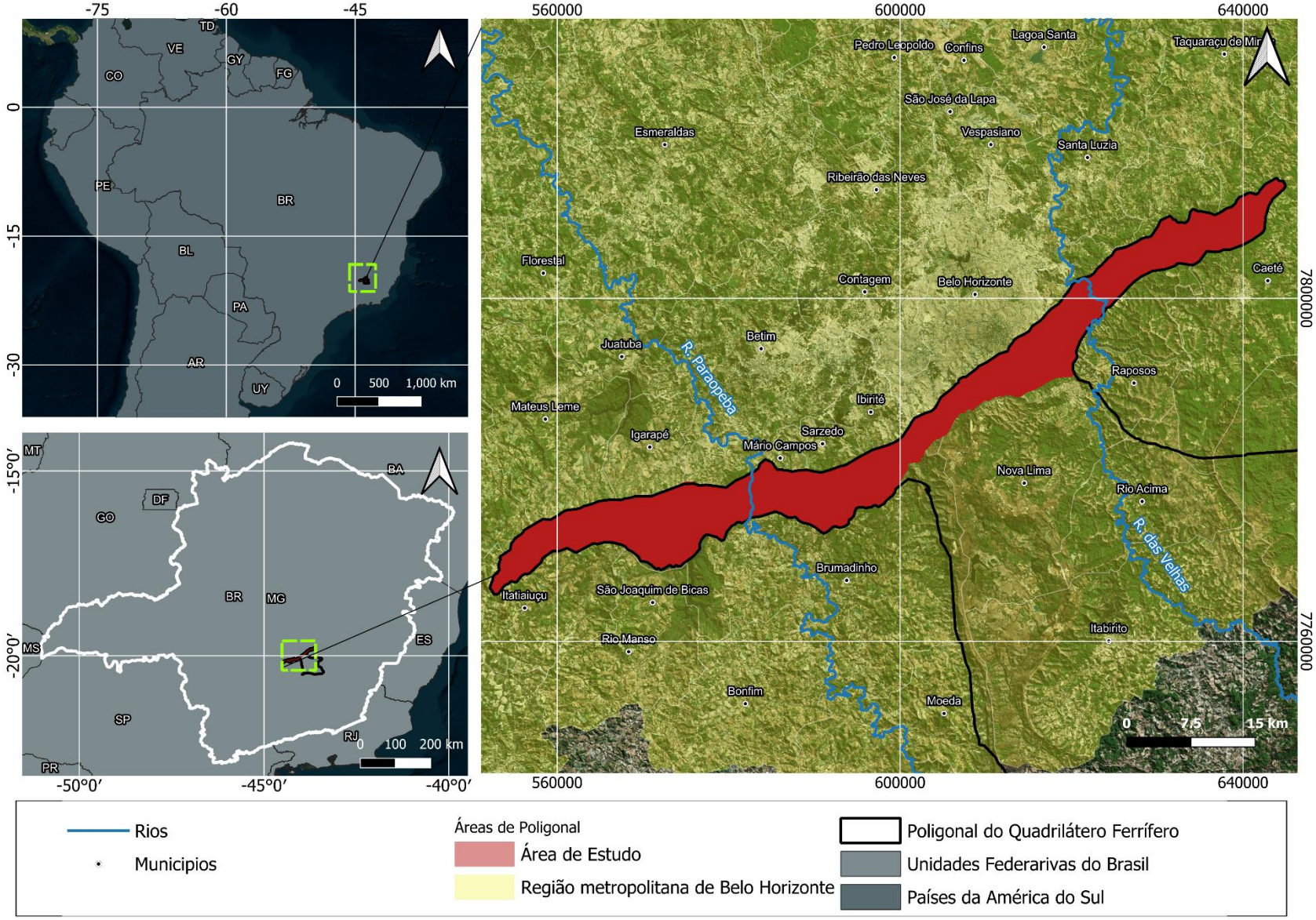


Figura 1- Mapa de localização da área com delimitação da área em vermelho com os principais rios regionais, e mapas auxiliares de Minas Gerais e Brasil. Datum: Sirgas 2000 23 S

2.1 Climatologia

Segundo a classificação climática de Köppen (1928), os tipos predominantes no Quadrilátero Ferrífero são: Clima subtropical úmido (**Cwa**) e Clima subtropical de altitude (**Cwb**) (EMBRAPA, 2013).

Cruz et al. (2022) analisou dados pluviométricos ao longo de 131 anos do QF através de métodos de Dupla Massa e Polígonos de Thiessen em 13 ciclos de 9 anos, do qual o mais recente teve precipitação média de 1045,5 mm quanto 1102,4mm de precipitação máxima. Dentro desses 13 ciclos observados a média de desvio padrão foi de 14,37mm e a regressão linear de 14,6mm e configuram-se em ciclos climático que ora são regimentados por secas severas e ora por grandes cheias. De acordo com a autora, a expressiva heterogeneidade altitudinal do Quadrilátero Ferrífero favorece a ocorrência desses microclimas, ocasionando variações consideráveis em relação à média regional. Além disso, Ribeiro e Mól (1985), conforme citado por Cruz et al. (2022), identificaram temperatura média anual de 21,5 °C e constataram que cerca de 89% da precipitação anual ocorre durante o período mais quente do ano, entre outubro e março, com picos pluviométricos nos meses de dezembro e janeiro.

2.2 Hidrografia

A área de estudo é composta regionalmente pelas bacias estaduais do Rio Paraopeba e Rio das Velhas servindo com divisores de água dentro da Serra do Curral. A área de extensão de cada bacia estadual é 27.869,87 km² e 12.054,61 km², respectivamente.

O rio das Velhas nasce na Área de Proteção Ambiental da Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto (MG), sendo o maior afluente em extensão do rio São Francisco, com cerca de 761 km de comprimento (CBHSF, 2023).

Já o rio Paraopeba tem sua nascente no município de Cristiano Otoni e conta com como principais afluentes os rios Águas Claras, Macaúbas, Betim, Camapuã e Manso. Seu curso se estende por aproximadamente 510 km, até desaguar no reservatório de Três Marias, em Felixlândia (MG) (CIBAPAR, 2009).

Ambas essas bacias estão presentes na Bacia do Rio São Francisco, com 638575,90 km², corresponde a 8% do território nacional (CBHSF, 2023), nascendo na Serra da Canastra e desaguando no Oceano Atlântico entre os estados de Alagoas e Sergipe.

O formato das drenagens presentes na área é alto, com padrão dendrítico, influenciada pelas descontinuidades e estruturas geológicas (forte controle litoestrutural) e relevo regional. (Medina, Dantas, Saadi, 2005). Dentro do Homoclinal Curral, esses rios possuem o papel de serem fronteiras hidráulicas e que estabelecem um grande controle hidrogeológico regional, principalmente nas porções rasas de aquíferos do tipo fraturadas como Grupo Itabira e Caraça. Próximos as áreas dos leitos, eles funcionam como drenos naturais, recebendo a descarga de água subterrânea ou como zonas de recarga quando o nível freático está abaixo do nível do rio (Vidal, 2025). O fluxo regional preferencial é desencadeado pelas nos compartimentos superiores dos aquíferos.

2.3 Geomorfologia

O Homoclinal do Curral configura-se como uma unidade morfoestrutural expressiva, caracterizada por relevo do tipo *hogback*, associado a camadas invertidas do Supergrupo Minas. As porções mais elevadas são sustentadas por quartzitos e itabiritos, sobretudo da Formação Cauê, formando cristas com vertentes íngremes, paredões subverticais e desníveis entre 150 e 300 metros. Nas porções intermediárias, ocorrem patamares litoestruturais desenvolvidos sobre filitos da Formação Batatal e dolomitos da Formação Gandarela, modelados por erosão diferencial e preservados localmente pelos quartzitos da Formação Cercadinho, com desníveis médios entre 130 e 200 metros. Nas áreas mais baixas, em contato com a Depressão Periférica de Belo Horizonte, predominam esporões e colinas suavizadas, com desníveis variando entre 30 e 100 metros e declividades progressivamente menores em direção a Ibirité e Sarzedo (Medina, Dantas, Saadi, 2005).

A evolução geomorfológica do Homoclinal Curral é fortemente condicionada por estruturas tectônicas, especialmente falhas de direção N–S, que controlam feições como *water gaps* e *wind gaps*, onde rios como o Paraopeba e o Rio das Velhas seccionam as rochas do Supergrupo Minas. A dinâmica fluvial resultou no desenvolvimento de três níveis de terraços e planícies de inundação. O terraço superior indica ausência de barramento significativo durante o Pleistoceno, enquanto os terraços intermediário e inferior apresentam evidências de falhamento pós-deposicional, retenção sedimentar, variações granulométricas e possíveis processos de captura de drenagem, sugerindo interferência estrutural no controle do escoamento fluvial regional. (Medina, Dantas, Saadi, 2005; Endo *et al*. 2020).

2.4 Geologia Regional

A geologia do Quadrilátero Ferrífero sistematicamente começou a ser instaurada a partir da década de 1940, a 60 devido a projeto de cooperação entre o serviço geológico estadunidense – *United States Geological Survey* (USGS) e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), hoje designada como Agência Nacional de Mineração. Essa parceria rendeu diversos frutos e instaurou o processo epistemológico regional que, provêm sendo consolidade, redesignada e consolidada até hoje.

O arcabouço tectônico que virá ser implementado neste trabalho é o do Modelo de Endo et al. (2005; 2019b), que exemplifica que a área de estudo sobre 4 processos de deformação: D1, D2 e D3:

- D1- Transamazônico – NNE-SSW (20º-30°) – 2.1 a 1.8 G.a de vergência variável, representada em estruturas típicas do QF como dobras e falhas normais.
- D2- Brasiliano 1 – NW-SE (120° -140°) – 630 a 600 M.a, com vergência de direção leste, representada por cavalgamentos e o Sinclinal Moeda
- D3 – Brasiliano 2 - E- W a ENE-WSW- (70° a 90°) - 600 a 540 M.a, com vergência de direção oeste, vista em estruturas como a falha Curral, dobras abertas, falhas reversas, lineamentos

Possui-se duas teorias de evolução geotectônica regional . A teoria de domos e quilhas segmentada por Alkimim & Marshak em 1998, explica que a crosta continental regionalmente (embasamento arqueano e rochas supracrustais) devido aos esforços transamazônicos aqueceu, fazendo com que o embasamento arqueano ascendesse, criando domos e as rochas supracrustais afundasse entre os domos, formando estruturas chamadas de quilhas . Os domos seriam representados pelos complexos metamórficos e as quilhas pelo Supergrupo Rio das Velhas e Minas. Já Endo *et al*. (2005), através de conhecimentos das escolas francesas, acredita que a essência reológica vinha da superposição de duas *nappes* deformadas em eventos posteriores ao seu alojamento.

O arcabouço estrutural regional escolhido por essa monografia é regimentado pelas Nappes tectônicas de Curral e Sinclinal Moeda. *(*Endo *et. al,* 2005, Endo *et. al* 2019b), invés da teoria de domos e quilhas de Alkimim & Marshak, 1998, devido que essa teoria é mais aplicável e explicativa sobre sistemas complexos estruturais como o Quadrilátero,

principalmente os deslocamentos horizontais extensivos em grande escala que ocorrem neste território.

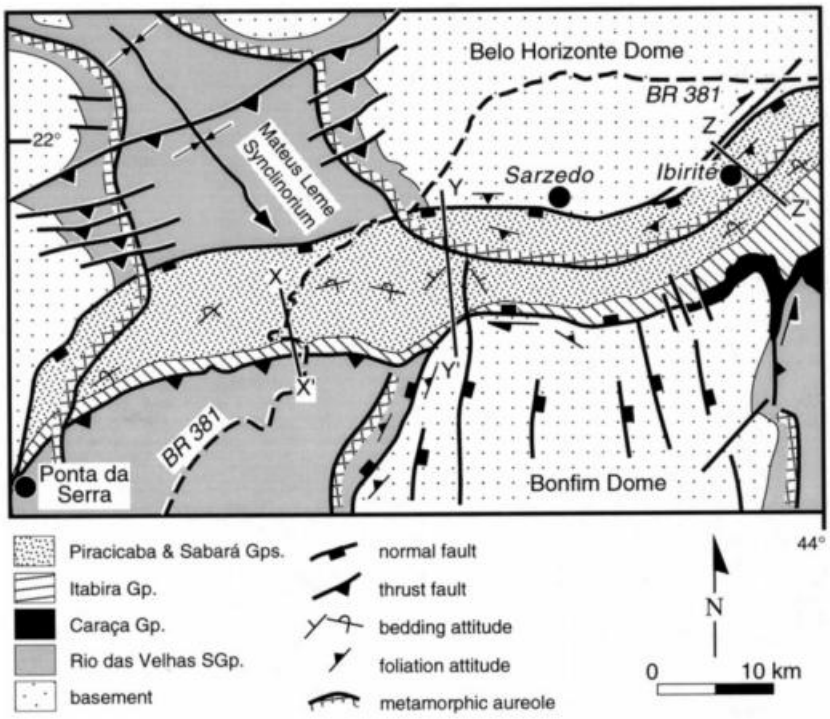
O Homoclinal Curral configura-se como um homoclinal, orientado aproximadamente N50°E, apresentando estratigrafia invertida, na qual unidades dos supergrupos Sabará e Nova Lima sobrepõem-se ao embasamento. Essa estrutura integra o sistema de nappes do Quadrilátero Ferrífero, sendo interpretada como parte da Nappe Curral, com vergência geral para norte-nordeste.

O núcleo estrutural é constituído pelo Supergrupo Rio das Velhas, enquanto os flancos compreendem: (i) uma sequência imbricada dos supergrupos Minas e Rio das Velhas, caracterizando o flanco inverso; e (ii) um flanco normal redobrado, associado ao Sinclinal Moeda, de direção aproximada norte-sul. A xistosidade S1, vinculada ao evento deformacional D1, apresenta orientação oblíqua ao acamamento. Estruturas anteriores à S1 incluem os sinclinais da Mutuca e dos Fechos, desenvolvidos em formações ferríferas, além de uma discordância angular (10°–70°) entre os supergrupos Minas e Rio das Velhas.

Estruturalmente, a porção oeste do Homoclinal Curral pode ser dividida em dois domínios (Door 1969, Romano 1989, Romano *et al.*, 1991) :

1) **Porção oeste (até Sarzedo)**: marcada por dobras apertadas com vergência para noroeste e falhas de empurrão com mergulho para sudeste, resultando na duplicação estratigráfica e na presença de zonas de cisalhamento próximas ao contato com o embasamento.
2) **Porção leste (até Sarzedo)**: dominada por zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais de idade brasiliana, que retrabalham estruturas mais antigas, como falhas normais norte-sul associadas a diques máficos.

Figura 2- Mapa geológico simplificado da porção oeste do Homoclinal curral com o traçado da rodovia federal Br-381

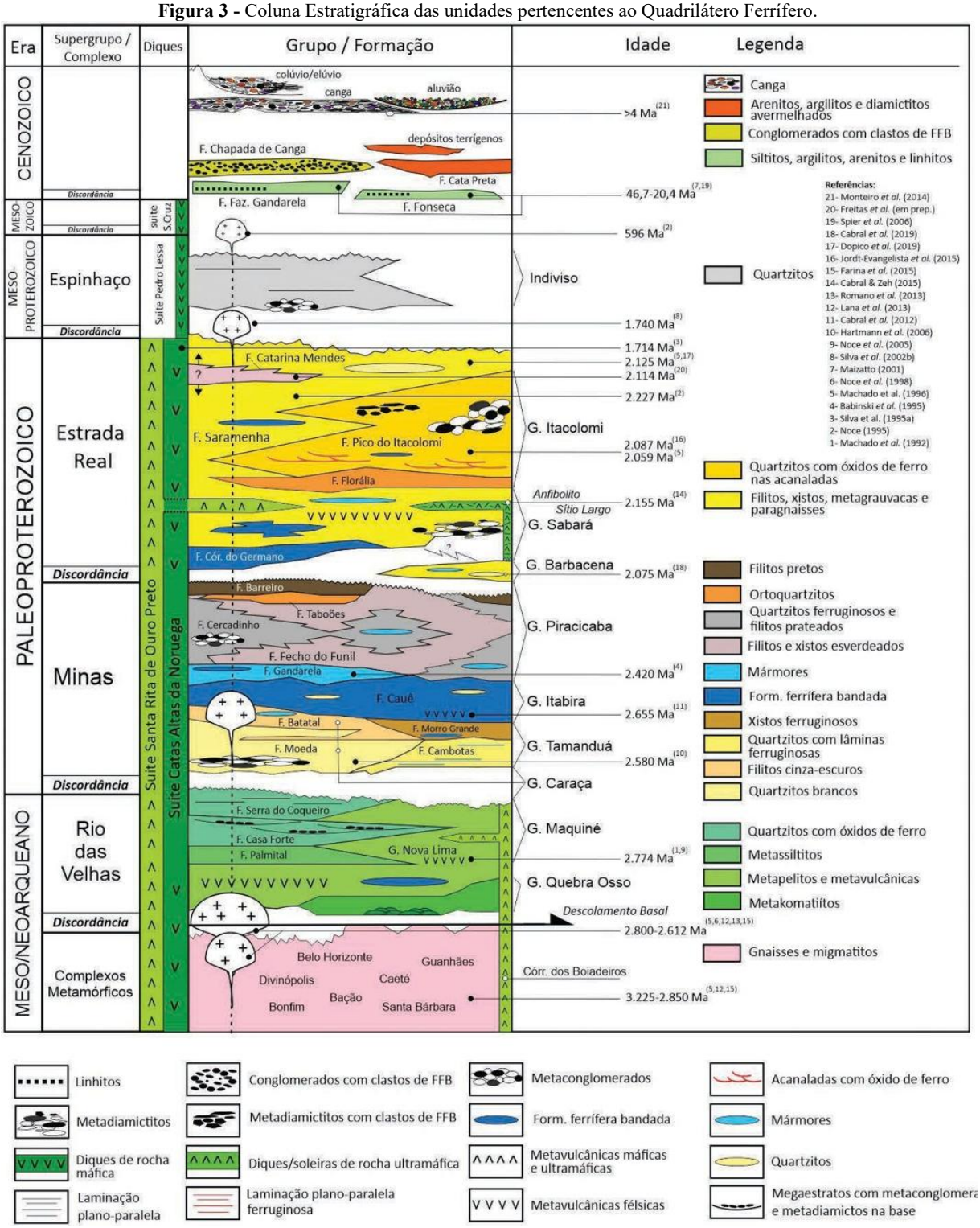


Fonte: Alkmim & Marshak , 1998 modificado de Door 1969, Romano 1989

Na zona de charneira da Nappe Curral ocorrem dobras de segunda ordem com geometria em "M". Destaca-se ainda o Sinclinal Mangabeiras, relacionado ao descolamento basal da nappe, constituído pelo Grupo Sabará e desenvolvido fora de fase em relação ao evento principal D1, com vergência para norte-noroeste.

Quanto ao modelo estratigráfico escolhido, está sendo considerado a mais recente do Endo *et al. (2019) b* que sintetiza a disposição e correlação entre as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero, conforme ilustrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

Figura 3 - Coluna Estratigráfica das unidades pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Endo *et. al* (2019b)

A coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (QFE) inicia-se com os Complexos Metamórficos, compostos predominantemente por ortognaisses bandados, migmatitos, anfibolitos e granitoides leucocráticos intrusivos, além de diques máficos e veios de diversas idades (Guimarães et al. 1967, Herz 1970, Cordani et al. 1980, Gomes 1986, Carneiro 1992, Schorscher 1992, Noce 1995, Endo 1997, Lana et al. 2013, Farina et al. 2016).

Essas rochas apresentam bandamento gnáissico com alternância de níveis leucocráticos a melanocráticos, frequentemente dobrados e associados a zonas de charneira de grandes estruturas antiformais. Representam eventos tectono-magmáticos arqueanos entre 3,22 e 2,68 Ga (Lana et al. 2013, Romano et al. 2013, Farina et al. 2015).

Sobre essa base ocorre o Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, típico de greenstone belt. É subdividido, segundo critérios tectonossedimentares (Baltazar & Pedreira (1998); Lobato et al. 1998;Baltazar & Zucchetti (2007)), nos grupos Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné. O Grupo Quebra Osso (basal) é constituído por metavulcânicas máficas a ultramáficas e félsicas. O Grupo Nova Lima reúne intercalações de rochas metassedimentares e metavulcânicas submetidas a deformação e hidrotermalismo, formando xistos, filitos, formações ferríferas, dolomitos e metagrauvacas. O Grupo Maquiné compreende filitos, quartzitos, xistos, metaconglomerados e metadiamictitos, organizados nas Formações Palmital e Casa Forte.

Em contato discordante ocorre o Supergrupo Minas, de idade paleoproterozoica (2,58–2,42 Ga), representando uma sucessão continental a marinha associada à evolução de bacia de margem passiva (Alkmim & Martins Neto 2012). Da base para o topo subdivide-se nos Grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. O Grupo Tamanduá registra a transição rifte–margem passiva, com quartzitos, xistos e formações ferríferas dolomíticas (Dorr 1969; Endo *et al*. 2019b) O Grupo Caraça compreende as Formações Moeda (quartzitos e metaconglomerados) (Dorr 1969) e Batatal (filitos e formações ferríferas) (Maxwell 1958, Dorr 1969). O Grupo Itabira inclui as Formações Cauê (itabiritos e mármores) (Dorr 1969; (Rosière & Chemale Jr. 2000, Rosière et al. 2008) e Gandarela (mármores dolomíticos e filitos) (Dorr *et al.* 1957; Dorr 1969; Spier et al. 2007). O Grupo Piracicaba (Dorr et al. 1957), no topo, é composto pelas Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro, formadas por quartzitos ferruginosos, filitos, dolomitos e metassiltitos.

Sobrejacente encontra-se o Supergrupo Estrada Real, constituído pelos grupos Sabará, Itacolomi e Barbacena, representando sucessão sin-orogênica do tipo flysch e molassa (Teixeira da Costa 1961) . O Grupo Sabará inclui as formações Córrego do Germano (basal, com formações ferríferas e quartzitos ferruginosos) (Gair 1958) , Saramenha (clorita-xistos,

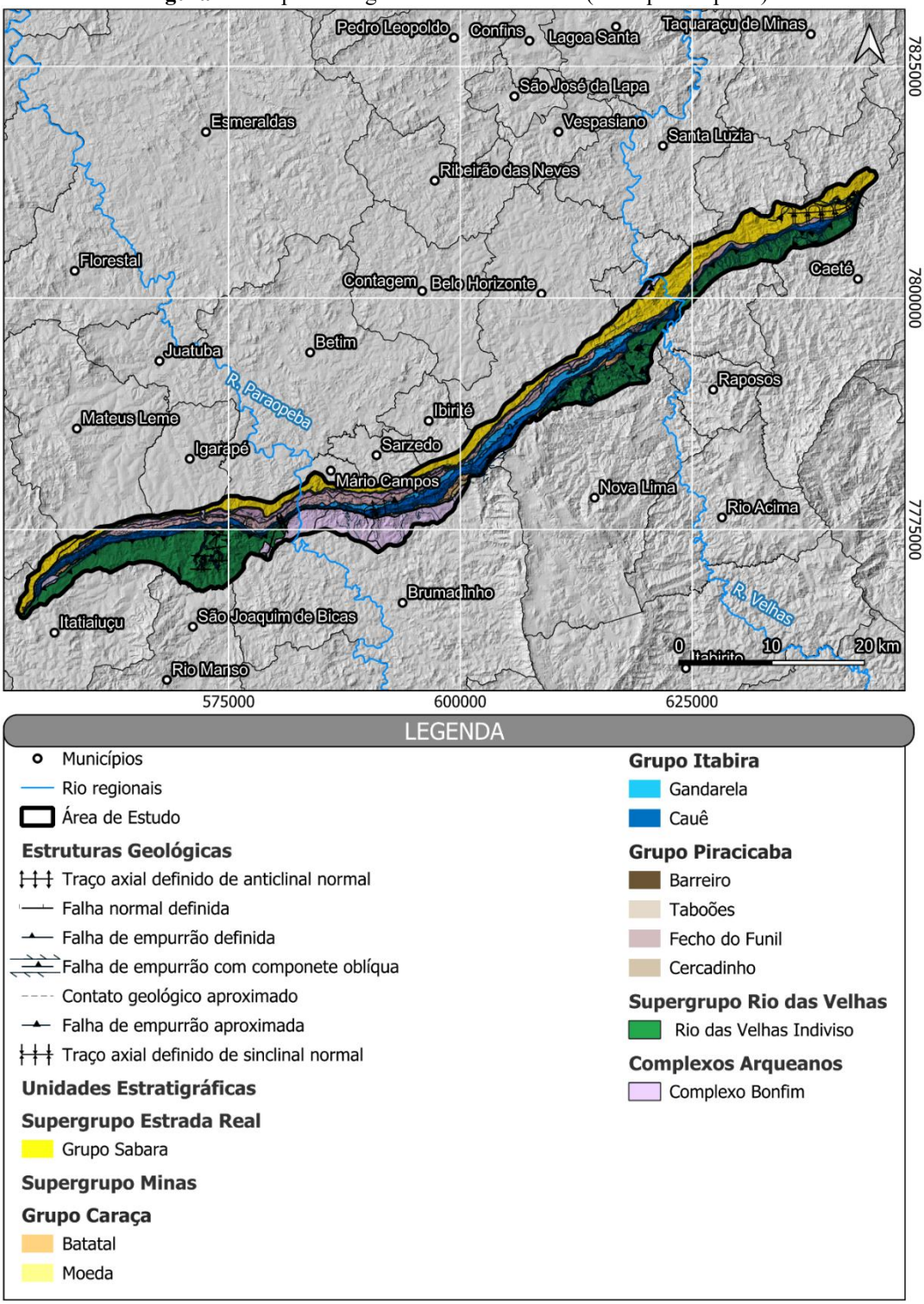
metapelitos e metacherts) e Catarina Mendes (biotita-quartzo xistos e quartzitos) (Dorr 1969, Noce 1995, Reis et al. 2002). O Grupo Itacolomi subdivide-se nas Formações Florália (ortoquartzitos) (Endo et al. 2019a,b) e Pico do Itacolomi (quartzitos com estratificação acanalada, metaconglomerados e filitos). O Grupo Barbacena é composto por xistos, grafita-xistos, gonditos, metacherts, quartzitos feldspáticos e intercalações de anfibolito e rochas metaultramáficas que ocorrem na porção meridional do QF e são correlativas ao Grupo Sabará (Cabral *et al.* 2019).

As Suítes Intrusivas correspondem a eventos pós-Supergrupo Minas, distribuídos regionalmente no QF, incluindo o Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga (Raposo 1991), a Suíte Santa Rita de Ouro Preto (metaultramáficas em fácies xisto-verde, como serpentinitos e esteatitos) (Gonçalves *et al*. 2011; Endo *et al*. 2019a,b) e a Suíte Catas Altas da Noruega, formada por diques ultramáficos que cortam unidades do Sabará e ortognaisses do embasamento (Raposo 1991; Silva et al. 1995, Endo et al. 2019a,b) .

Por fim, as Unidades Cenozoicas compreendem depósitos continentais associados a ambientes flúvio-lacustres e de leques aluviais, incluindo as formações Fonseca (Gorceix 1884, Dorr 1969, Maxwell 1972), Fazenda do Gandarela (Gorceix 1884, Maizatto 2001), Chapada da Canga (Dorr 1969, Sant'anna 1994, Maizatto 2001), Cata Preta (Castro & Ferreira 1997, Castro et al. 1998, Endo *et al*. 2019a,b) e Gongo Soco. São constituídas por argilitos, arenitos, linhitos, conglomerados, diamictitos e brechas ferruginosas, frequentemente associados a sistemas deposicionais continentais e localmente afetados por estruturas tectônicas tardias.

Supracitado, está a representação do mapa geológico da Homoclinal Curral, mostrando as principais unidades locais.

Figura 4 – Mapa Geológico da Área de Estudo (destaque em preto)



Fonte: Adaptada de Endo *et al.* (2019a)

3 HIDROGEOLOGIA

3.1 Definições

O conceito aquífero, como substantivo técnico, foi aplicado primeiramente por Norton em 1986/1987, no trabalho de *Artesian wells of Iowa* no reporte anuário da *IOWA GEOLOGICAL SURVEY.* Antes disso, o termo era aplicado como um adjetivo, para atribuir a elevada capacidade de armazenamento hídrico nos estratos geológicos (Arago, 1834).

Atualmente, refere-se entende-se sistemas aquíferos como um conjunto de uma ou mais unidades litoestratigráficas que compartilham propriedades semelhantes, como condutividade hidráulica, comportamento hidrodinâmico, mecanismos de recarga e descarga, além de características da qualidade da água subterrânea (Rebouças, 1994; Souza, 1995).

Por outro lado, o termo unidade hidrogeológica possui um sentido mais abrangente, sendo utilizado para descrever tanto aquíferos quanto aquitardos e aquicludes, sempre associados a uma determinada unidade geológica (Souza, 1995).

No caso do Quadrilátero Ferrífero, existem diferentes propostas de classificação das unidades aquíferas foram desenvolvidas ao longo do tempo, destacando-se os trabalhos de Beato et al. (2005) e Mourão (2007). Entre as principais distinções, observa-se que Beato et al. (2005) adotam uma abordagem mais ampla, classificando todas as unidades como sistemas aquíferos, enquanto Mourão (2007) propõe uma diferenciação mais criteriosa, não incluindo todas as unidades nessa categoria. Contudo, trabalhos mais recentes como Magalhães (2022); Andrade (2023); Meireles (2023), Ladeira (2025), Vidal (2025) categorizam o Quadrilátero em unidades hidrogeológicas e compartimentam regiões em compartimentos de acordo com suas características regionais de geotectônica como a presença de falhas, corredores etc.

3.2 Trabalhos Anteriores Hidrogeológicos no Quadrilátero Ferrífero

Os estudos sistemáticos hidrogeológicos referentes as águas subterrâneas dentro de Minas Gerais passam a ser implementados a partir de 1973 como os órgãos públicos como a Copasa-MG com Seção de Hidrologia e Poços – SCHP, que constatou as principais fontes de produção dos sistemas de abastecimento de água estadual, e serviram de base primária de abastecimento das cidades mineiras no Plano Nacional de Saneamento – PLANASA. Em 1980, Sadala & Gonçalves, apresentam o primeiro panorama de distribuição de poços perfurados no Estado de Minas Gerais de 476 poços analisados entre 1973 e 1979, com média de profundidade de 76

metros e vazão média de 25,3m³/h. Outros projetos presentes nesse período são os SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e do CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais em 1970, que consagrou posteriormente na formação do primeiro mapa hidrogeológico em 1981. Nessa época, o Quadrilátero Ferrífero tinha o mapeamento apenas do Supergrupo rio das Velhas como uma unidade aquífera e o Embasamento referentes aos Complexos Belo Horizonte e Bação como Maciços Graníticos.

Em 1985, por meio de Bertachinni & Escodino foi realizado o zoneamento e norteado o comportamento hidroquímico dos rios tributários do Paraopeba: Ribeirões Serra Azul, Mateus Leme em parâmetros físico-químicos, isótopos estáveis (Oxigênio-18) junto com dados de poços, permitindo compreender as zonas de infiltração, evaporação e circulação de águas subterrâneas.

Tárcia *et al* (1986), evoluiu os conceitos de rebaixamento da Mina de Conceição em Itabira que detinham problemas na intercepção de água em sua planta operacional, que vinha acarretando instabilidade nos taludes e na cava por meio de perfuração de 6 poços tubulares espaçados em 30 metros com vazão estipulada de 560m³/h ao longo de 30 dias e de rebaixamento em 26 metros, para assim liberar bancos de lavra .

Posteriormente, a CETEC apresentou o estudo "Desenvolvimento *de Modelo Estatístico de Interpretação de Dados Geológicos Morfo-Estruturais Aplicados à Hidrogeologia de Rochas Fraturadas*" que diagnosticou as características geoestruturais são fundamentais para diagnosticar as potencialidades hidrogeológicas de meios fraturados e descontínuos, e para saber o comportamento do aquífero, realizado no mesmo local do estudo de Bertachinni & Escondino (1985). E que a partir daí, veio o desenvolvimento das primeiras técnicas de estimação de modelos numéricos em Minas Gerais, através da publicação de Cetec (1989c) – "Desenvolvimento de Modelo Numérico de Simulação de Aquífero Fraturados, que desenvolveu modelos em PRICKETT-LONNQUIST *e* o FEELTR., que permitiu prever e estabelecer previsões dos efeitos do bombeamento, drenagem e fluxo da Mina de Conceição em meio poroso, mas que era totalmente viável de ser replicado em meio fraturado.

Silva *et al.* (1994) através da obra *Potencial das Águas Subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero*, sistematizou e buscou quantificar as reservas explotáveis dos aquíferos presentes no QF e quantificou a reserva explotável de água presente nos aquíferos locais em $5x10^9$ m³.

As unidades descritas nessa época foram: Formação Cauê (itabiritos), Formação Cercadinho (quartzitos ferruginosos), Formação Gandarela (dolomitos) e Formação Moeda (quartzito) em suas características hidrogeológicas como condutividade, transmissividade,

porosidade efetiva, e tipologia (fissural, cárstico ou granular) com base de dados de poços presentes nas minas Cauê, Chacrinha, Dois Córregos, Conceição, Águas Claras, Mutuca, Pico, Germano, Pau Branco e Casa de Pedra.

Depois, Bertchanni (1994) descreveu em *Hidrogeologia e Desaguamento da Mina de Águas Claras* o desenvolvimento do processo de pré-rebaixamento, isto é, bombear água em número pequeno de poços com o objetivo de reduzir custos com perfuração de poços e reduzir impactos na lavra e que junto a modelagem numérica usando método das diferenças finitas aplicando o uso das técnicas *PRICKETT-LONNQUIST* e *MODFLOW,* permitindo planejar de médio a longo prazo de uma mina. Além disso, ele descreveu melhor as características hidrogeológicas das unidades Formação Cauê, Formação Gandarela e Formação Cercadinho em aspectos hidroquímicos e análise isotópica.

Bertachinni & Almeida (2003) descrevem no artigo *"*O Rebaixamento do Nível D'água em Mineração e Obras Civis que o processo e tempo de rebaixamento d'água para a indústria civil e mineração são distintos, visto que na construção civil é algo apenas pontual enquanto para a mineração perdura até o estágio de descomissionamento. No mesmo ano, Grandchamp publica sua dissertação de mestrado "Estudo da Recuperação do Aquífero Cauê e do Enchimento de Cava na Mina de Águas Claras , Serra do Curral , Município de Nova Lima, MG" que aborda a compilação , tratamento e análise de dados de monitoramento desta mina em estágio de descomissionamento com subida do nível d'água em uma cava entre agosto/2001 a setembro de 2002, que resultou num balanço hídrico do subsistema cava-aquífero que serviu de comparação ao que foi estimado no modelo numérico. Os resultados mostram que o aporte hídrico da mina na época 63% do volume era de origem subterrânea; 20% de escoamento superficial,; 12% de bombeamento e 5% provindo de precipitação direta.

Outro grande favorecimento epistemológico ao conhecimento hidrogeológico do Quadrilátero foi a confecção do projeto APA – Sul RMBH que foi um projeto desempenhado pela CPRM para analisar a Região Metropolitana de Belo Horizonte durante do ano de 2005 em diversas temáticas como geologia, geomorfologia, climatologia, hidrogeologia, hidrogeoquímica, etc e foi constatado categorizadas na área 8 unidades hidrogeológicas dispostas entre sistemas aquíferos (Xistoso, Formação Ferrífera, Quartzítico, Itabirítico, Carbonático, Quartzito/ Cercadinho, Granular) e aquitardos através de trabalho de campo e amostras de água enviadas para análises hidroquímicas.

Um estudo complementar fruto resultante desse projeto realizado pela CPRM da APA-Sul – RMBH foi a tese de doutorado chamada "Caracterização *Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG* de Mourão em 2007 que por análise do aquífero Cauê,

analisou que o fluxo e o armazenamento subterrâneo encontram-se segmentados em 3 mesorregionais: Homoclininal Curral, Sinclinal Moeda e Faixa Tamanduá- Mutuca. Esta compartimentação é regida pela geologia estrutural intensa categorizada pelas falhas tectônicas, presença de diques e estratigrafia. O fluxo é orientado ao longo das camadas através da dissolução e lixiviação nas descontinuidades das rochas. Além de que se constatou que o escoamento em algumas superfícies e porções podem ter preferências devido a reativação neotectônica recente no QF.

Em 2014, o estudo de Avaliação das Disponibilidades Hídricas e Definição de Alternativas de Suprimento de Água confeccionado por Hidrovia/Potamos foi apresentado a SEMAD/IGAM-MG para o licenciamento do empreendimento CSUL na Alta porção do Rio das Velhas. Foram avaliadas as capacidades específicas de cada estrato presente, para compreender a capacidade e regularização do fluxo de base e potencial de explotação. Nisso foram aplicadas técnicas usando aerogeofísicas como magnetometria e gamaespectometria para indicar estruturas e contatos geológicos da Formação Cauê, que é a unidade aquífera com maior grau potencial de explotação.

Deste projeto, veio outra evolução mais tarde em 2017, chamado Projeto *de Monitoramento e Pesquisa Hidrogeológica da Csul Desenvolvimento Urbano* por parte da MDGEO em 2017, visando indicar a sustentabilidade hídrica no caso de captação de água subterrânea nas unidades hidrogeológicas Cauê, Cercadinho e Gandarela. Foram propostos 8 poços de monitoramento, 4 poços de bombeamento, 20 pontos de medição de vazão em cursos d'água, além da instalação de equipamentos de medição pluviométricas. E que se realizaria um processo de bombeamento prolongado para acompanhar o nível d'água e vazão dos pontos de monitoramento em caráter de mapear as características hidrodinâmicas do aquífero estudado (Sistema Aquífero Formação Ferrífera) que permitisse em modo posteriori, atualizar o modelo numérico regional e realizar simulações futuras quanto ao uso d'água dentro da região.

Mesquita *et al.* (2017) também realizou estudos referente aos parâmetros hidrodinâmicos do QF em corpos itabiríticos presentes na porção sudoeste do QF (entre Sinclinal Dom Bosco e Moeda) usando slugtests e interpretando os resultados no Aquifertest de 12 piezômetros e teste de bombeamento de 6 poços tubulares profundos. Os resultados aparentes de valores de condutividades mostraram variação de entre 10^{-10} a 10^{-08} que são compatíveis com o que foram obtidos por Mourão (2007). Os valores de transmissividade (T) variaram entre 0.5 e 159.8m²/dia, com as médias de 68.7m²/dia pelo método de Neuman e 81.4 m²/dia por Boulton. Mais uma vez, os valores encontram-se coerentes com os sugeridos por MOURÃO (2007), que indica uma variação na Formação Cauê de 50 a 1500m²/dia. Já os

valores de transmissividade 10^{-10} a 10^{-01} por Neuman e 10-^{06} e 10^{-01} por Boulton) se enquadram em um modelo de aquífero semi-confinado e apresentaram-se muito menores do que os valores obtidos para Sy por MOURÃO (2007) (entre 0.1 e 0.16) para Formação Cauê.

E que esses resultam indicam que o sistema aquífero Cauê é heretogêneo, semi-confinado com alta anisotropia.

Paula *et al.* (2017), realizou a caracterização hidroquímica e datação das águas presentes na região de Congonhas no Quadrilátero ferrífero. As amostras coletadas vieram de 4 campanhas realizadas ao longo dos anos de 2004, 2006, 2010 e 2013 em período seco, exceto 2006 e foram processados usando AquaChem usando os diagramas de Piper, Stiff, Schoeller e usando Trítio para datação vindo dados de piezômetros, poços tubulares, nascentes e córregos. Estas análises segmentaram-se em 3 grupos pela diferença de íons totais, do qual o predominante mostra que as águas preponderantes são águas bicabornatadas cálcicas magnesianas. O ph das águas é ligeiramente ácidas a neutras com ph médio de 6,35. Quanto a concentração de trítio varia de entre valores menores que 0,2UT a 1,8UT. A partir dessas análises, Paula et al. (2018) dividiu o Aquífero Cauê potenciometricamente e hidroquimicamente em: as águas mais jovens concentram-se nas cotas acima de 1000 metros; as intermediáras entre 850 a 1000 m e as mais antigas estão abaixo de 850 m.

Em 2018, a Water Services and Technologies publicou o "*Estudo Hidreogeológico da Serra da Moeda*" confeccionado entre os anos de 2016 a 2018 segmentado em dois estágios em prol de analisar o comportamento hidrogeológico da área dos poços de bombeamento de SAAE-Itabirito entre coleta de dados de 283 pontos (poços, nascentes, drenagens, lagoas, vertedouros, coleta de amostras d'água, entre outros), mapeamento geológico-estrutural de detalhe da área, e testes de bombeamento de 132 horas. Esses dados foram acoplados em um modelo numérico em *FEFLOW* e permitiu compreender que o comportamento nas regiões norte e sul são segmentados por diques e que a captura d'água para bombeamento presentes nas Minas de Pau Branco e Várzea do Lopes não comprometem o comportamento hidrogeológico de fluxo local.

Magalhães (2022) buscou entender o comportamento hidrogeológico de forma mais atualizada quanto ao comportamento hidrogeológico do flanco leste do Sinclinal Moeda e construir um modelo numérico em *Feflow* adotando os valores que foram levantados na bibliografia nacional de parâmetros hidrodinâmicos como condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, recarga, entre outros. Para definir as unidades aquíferas, a autora usou os conceitos de Miller (1999), do qual aquífero são unidades que produzem e armazenam grande quantidade de água através de nascentes ou poços. As unidades que ela definiu foram: Aquífero Aluvionar, Aquitardo Piracicaba, Aquífero Gandarela,

Aquífero Cauê, Aquitardo Batatal, Aquífero Moeda, Aquitardo Nova Lima e Aquitardo Complexo Bação. Ela conseguiu analisar que o comportamento hidrogeológico se dividia no flanco leste em 4 frentes: Setor Central 1, Central 2, Norte e Sul. O setor norte possui como divisor de água o Aquífero Cauê e com gradiente hidráulico crescente para leste devido a presença dos Aquitardos Batatal e Nova Lima. Os setores Norte e Central possuem a atuação de cones de rebaixamento promovidos pela atividade minerária local e que afeta as vazões das drenagens superficiais. O setor com menos impacto é o setor Sul. As águas subterrâneas são extremamente importantes para abastecimento RMBH e que a explotação de recursos do Cauê é superior a 50% da reserva renovável e aproxima da reserva permanente da unidade aquífera.

Andrade (2023) trabalhou com o flanco oeste do Sinclinal Moeda e assim como Magalhães (2022), desenvolveu um modelo numérico em *Feflow* e usando os conceitos de Miller (1999) para definir as unidades aquíferas regentes na área: Aquífero das Coberturas; Aquífero Moeda, Aquiclude Batatal; Aquífero Cauê; Aquífero Gandarela; Aquiclude Sabará; Aquitardo Piracicaba; Aquífero Itacolomi. É possível denotar que a unidade aquífera Batatal por uma autora é definida como aquitardo e por outra como aquiclude, o que mostra que essa unidade possui características variáveis ao depender das condições estruturais dispostas na área. Mas assim como Magalhães (2022), Andrade (2023) segmenta a parte oeste em mesorregiões: Central, Norte e Sul e observa criticamente que a anisotropia dos bandamentos do aquífero Cauê favorece condutividade hidráulicas elevadas. É analisado que as unidades Cauê, Coberturas e Gandarela nas porções Norte e Central possuem um comportamento misto de livre a semiconfinado a depender da porção do compartimento da área (livre na parte superior e semiconfinado na inferior), enquanto a Moeda é só semiconfinado. Todas as porções possuem rebaixamento em valores distintos, em diferentes níveis a depender da região, que é um reflexo a explotação de água pela atividade minerária na área que interfere todas as unidades aquíferas locais. Os valores potenciométricos regionais variam entre 900m a 1300m em todo Sinclinal Moeda, tanto no flanco leste quanto oeste.

Meireles (2023) contribuiu com os estudos de balanço hídrico, cálculo de recarga e fluxo da junção entre o sinclinal Moeda e Homoclinal Curral, com dados referente aos períodos de 2015/2016 e 2021/2022. Os maiores valores de dados de recarga foram observados nos Aquífero Cauê, Moeda, Gandarela, Cercadinho e Aquitardo Batata, respectivamente. Quanto a comportamento hidrogeológico, observou-se que apesar de que exista alto potencial de produtividade hídrica, essas unidades não são exploradas 32idricamente. O Aquitardo Batatal , possui altos valores de balanço de massa superficial devido a características litológicas de baixa

permeabilidade e baixas taxas de descarga antrópica. Os valores das equipotencias potenciométricas vão de 880 a 1360 na junção do Homoclinal Curral com o Sinclinal Moeda.

O fluxo regional constatado no Homoclinal segue direção orientado para NW e com equipotenciais direcionadas para NE-SW.

Ladeira (2025) também investigou o Sinclinal Santa Rita hidrogeologicamente, tal como Magalhães (2022) e Andrade (2023) analisaram o Sinclinal Moeda. Nesta área do QF, o divisor de águas é a Serra do Caraça (que separa os rios Conceição e Piracicaba) e o sistema aquífero granítico -gnáissico. As unidades aquíferas foram definidas como: Aquiclude de metabásica; Aquífero Itacolomi; Aquífero Sabará; Aquitardo Piracicaba; Aquífero Gandarela; Aquífero Cauê; Aquitardo Batatal; Aquífero Quartzítico Fissural; Aquitardo Rio das Velhas; Aquífero Granítico-Gnáissico. O autor agrupas as unidades aquíferas referentes ao Supergrupo Minas e a Supergrupo Estrada Real em sistemas aquíferos Minas e Estrada Real e fala que esses sistemas na área de estudo encontram-se desconectados pelo aquitardo Piracicaba. A recarga do sinclinal Santa Rita é dada Aquífero Cauê devido sua permeabilidade contudo esse armazenamento diminui ao longo da profundidade, tornando o como uma unidade não aquífero em 1300 metros. A reserva renovável calculada por Ladeira (2025) para o Sinclinal Santa Rita é de $8{,}5x10^7$ m^3/ano, que se configura como a reserva de manutenção e esse volume é 15 vezes o volume d'água consumido pela população referente aos munícipios de Ouro Preto e Mariana, presentes na área do aquífero. A reserva permanente é de $4{,}4x10^9$ m^3. Os valores potenciométricos regionais iam de 687 m a 1548 m no sistema aquífero Minas, enquanto no sistema no sistema aquífero Estrada Real varia de 685 m a 1074 m.

Caetano (2025), investigou a recarga dentro do aquífero Cauê no Sinclinal Moeda e Homoclinal Curral usando o método WTF (*Water Table Fluctuation*) a partir de 186 instrumentos de medição como piezômetros e indicadores de nível d'água comparando com os dados de satélite da missão GRACE (GGST) segmentado em rasters. Os resultados referentes constam que a aplicação do método WTF permitiu estimar a recarga média da Formação Cauê em 348,1 mm/ano (25% da precipitação anual), com base em 107 instrumentos de monitoramento. Para a Homoclinal do Curral e o Sinclinal Moeda, as recargas médias calculadas foram de 351,7 mm/ano e 352,4 mm/ano, respectivamente. A análise demonstrou que as atividades de lavra (zonas de cava) potencializam a recarga local, enquanto a presença do Aquiclude Batatal condiciona o fluxo vertical. Em contrapartida, as estimativas via GGST revelaram valores mais elevados, variando entre 634,7 mm/ano (pixel 1) e 750,2 mm/ano (pixel 3). Observou-se que tais valores são sensíveis a interferências climáticas, sugerindo que

mudanças no regime de chuvas podem impactar significativamente os resultados obtidos por essa metodologia.

Por fim, o último trabalho referente a grande base epistemológica deste Trabalho de Graduação é o do Vidal (2025). Vidal realizou a construção e análise de um modelo hidrogeológico conceitual e numérico da Serra Curral, analisando regime permanente e transiente em 2 cenários. Ele categorizou as unidades hidrogeológicas como: Aquífero Cauê, Aquífero Gandarela, Aquífero Moeda, Aquitardo Batatal, Aquitardo Nova Lima, Aquitardo Piracicaba, Aquitardo Sabará e Aquitardo Complexo Bonfim.

O balanço hídrico calculado por Vidal (2025) aplicou-se o método de Thorwaitte (1955) e Thiessen para compreender a disponibilidade hídrica constatou que o total pluviométrico analisado dentro do período de 1991 a 2020 foi de 1426,25 mm. Os resultados referentes foram: ETR de 454,3 mm (32%), ETP de 512,0 mm (36%), EXC de 1042,8 mm (73%), DEF de 57,7 mm (4%) e ARM de 956,5 mm (67%). Nota-se que durante os meses de maio a setembro ocorre um déficit hídrico, enquanto os demais meses de outubro a abril, se tem um excedente.

Os valores potenciométricos no Homoclinal Curral variam entre 720 a 1360 metros e convergem para os exutórios dos Rio Paraopeba e Rio das Velhas, como zona de descarga natural. O sistema regionalmente recebe o fluxo subterrâneo provindo da porção leste e fornece água para a porção oeste do Sinclinal Moeda.

A média da reserva renovável constatada em 20 ciclos analisados, foi de $29{,}2 \times 10^6$ m³. A taxa de recarga calculada pelo autor foi de: 18,41% para Aquífero Gandarela, 39,57% para o Aquífero Cauê, 6,89 para o Aquitardo Batatal e 28,91% para o Aquífero Moeda.

3.3 Unidades Hidrogeológicas

As unidades analisadas regionalmente seguem mesma classificação de Vidal (2025):

- **Aquitardo Complexo Bonfim:** Unidade não aquífera de caráter fissural, composta por estratos graníticos-gnáissicos TTG do Complexo Bonfim. Dispõem-se regionalmente como a unidade de embasamento da estratigrafia regional da área de estudo. Tem baixo potencial hidrogeológico, caráter fissural.
- **Aquitardo Nova Lima – Supergrupo Rio das Velhas: Unidade** não aquífera de baixa produtividade, vazão média de 1;1 m³/h nas nascentes, contudo com valores de vazão locais podendo chegar a 150 m³/h. (Beato, Monsores & Bertachini, 2006, Mourão 2007). A composição litológica é de xistos e filito, heterogêneo e anisotrópico. É uma unidade que não apresenta valores

significativos em vazões (Magalhães, 2022). Existe uma hipótese que as rochas sulfetadas podem ocasionar drenagem ácida na região. (Mourão, 2007)

- **Aquífero Moeda:** Unidade aquífera formada por quartzitos e conglomerados. O comportamento desta unidade é variável, a depender da porção do QF, podendo ser livre ou confinado. Na Serra do Curral é categorizado como livre (Vidal, 2025). É heterogêneo e anisotrópico, com espessura variante entre 200 m a 1000 m. As águas desta unidade são classificadas como bicabornatadas cálcico – magnesianas, com condutividade elétrica variada, podendo ser pouco ou muito mineralizada. O ph é levemente ácido com valor de 6,3 (Mourão, 2007). Os valores de vazão presentes nas nascentes em descarga é de 18m³/h (Mourão, 2007).
- **Aquitardo Batatal –** Unidade não aquífera caracterizada por filitos. É heterogêneo e anisotrópico. Devido suas características litológicas, ela configura-se como uma unidade com capacidade de armazenamento hídrico, porém deficitária em transmissão para as demais unidades em contato no Quadrilátero, mas com valores de transmissão maiores do que outros aquitardos regionais, devido a baixa espessura (Magalhães, 2022; Andrade, 2023). Pode atuar como uma unidade confinante do Aquífero Moeda.
- **Aquífero Cauê**: Unidade Aquífera composta litoestratigráficamente majoritariamente por formações ferríferas (hematita e itabiritos), mas também filitos, quartzitos e mármores. Sua tipologia é mista: granular e fissural, heterogêneo e anisotrópico. Pode ser livre a confiado a depender da localidade e arcabouço geotectônico regional. Dantas *et al*. (2017), constatou com perfilagem geofísica que as porções litotípicas hematíticas possuem maior capacidade de armazenamento do que as porções itabiríticas. Os valores de capacidades são relativamente altos constatados na bibliográfica nacional de 68m³/h e 5,18 m³/h/m. É a unidade mais estudada regionalmente, devido a maior concentração de mineradoras apresentam-se nesta região. As profundidades médias dessa unidade é 682 metros (Magalhães *et. Al*, 2022)
- **Aquífero Gandarela:** Unidade Aquífera composta por rochas carbonáticas como dolomitos e calcários. Sua tipologia é mista: cárstica/fissural, heterogênea e anisotrópica. A condutividade observada por Vidal (2025) foi de 0,48m³/h/m enquanto a de Mourão (2007) foi de 2,8m³/h/m.

A profundidade média é de 576 metros na Serra do Curral ou próximos a esta faixa na Serra da Moeda (Magalhães *et al.,* 2022). Essa unidade pode ter um comportamento variável, isto é, ora pode ser livre, ora confinado devido aos Aquitardos Piracicaba e Aquitardo Sabará.

- **Aquitardo Piracicaba:** Unidade não aquífera distribuída em 78,3 km² da área aflorante da Serra do Curral. É composta por quartzitos e filitos. A porosidade regente é do tipo fissural. É heterogêneo e anisotrópico. O valor médio de vazão desta unidade é de 5m³/h, enquanto que a capacidade específica é de 0,14m³/h/m. (Vidal, 2025; Andrade *et al.*, 2025)
- **Aquitardo Sabará – Supergrupo Estrada Real:** Unidade não aquífera, distribuída em 133,6 km² de área aflorante na Serra do Curral, formada por metassedimentos como metassiltitos, metapelitos e grauvacas. A capacidade específica dessa unidade é de 0,12 m³/h/m (Beato & Bertachini, 2005). A profundidade é de 500 m.

A unidade hidrogeológica aquífera de Coberturas Lateríticas e aluvionares, conforme Vidal (2025) são pouco significativas para o tema referente a esta monografia, pois são unidades de armazenamento superficial e que facilitam a recarga para as demais unidades presentes na Serra do Curral, logo não serão descritas e nem representadas nos mapas.

3.4 Parâmetros Hidrodinâmicos

A definição de uma unidade aquífera vai de acordo muito com os valores de seus parâmetros hidrodinâmicos. É possível denotar-se, que as unidades hidrogeológicas ao longo do Quadrilátero Ferrífero, vão adotar diferentes classificações ora como aquitardos, ou aquicludes ou até mesmo aquíferos (como, por exemplo, a unidade Sabará, que por Ladeira (2025) é interpretada como um aquífero, enquanto por Vidal (2025) é interpretada como um aquitardo). Essa interpretação deve-se por causa da interpretação hidrodinâmica advinda dos parâmetros hidrodinâmicos adotados e interpretados para cada unidade hidrogeológica. A tabela abaixo vai mostrar vai mostrar como cada autor interpretou suas unidades aquíferas ao longo do Quadrilátero Ferrífero, a partir de dados de testes de bombeamento (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros Hidrodinâmicos das unidades hidroestratigráficas do Quadrilátero

Unidade Hidroestratigráfica Cauê										
Trabalhos	Unid.	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Mourão (2007)	*	1,0 x10E-9	-	1,0x10E-6	5,86x 10E-4	-	1,74x 10E-2	1,0x10E-1	-	1,6x10E-1
Mesquita et.al (2017)	*	5,2x10E-10	-	2,5x10E-8	5,79x 10E-6	-	1,85x 10E-3	8,6x10E-10	-	5,0x10E-1
Schlumberger (2017)	*	1,5x10E-4	-	8,8x10E-4	1,90x 10E-2	-	3,70x 10E-2	1,6x10E-2	-	5,3x10E-1
Bertachini (2020)	*	4,6x10E-7	-	1,2x10E-5	8,8x10E-4	-	9,29x 10E-3	1,8x10E-4	-	5,0x10E-1
Magalhães (2022)	*	2,40x 10E-8	9,45x 10E-7	5,62x 10E-6	5,63x 10E-6	9,75x 10E-5	2,53x 10E-4	3,09x 10E-9	-	5,0x10E-1
Andrade (2023)	*	-	2,2x10E-7	-						
Andrade et. al (2025)	*	3,0x10E-10	-	2,0x10E-2	4,0x10E-9	-	3,0x10E-1	5,0x10E-13	-	9,0x10E-1
Ladeira (2025)	*	1,44x 10E-6	9,24x 10E-5	9,79x 10E-4	1,96x 10E-4	1,18x 10E-2	1,32x 10E-1	8,69x 10E-2	1,43x 10E-1	2,14x 10E-1
Vidal (2025)	*	3.09x 10E-4	6,71x 10E-6	1,14x 10E-7	1,19x 10E-5	3,09x 10E-4	7,75x 10E-4	3,26x 10E-3	3,15x 10E-2	4,99x 10-2
Unidade Hidroestratigráfica Gandarela										
Trabalhos	Unid.	**K**			**T**			**S**		
Mourão (2007)	*	1x10E-7	-	9x10E-6						
Magalhães (2022)	*	3,35x 10E-8	7,38x 10E-8	1,69x 10E-7	1,16x 10E-6	5,71x 10E-6	1.51x 10E-5	3,87x 10E-8	5,60x 10E-2	1.78x 10E-1
Andrade (2025)	*	4x10E-9	7,38x 10E-8	3x10E-6	-	2x10E-6	-	8x10E-5	2x10E-1	5x10E-1
Vidal (2025)	*	9,30x 10E-9	1,99x 10E-6	5,15x 10-6	7,07x 10E-7	1,50x 10E-4	4,79x 10E-4	7,74x 10E-5	1,12x 10E-2	3,76x 10E-2
Unidade Hidroestratigráfica Moeda										
Trabalhos	Unid.	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Mourão (2007)	*									
Magalhães (2022)	*	2,15x 10E-8	2,59x 10E-7	5,35x 10E-7						
Andrade (2023)	*	-	2,5x10E-7	-						
Andrade et. al (2025)	*	-	-	-						
Ladeira (2025)	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vidal (2025)	*	9,52x 10E-8	3,68x 10E-7	9,09x 10E-7	7,14x 10E-6	2,54x 10E-5	5,91x 10E-5	6,9x10E-5	1,88x 10E-2	5,51x 10E-2
Unidade Hidroestratigráfica Batatal										
Trabalhos	Unid.	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Mourão (2007)	**	1x10E-8	-	1,0x10E-6	-	-	-	-	-	-

Vidal (2025)	**	5,95x 10E-8	1,81x 10E-7	3,02x 10E-7	5,89x 10E-6	1,52x 10E-5	2,45x 10E-5	1,33x 10E-4	4,53x 10E-3	8,93x 10E-3
Neto et al. (2026)	**	-	9,20x 10E-8	-	-	-	-	-	5x10E -3	-

Unidade Hidroestratigráfica Piracicaba										
Trabalhos	Unid.	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Mourão (2007)	**	-	1,0x10E-8	-						
Unidade Hidroestratigráfica Sabará										
Trabalhos	Unid. Hidrogeológica	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Ladeira (2025)	*	-	3,41x 10E-7	-						
Unidade Hidroestratigráfica Complexo Bonfim / TTG										
Trabalhos	Unid. Hidrogeológica	**K**			**T**			**S**		
		Mín.	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**	**Mín.**	**Med**	**Máx.**
Beato et al. (2001)	**	2,03x 10E-7	-	1,03x 10E-5						
Freitas & Bacellar, 2013	**		2,64x 10E-6							

Fonte: Compilado pelo Autor (2026)[1]

[1] Legenda: *Aquífero **Aquitardo *** Aquiclude

4 MATERIAIS MÉTODOS

Para seguir o objetivo macro desta monografia, que é de comportamento hidrogeológico do Homoclinal Curral foram realizados com coleta e compilação de dados públicos da SEMAD/IGAM de poços tubulares e de dados geofísicos, presentes na área, que passaram uma tratativa de dados por meio de técnicas de análise de dados e *softwares* de geoprocessamento, como, cálculo de áreas, tratamento de fotolineamentos, lineamentos geofísicos, filtragem e classificação de poços de acordo com a produtividade através de dados de capacidade específica, que ao fim resulta-se na definição das unidades hidrogeológicas, a compartimentação hidrogeológica disposta é predominada pela variabilidade litocomposicional dos litotipos presentes na área ou pela segmentação geotectônica presente no Homoclinal Curral. Os estágios processuais estarão infracitados ao longo desse capítulo.

4.2 Base de Dados

Para o levantamento de poços tubulares na região, foram consultadas três fontes principais: a Infraestrutura de Dados Espaciais do SISEMA (IDE-SISEMA), o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS) e os registros da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). A combinação dessas bases de dados públicos teve como objetivo aumentar a confiabilidade das informações e minimizar duplicidades ou lacunas.

A busca inicial considerou todos os poços dentro dos limites municipais que abrangem a Serra do Curral, que são: Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Raposos, Brumadinho, Ibirité, Mário Campos, Igarapé e Itatiaiuçu.

Contudo, verificou-se que muitos dos 476 poços cadastrados não possuíam dados completos essenciais para a análise, como nível estático, nível dinâmico, vazão, coordenadas geográficas e cota do nível d'água. Para sanar essa limitação, foi necessário complementar e validar as informações por meio de contato direto com as mineradoras atuantes na região ou excluído esses dados, originalmente de 480 poços do banco de dados final, reduzindo para 116 poços.

Para o levantamento de dados geofísicos foram obtidos por meio dos levantamentos aerogeofísicos realizados pela CPRM no projeto nº 1116 – Projeto Redenção do Rio das Velhas, disponíveis no Geobank da CPRM que foram filtrados posteriormente por meio do software *Oasis Montaj* da Bentley.

O limiar de dados geológicos para a construção epistemológica dessa monografia foi o mapeamento realizado por Endo et al. (2020) disponibilizado no site do Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero correlacionados aos projetos anteriores realizados por Lobato (2007) e USGS ao longo da década de 50.

Os demais materiais, de categoria secundária, foram de autoria própria, como mapas potenciométrico, capacidade específica, compartimentação usando banco de dados disponíveis online como: IDE-SISEMA, IBGE, ANA, CPRM-SBG/GEOBANK. O sistema de projeção e Datum escolhido para esta monografia foi o SIRGAS 2000 23 S.

Os poços tubulares compilados e analisados, podem ser visualizados em mapa através da figura (Figura 5)

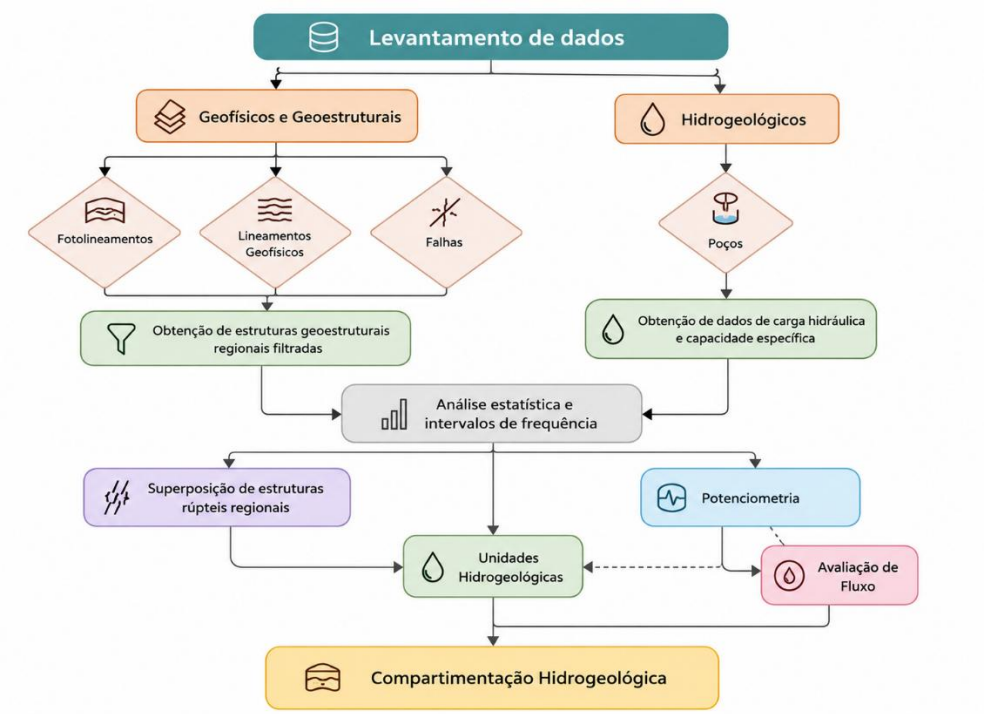
Figura 5 - Mapa de Localização dos Poços analisados ao longo de toda poligonal da área de estudo filtrados de poços outorgados da SEMAD/IGAM



.

O fluxo técnico-laboral científico aplicado ao longo dos demais capítulos estão regimentados metodologicamente de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma Processual da investigação científica presente neste Trabalho de conclusão de Curso



4.2 Análise de Falha, Lineamentos e Aerogeofísica

As falhas mapeadas são frutos dos seguintes trabalhos realizados no Quadrilátero Ferrífero que foram elencados no último trabalho de Endo (2019b) e Lobato (2005), agrupando todos os mapeamentos geológicos realizados no Quadrilátero Ferrífero, desde dos primórdios dos levantamentos da USGS até os tempos contemporâneos.

Em prol de seguir as análises geotectônicas adotou-se o modelo geotectônico de Endo *et al.* (2005; 2019b) e separou-se as falhas em 3 categorias de acordo as orientações presentes na área de estudo decorrentes dos esforços geotectônicos presentes ao longo do tempo em diferentes magnitudes regionais de 3 ciclos deformacionais principais:

- **E-W** (dominante): Decorrido no Brasiliano, é o esforço dominante presente na literatura do Quadrilátero Ferrífero. São representados principalmente pelas falhas reversas e lineamentos macrorregionalmente dentro do Quadrilátero, com

angulação preponderante de 70 ° a 90°. Convencionalmente na literatura é chamado de Ciclo D2.

- **NW-SE:** Também decorrido no Brasiliano, é o segundo esforço mais atuante dentro do QF e na Serra do Curral. São bem categorizados pelos cavalgamentos e dobras. Na literatura é chamado Ciclo deformacional D1, com angulação de 120° a 140°.
- **NNE-SSW**: Menos atuante na área de estudos, são frutos do evento Transamazônico, são vistos em falhas normais dentro do contexto regional do Quadrilátero.

Além destes principais ainda se possui reativações tardias que frutos de zonas de cisalhamento ou contextos de ruptura dúctil-rúptil com angulação 0° a 20° presentes nos trabalhos de Endo et. Al (2020).

Ao todo presentes na bibliografia supracitada, existiam ao todo 936 falhas, das quais foram filtradas de com contendo 0,0001 km a 18,20 km. Das estruturas selecionadas, a partir da seleção das estruturas, foi calculado no software QGIS 3.40, por meio da ferramenta *"$Lenght*", o comprimento em metros relativo à cada falha selecionada. O resultado foi de 26 falhas concorrentes as camadas geológicas.

A traçagem de fotolineamentos negativos foi aplicada nesse estudo, devido a importância que este tipo de lineamento de indicar a presença descontinuidades, fraturamento e fluxo d'água subterrâneo e dão sinais de indicar onde estão as regiões de recarga dos aquíferos. Esses lineamentos foram traçados através do uso contínuo de raster de sombreamento calculado no QGIS 3.40 a partir de um Modelo Digital de Elevação e com a observação de imagem de satélite de *base map* do Bing *Satellite* do QGIS através do completo-plugin Quick Map Services.

Posteriormente, após traçado dos fotolineamentos, adveio a aplicação da técnica de cálculo de frequência, com a finalidade de estabelecer mecanismos identificatórios e comparativos com as falhas regionais descritas dentro da literatura científica nacional, buscando adjuntar as que estivessem com graus comparativos semelhantes, em direção (graus) e comprimento (km).

A aplicação de técnicas geofísicas dentro da geologia foram cruciais para delimitação das regiões de contato e limite da litoestratigrafia regional, identificação de estruturas dúcteis e rúpteis macrorregionais e sua geometria vigente. A magnetometria é uma das técnicas de levantamento aerogeofísicas, que permite a visualização de estruturas lineares que podem ser

estruturas indicativas de esforços tectônicos pretéritos decorridos regionalmente, observáveis através de alterações anômalas do campo magnéticos.

Foram obtidas 6 modalidades de mapas através dos dados presentes do mapeamento aerogeofísico da CPRM, contudo foram aplicados somente 3 técnicas segmentadas através do software Oasis Montaj na versão 4.8 para o traçamento dos lineamentos aerogeofísicos, são eles Gradiente Total (A e B), Derivada Horizontal Vertical (A, B, C) e Contagem Total.

Para a construção do banco estatístico foi a aplicado a técnica de distribuição de frequências conforme Sturges (1929) e Landim (2003). A distribuição de frequência é uma esquematização de valores sobre um determinado grau amostral, distribuindo o mesmo em faixas, que contabilizam o número de ocorrência de dados sobre cada intervalo calculado.

Para calcular a distribuição de frequência são necessárias as fórmulas e saber o mínimo e máximo valor da sua malha amostral (n) e aplicar as seguintes fórmulas :

A. **Amplitude Total**:

$$\boldsymbol{AT} = (máx - \min)n$$

Equação 1

B. Fórmula de Sturges(k):

$$\boldsymbol{K} = 1 + 3{,}322.\log(n)$$

Equação 2

Obs: Seu número de classe deve ser sempre um número de inteiro. Logo, se seu resultado vier um valor real, independentemente de estar abaixo de 0,5 para ser arredondado, o mesmo deve ser arredondado.

C. Amplitude de Intervalo

$$\boldsymbol{H} = AT/K$$

Equação 3

A partir disso são definidos o segmentados as classes de frequências referentes ao seu grau amostral. A contagem de elementos presentes dentro de uma faixa de frequência é chamada de **frequência absoluta**. Agora, para conferir se suas classes estão condizentes ao seu banco

amostral é necessário realizar o cálculo de frequência relativa e frequência acumulativa, sendo que:

D. Frequência Relativa:

$$\boldsymbol{Freq.Relat} = Frequência\ Absoluta\ /\ Número\ Total) * 100$$

Equação 4

O resultado é a porcentagem do quanto aquela contagem de frequência absoluta representa sobre o número total de dados.

E. **Frequência Acumulativa**:

$$\boldsymbol{Freq.Ac} = \sum Frequência\ a\ cada\ frequência$$

Equação 5

Soma-se a quantidade de dados que estão sendo sucedido a cada faixa de frequência quanto ao total amostral, tendo ao resultado como 100% ou como número total. Essa técnica processual foi importante para quantificação e qualificação dos dados de falhas, fotolineamentos, lineamentos geofísicos, poços tubulares.

A análise estatística, baseada no critério de Sturges, foi empregada para segmentar as falhas em intervalos de frequência. Essa mesma abordagem permitiu a subsequente separação dos intervalos de frequência das falhas, fotolineamentos e, posteriormente, dos lineamentos geofísicos.

Os dados quantificados de falhas, fotolineamentos, e lineamentos geofísicos que possuírem comprimento e orientação semelhante entre si, serão aplicados como base para a compartimentação hidrogeológica, enquanto os *outliers*, foram desconsiderados.

O traçado dos lineamentos geofísicos, combinado com a análise estatística das falhas por frequência, permitiu identificar os traços de lineamentos que se enquadram no intervalo métrico das falhas consideradas, de forma análoga ao feito com os fotolineamentos. Com isso, os próximos capítulos poderão identificar as estruturas coincidentes em orientação e espacialmente, o que é fundamental para a delimitação dos compartimentos hidrogeológicos.

Com a definição desses intervalos, procedeu-se à análise dos comprimentos dos fotolineamentos e lineamentos geofísicos que se enquadravam nos limites estabelecidos para as falhas. Essa integração de dados possibilitou a identificação e segregação das estruturas coincidentes, as quais podem subsidiar a compartimentação da área de estudo.

Finalmente, após a integração e a determinação dos comprimentos das estruturas em função do intervalo das falhas, realizou-se uma análise espacial no software *QGIS* com o uso do complemento/plugin *Line histogram direction*. O objetivo foi identificar as estruturas triplamente coincidentes (em comprimento, direção e orientação), fornecendo assim suporte ao traçado de potenciais compartimentos estruturais e hidrogeológicos. Depois foi realizado um mapa dando as sugestões de segmentos que possam ter indícios da presença de corredores ou estrutura regionais como falhas ou descontinuidades.

4.3 Caracterização Hidrogeológica

A delimitação das unidades hidroestratigráficas é um passo essencial em estudos hidrogeológicos como este. Tais unidades são definidas pela análise de suas características litológicas e estruturais, parâmetros hidrodinâmicos e a similaridade no comportamento hídrico (capacidade de conduzir e armazenar água).

Para este trabalho, as unidades foram segregadas em **aquíferas e não aquíferas**, baseia-se em Lohman *et al*. (1972) e Gustafson e Krásný (1994), que considera **aquíferos** como uma formação ou grupo de unidades de formação saturada em água com permeabilidade suficientemente ativa para promover a transmissão de quantidades significativas de água para poços e nascentes.

A elaboração do mapa das unidades utilizou como referência a base geológica do mapa do Quadrilátero Ferrífero (Endo et al., 2020), versão 2020, na escala 1:150.000, correlacionado com os trabalhos anteriores regionais como Magalhães (2022), Andrade (2023), Zupo (2024), Ladeira (2025) e Vidal (2025).

Este referencial teórico permitiu a delimitação macrorregional das unidades aquíferas presentes na área e dos poços obtidos na filtragem de dados públicos entre os anos de 1980 a 2023. Além de que a delimitação de poços individualmente foi aplicada no mapa de unidades aquíferas, isso permitiu refinamento geométrico no contato entre cada unidade hidrogeológica regionalmente. Ao cruzar todas essas informações, o último estágio foi de confeccionar o mapa de unidades hidrogeológicas.

4.4 Avaliação de Produtividade Aquífera

O parâmetro de capacidade específica ***(Qs)*** é fundamental para avaliar a eficiência de um poço, sendo calculado pela relação entre a vazão **(Q)** extraída e o rebaixamento (S) resultante do nível d'água e com a unidade de medida padrão de m³/h/h. Essencialmente, ele quantifica a produção de água por unidade de rebaixamento. O cálculo é dado pela fórmula abaixo:

$$Qs = \frac{Q}{S}$$

Equação 6

Onde ***Q*** é a vazão do poço, e **S** é o rebaixamento, determinado pela diferença entre o nível dinâmico (Nd) e o nível estático (Ne) (s = Nd - Ne). Uma maior capacidade específica indica maior eficiência do poço na produção de água com menor rebaixamento. É um parâmetro variável ao longo do tempo e com a vazão extraída do poço.

A primeira malha amostral de dados presentes dentro da Serra do Curral contida 480 poços de análise, contudo após filtragem estatística, foram obtidos 126 poços. Como não se deteve acesso ao perfil litoconstrutivo da maioria dos poços outorgados escolhidos na área, não foi possível estimar perdas d'água do aquífero por conta do estilo de poço e filtro aplicado.

Os valores de capacidade específica dos poços escolhidos foram associados a classificação de produtividade via tratamento de dados do *Excel* pela classificação desenvolvida por Struckmeir e Margat (1995) e adaptado por Diniz *et. al.* (2012), através das cinco faixas de valores quanto a produtividade (Tabela 2).

Tabela 2 – Produtividade Hidraúlica de Aquíferos

Produtividade Hidráulica de Aquíferos		
Classe de Produtividade / Aquífero	**Tipo de Produtividade**	**Capacidade Específica ($m^3/h*m$)**
Geralmente Muito Baixo	Fornecimento Insignificante de água.	<0,4
Geralmente Baixo	Fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado	0,4 a 1,0
Moderado	Fornecimento de água para abastecimento locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	1,0 a 2,0
Alto	Fornecimento de água para abastecimento humano e agrícola de pequeno a médio porte	2,0 a 4,0
Muito Alto	Fornecimento de água de importante regional de cidades e metrópoles, e grandes irrigações. São aquíferos se destacam em âmbito nacional	> 4,0

Fonte: Struckmeir; Margat (1996) adaptado

Depois de serem filtraram por frequências, esses dados foram replotados dentro do *Qgis*, para realizar a traçagem de isolinhas em prol, de delimitar espacialmente, a produtividade e dinâmica hídrica regional, identificando a escala de produtividade regional como um todo, mostrando as regiões altamente produtivas e as pouco produtivas. Cada isolinha foi identificada com um símbolo cartográfico para melhor identificação e visualização geoespacial dentro da área de estudo.

4.5 Avaliação de Fluxo

Já a análise de fluxo, proveio da interpretação dos mapas potenciométrico feito sob interpolação da carga hidráulicas dos poços outorgados na região. A partir da correlação das cotas hidráulicas semelhantes, foram traçadas as linhas equipotenciais de fluxo regional no mapa potenciométrico. Logo, foi calculado a carga hidráulica de cada poço, comparado a Modelo Digital de Elevação (MDE/ DEM) a partir do Alos Palsar (30 m), considerando os dados mais recentes de poços. Esses valores provieram de um processo operacional do *Qgis* (*Amostrar valor de raster*) que permitiu extrair os valores topográficos de cada porção onde o instrumento está localizado que diminuído com o valor de Nível Estático, tem-se a carga hidráulica.

A partir disso a interpolação foi feita, agrupando os valores, considerando caso que se existem-se valores onde não tivesse dados, as equipotenciais deveriam ser tratadas como inferidas. A partir das equipotenciais delimitadas, é demarcar e compreender onde são as áreas de recarga e descarga, e quais sãos os agentes que regimentam o fluxo prevalente: a topografia / estratigrafia ou a geologia estrutural (dobras, falhas, descontinuidades, entre outros).

4.6 Zoneamento Hidrogeológico de Produtividade

Por fim, realiza-se uma análise com a discriminação das estruturas geológicas coincidentes (falhas, fotolineamentos e lineamentos geofísicos), o que permitiu a setorização estrutural e, consequentemente, forneceu a base para a futura interpretação hidrogeológica. A compartimentação hidrogeológica foi definitivamente estabelecida por meio da integração da compartimentação estrutural definida com dados de produtividade das unidades aquíferas e de carga hidráulica. A classificação de produtividade aquífera de Struckmeir e Margat (1995) foi concomitante e fundamental para vincular os compartimentos hidrogeológicos identificados ao seu respectivo potencial de explotação hídrica subterrânea e assim produzir o mapa de produtividade hidráulica regional do Homoclinal Curral. Por meio das isolinhas de capacidades específicas foram criados polígonos entre as faixas: Altíssimo, Alto, Moderado, Baixo e Baixíssimo.

5 RESULTADOS

5.1 Análise de Falhas, Fotolineamentos e Aerogeofísica

As falhas presentes no estudo regem um comportamento preferencial nas seguintes direções, já supracitado, conforme Endo et. al. (2005; 2019b):

- D1- Transamazônico – NNE-SSW (20º-30°) – 2.1 a 1.8 G.a de vergência variável, representada em estruturas típicas do QF como dobras e falhas normais.
- D2- Brasiliano 1 – NW-SE (120° -140°) – 630 a 600 M.a, com vergência de direção leste, representada por cavalgamentos e o Sinclinal Moeda
- D3 – Brasiliano 2 - E- W a ENE-WSW- (70° a 90°) - 600 a 540 M.a, com vergência de direção oeste, vista em estruturas como a falha Curral, dobras abertas, falhas reversas, lineamentos

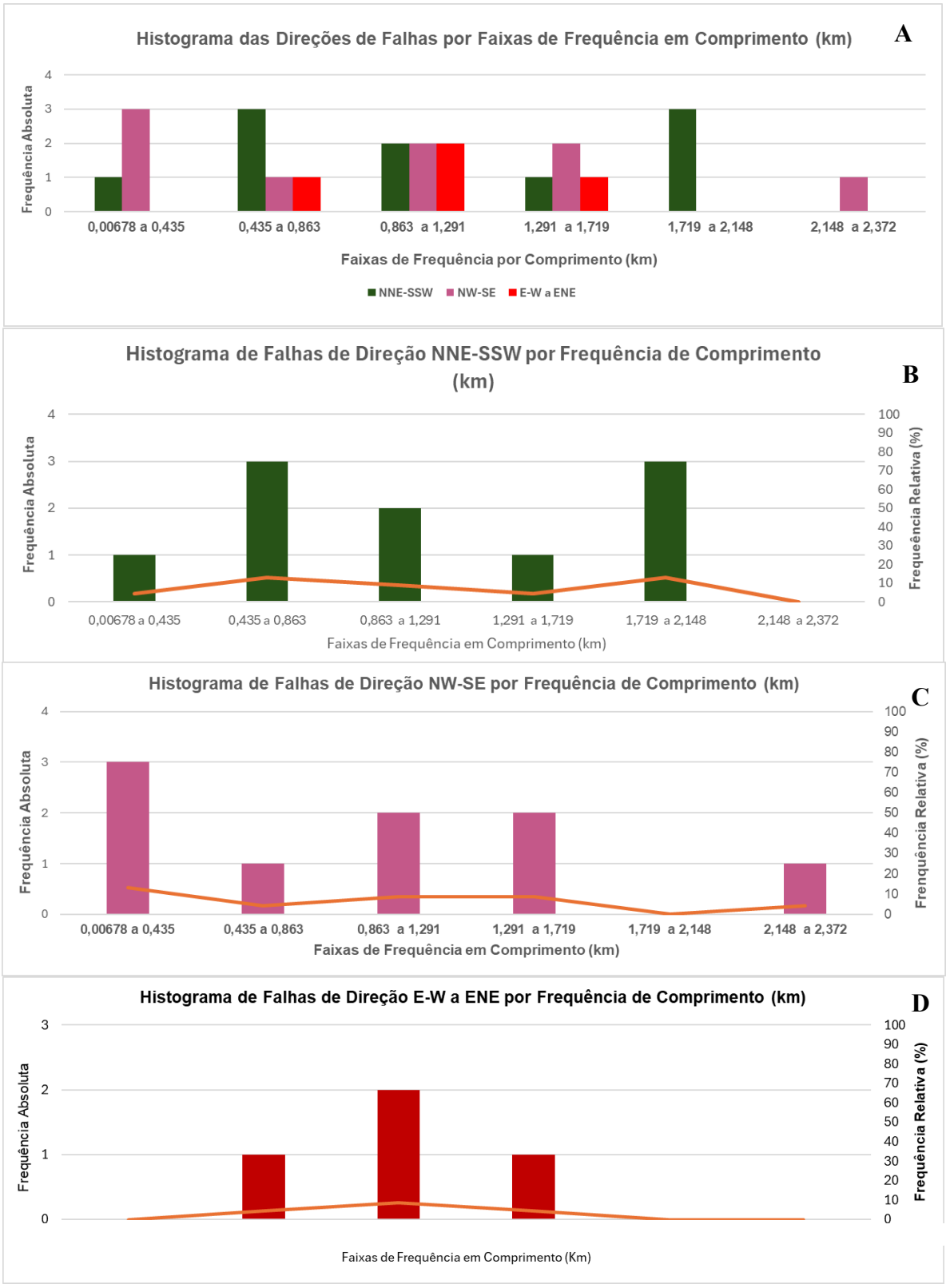
A partir da compreensão da direção preferencial e da tipologia de ser falhas não de contato, foi realizado o cálculo de frequência pela Fórmula de Sturges, supracitado no capítulo 4, para assim se fragmentar e analisar em comprimento e angulações a direção de cada uma das estruturas. Sendo assim foram escolhidas 23 estruturas ao todo, que foram dispostas em 6 classes. A direção preferencial de todas foi de NNE-SSW e de comprimento indo até no máximo aproximadamente 2,4 quilômetros porque englobavam melhor a análise conjunta com fotolineamentos e lineamentos geofísicos. O menor valor apresentando na malha amostral foi de 0,006 km enquanto o maior foi de 2,36 km. A amplitude de intervalo entre cada classe é de aproximadamente 0,428 km cada.

A tabela (Tabela 3) e gráficos a seguir mostram a frequência estatística dessas falhas, as classes de frequências calculadas e as quantidades de falha para cada classe e direção preferencial.

Tabela 3 - Tabela de frequência em comprimento das falhas da Homoclinal Curral por direção em quilômetros

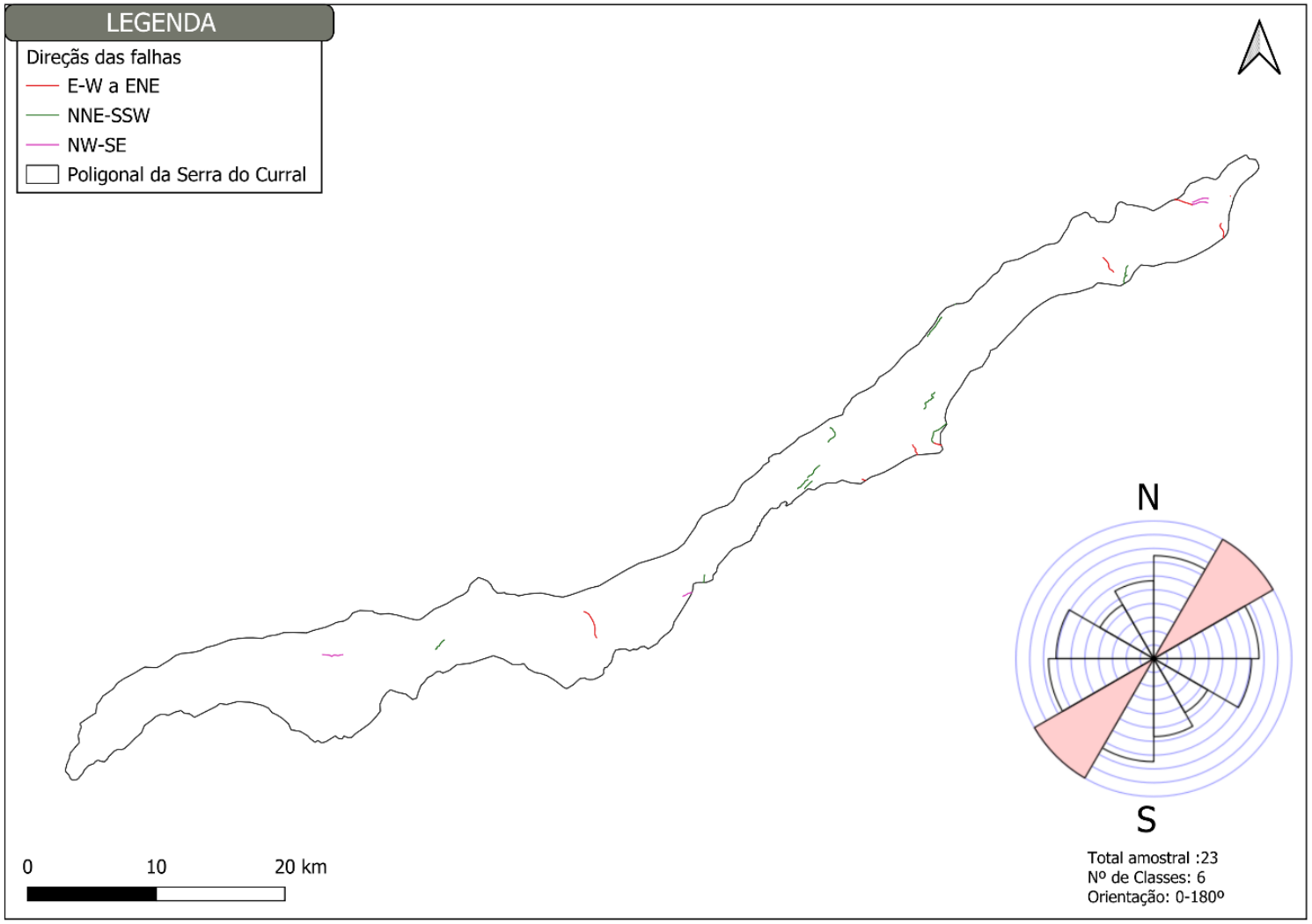
Análise de Frequência por Comprimento e Direção das Falhas da Homoclinal Curral						
Falhas NNE - SW						
Faixas por Comprimento (km)	0,00678 a 0,435	0,435 a 0,863	0,863 a 1,291	1,291 a 1,719	1,719 a 2,148	2,148 a 2,372
Quantidade	1.00	3.00	2.00	1.00	3.00	0.00
Frequência Relativa	4.35	13.04	8.70	4.35	13.04	0.00
Frequência Absoluta	4.35	17.39	26.09	30.43	43.48	43.48
Falhas NW-SE						
Faixas por Comprimento (km)	0,00678 a 0,435	0,435 a 0,863	0,863 a 1,291	1,291 a 1,719	1,719 a 2,148	2,148 a 2,372
Quantidade	3.00	1.00	2.00	2.00	0.00	1.00
Frequência Relativa	13.04	4.35	8.70	8.70	0.00	4.35
Frequência Absoluta	13.04	17.39	26.09	34.78	34.78	39.13
Falhas E-W a ENE						
Faixas por Comprimento (km)	0,00678 a 0,435	0,435 a 0,863	0,863 a 1,291	1,291 a 1,719	1,719 a 2,148	2,148 a 2,372
Quantidade	0.00	1.00	2.00	1.00	0.00	0.00
Frequência Relativa	0.00	4.35	8.70	4.35	0.00	0.00
Frequência Absoluta	0.00	4.35	13.04	17.39	17.39	17.39

Figura 8 - Histogramas de Frequência das Falhas Presentes na Homoclinal Curral nas Direções NNE-SSW; NW-SE e E-W a ENE conforme modelo geotectônico de Endo (2005; 2019b). A - Histograma de Frequência absoluta de todos as falhas pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas; B- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção E-W (cor vermelha)



A representação geoespacial das falhas presentes na Homoclinal Curral pode ser vista pela (Figura 7). A concentração das falhas cortando as camadas prevalece na porção central da Homoclinal Curral.

Figura 7- Mapa da Área de Estudo indicando as falhas analisadas: Vermelho referente a direção E-W a ENE; Verde a direção NNE-SSW; Rosa a direção NW-SE; Vermelho a direção E-W

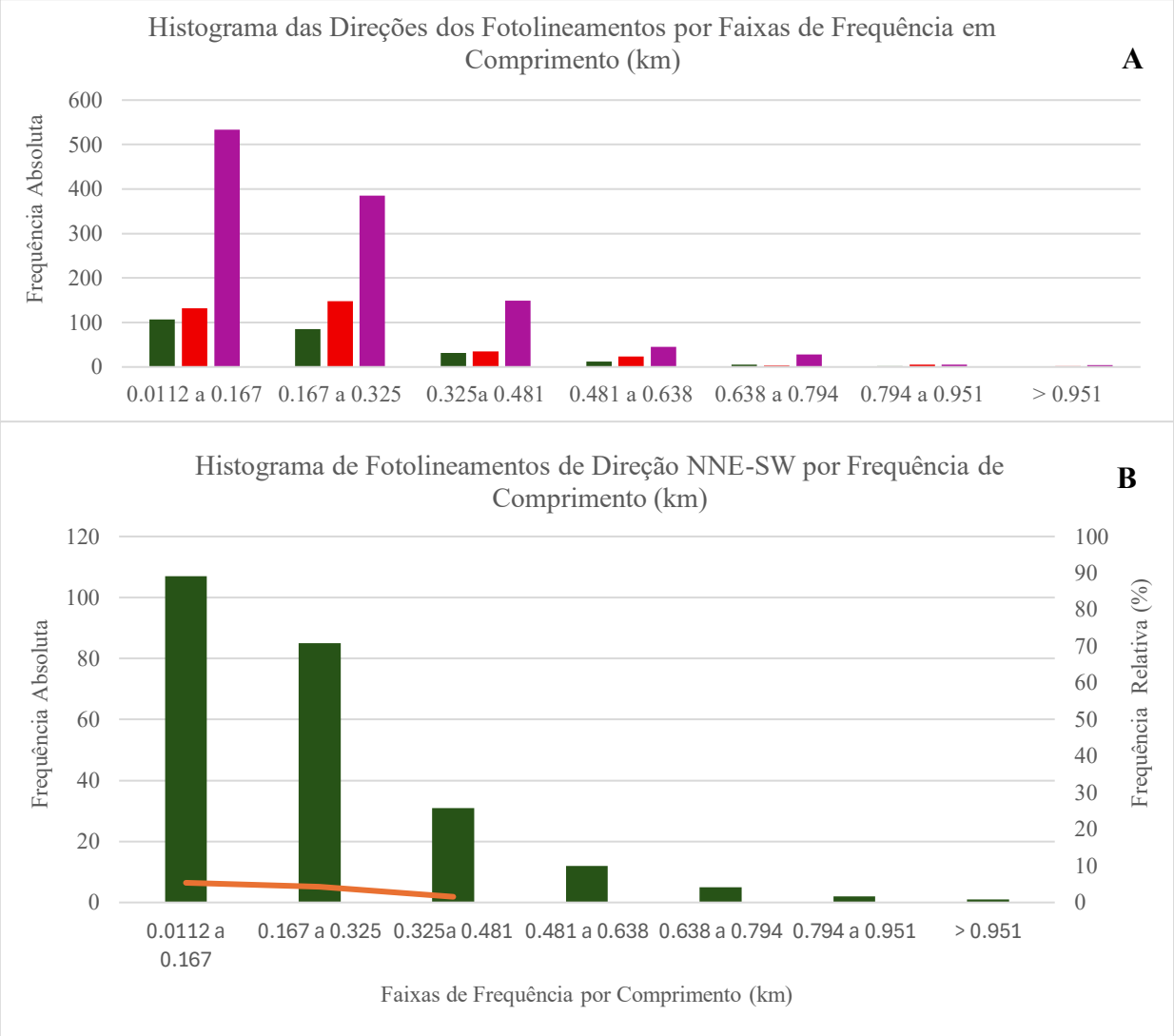


Já quanto aos fotolineamentos, foram analisados 1742 lineamentos que foram processamentos seguindo os mesmos princípios técnicos que foram processadas as falhas. A principal direção preferencial foi NW-SE, separados em 12 classes de frequência, com intervalo aplicado de 0.1567 km de diferença para cada intervalo. O menor valor encontrado foi de 0,011km enquanto o maior foi de 1,89 km. Abaixo, mostra a tabela, os histogramas e os mapas analisando conjuntamente as 3 famílias de direções e separadamente com suas respectivas taxas de frequência relativa quanto ao escopo amostral (Tabela 4, Figura 8, Figura 9, Figura 10).

Tabela 4 - Tabela de Frequência dos Fotolineamentos por Comprimento presentes na Homoclinal Curral segundo Sturges

Análise de Frequência por Comprimento e Direção dos Fotolineamentos da Homoclinal Curral							
Fotolineamentos NNE - SW							
Faixas por Comprimento (km)	0,0112 a 0,167	0,167 a 0,325	0,325a 0,481	0,481 a 0,638	0,638 a 0,794	0,794 a 0,951	> 0,951
Quantidade	107,000	85,000	31,000	12,000	5,000	2,000	1,000
Frequência Relativa	5,377	4,271	1,558	0,603	0,251	0,101	0,050
Frequência Acumulada	5,377	9,648	11,206	11,809	12,060	12,161	12,211
Fotolineamentos E-W a ENE							
Faixas por Comprimento (km)	0,0112 a 0,167	0,167 a 0,325	0,325a 0,481	0,481 a 0,638	0,638 a 0,794	0,794 a 0,951	> 0,951
Quantidade	112,000	127,000	30,000	20,000	3,000	5,000	0,000
Frequência Relativa	5,628	6,382	1,508	1,005	0,151	0,251	0,00
Frequência Acumulada	5,628	12,010	13,518	14,523	14,673	14,925	14,925
Fotolineamentos NW-SE							
Faixas por Comprimento (km)	0,0112 a 0,167	0,167 a 0,325	0,325a 0,481	0,481 a 0,638	0,638 a 0,794	0,794 a 0,951	> 0,951
Quantidade	553,000	407,000	154,000	49,000	28,000	5,000	6,000
Frequência Relativa	27,789	20,452	7,739	2,462	1,407	0,251	0,302
Frequência Acumulada	27,789	48,241	55,980	58,442	59,849	60,101	60,402

Figura 8 - Histogramas de Frequência dos Fotolineamentos Presentes do Homoclinal Curral nas Direções NNE-SSW; NW-SE e E-W a ENE conforme modelo geotectônico de Endo (2005; 2019b). A - Histograma de Frequência absoluta de todos os fotolineamentos pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas; B- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma em Frequência Absoluta e Relativa de todas as falhas na direção NW-SE (cor rosa).



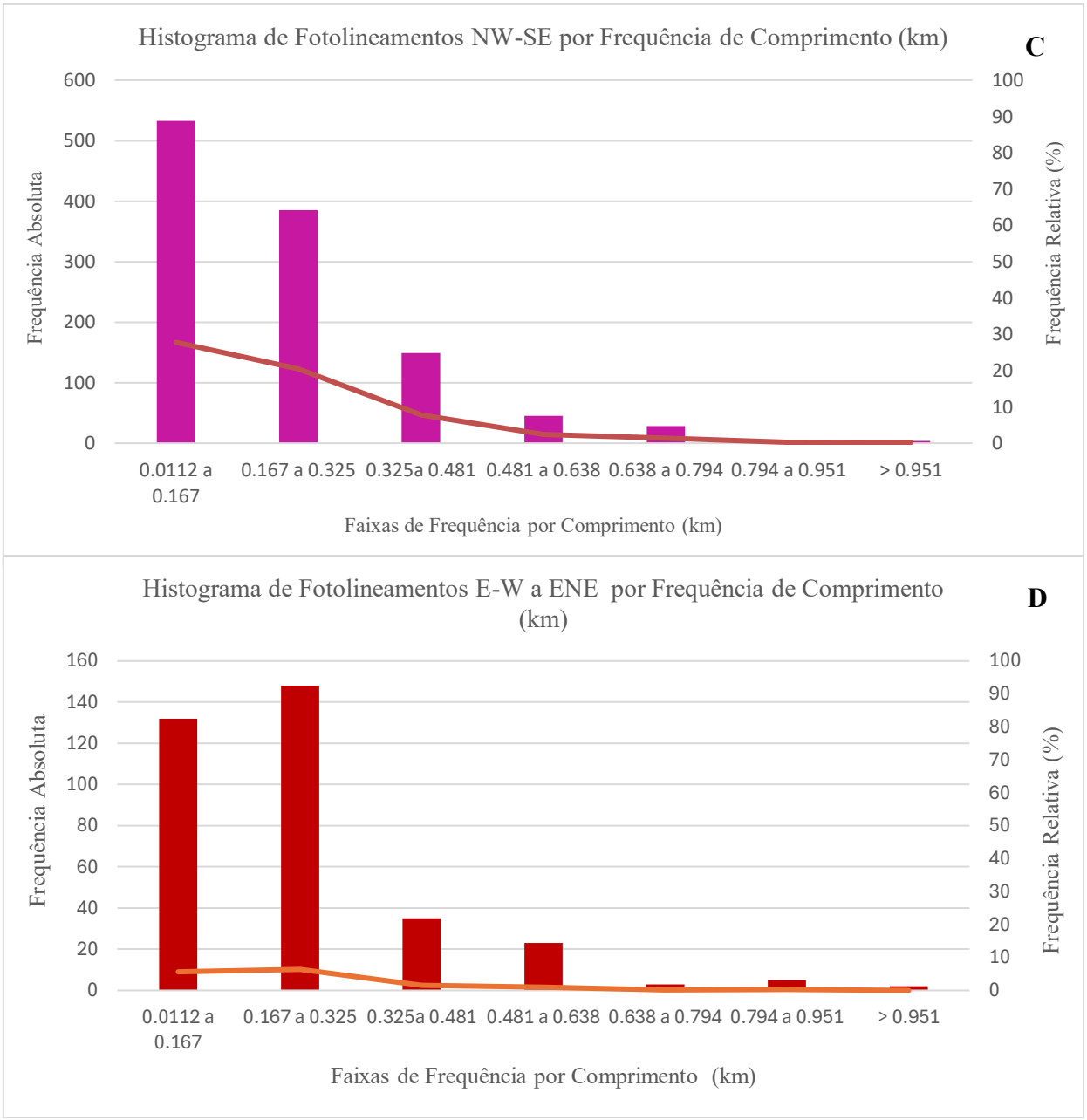

Histograma de Fotolineamentos NW-SE por Frequência de Comprimento (km)
C
Frequência Absoluta
Frequência Relativa (%)
600
500
400
300
200
100
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0112 a 0.167
0.167 a 0.325
0.325a 0.481
0.481 a 0.638
0.638 a 0.794
0.794 a 0.951
> 0.951
Faixas de Frequência por Comprimento (km)
Histograma de Fotolineamentos E-W a ENE por Frequência de Comprimento (km)
D
Frequência Absoluta
Frequência Relativa (%)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.0112 a 0.167
0.167 a 0.325
0.325a 0.481
0.481 a 0.638
0.638 a 0.794
0.794 a 0.951
> 0.951
Faixas de Frequência por Comprimento (km)

Figura 9**:** Disposição espacial dos fotolineamentos sobre a área de estudos em traços (rosa, vermelho e verde) sobrepostos a geologia e hipsometria.

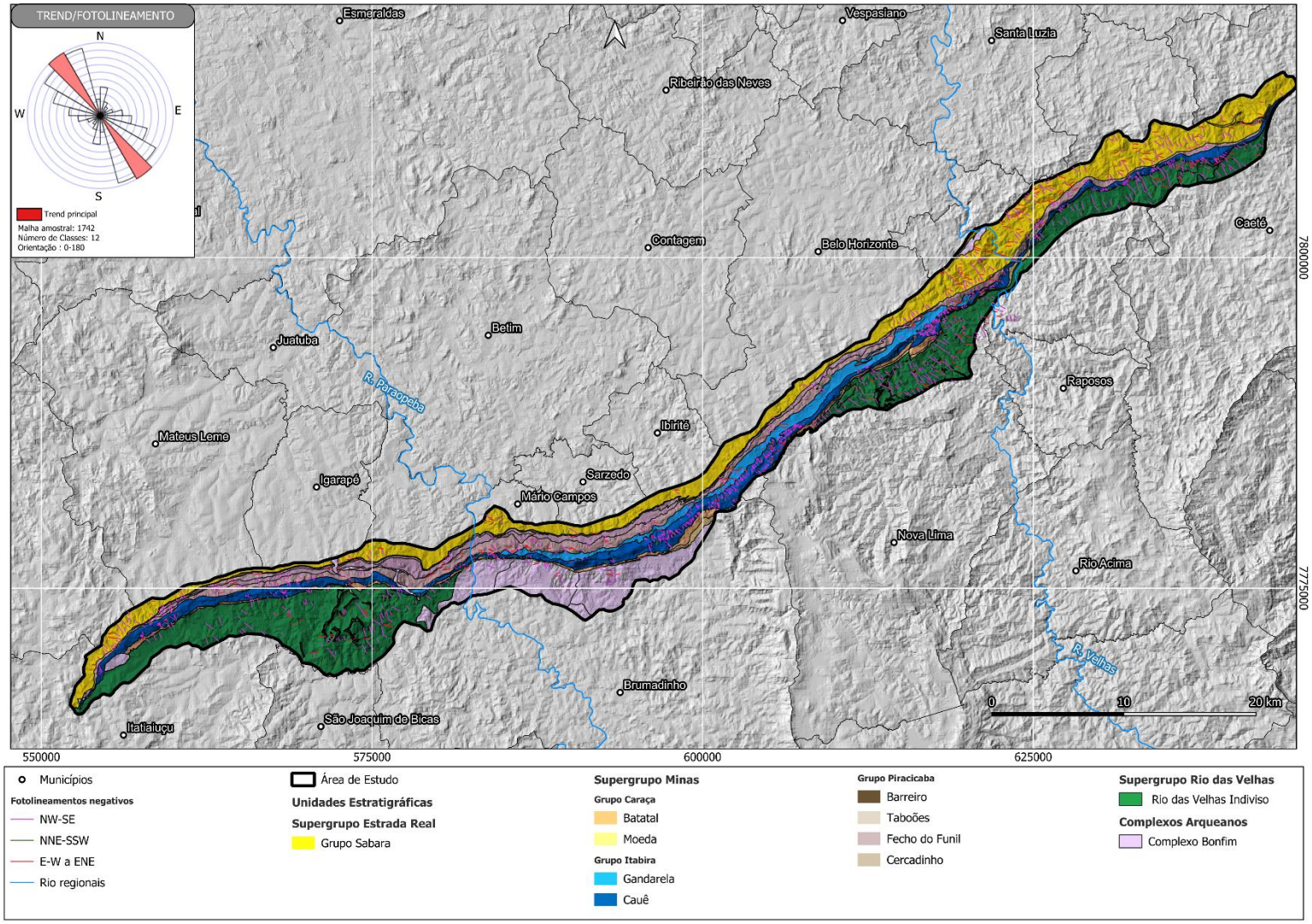
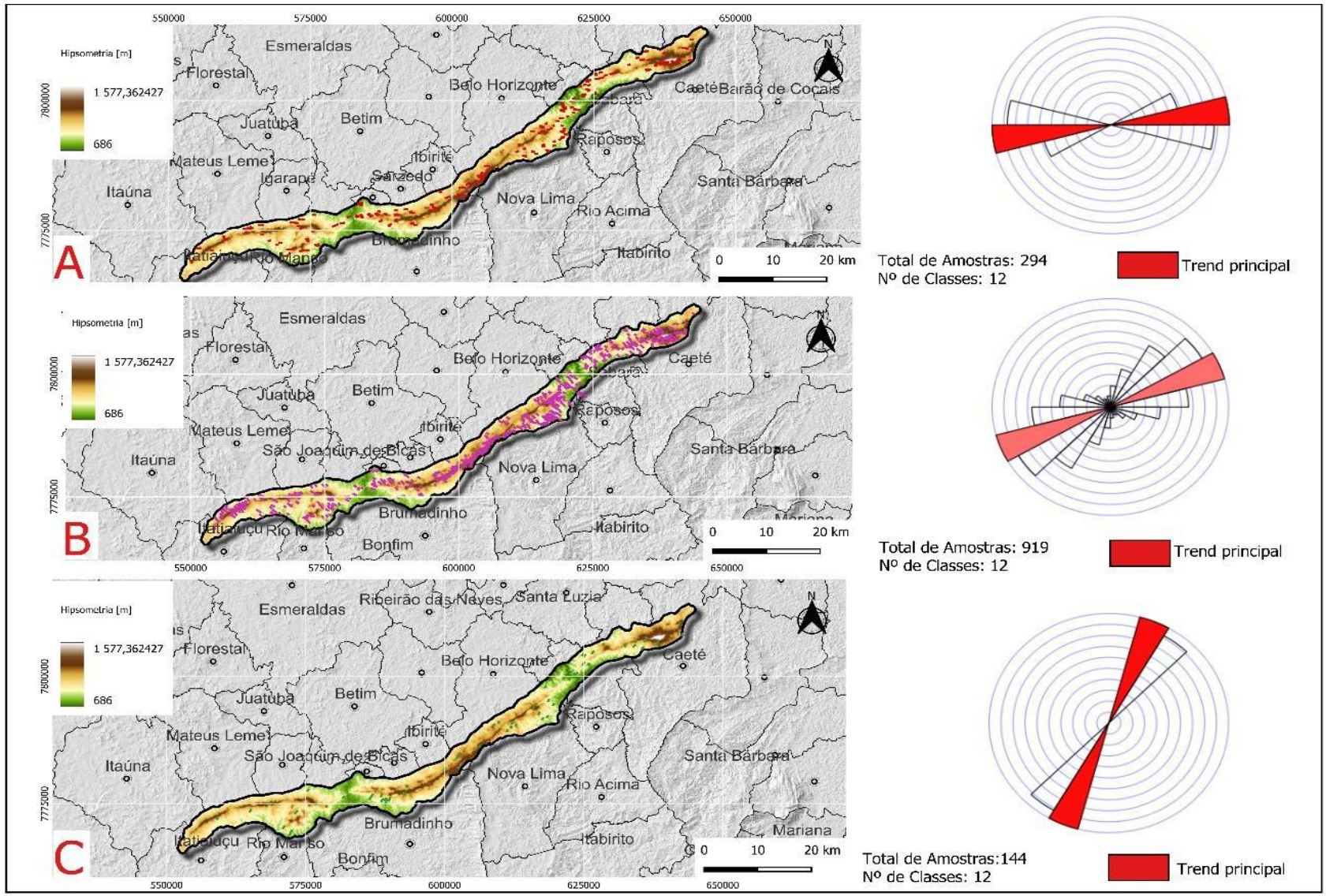
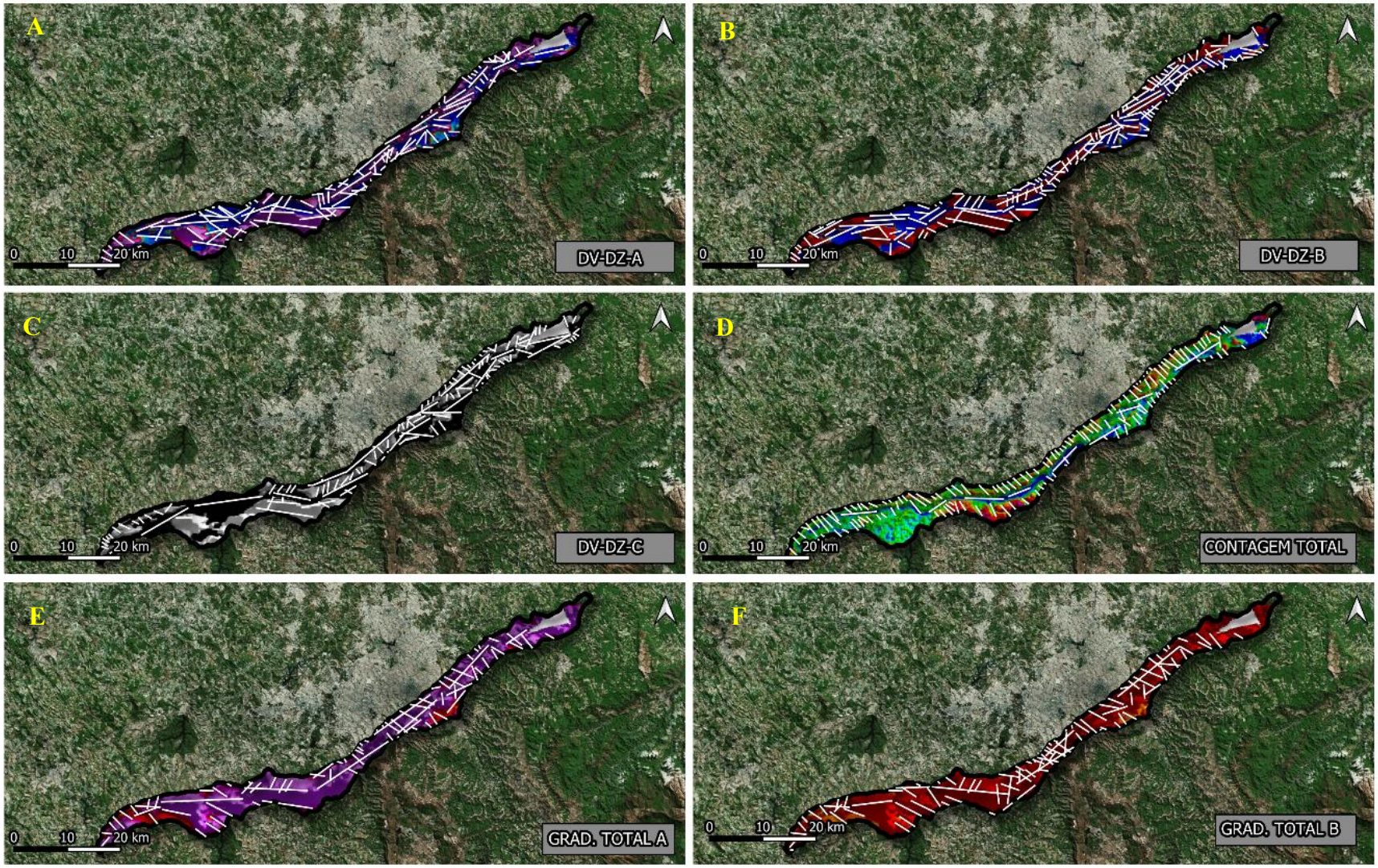


Figura 10 – Orientação dos fotolineamentos e faixas de frequência por direção NW-SE ; NNE-SSW; E- W



Quanto aos aerolineamentos geofísicos foram filtrados de acordo com as direções de esforços tectônicos presentes na bibliografia geológicas regional (Alkmim & Marshack,1998; Chemale *et. al*, 1994; Alkmim *et al*, 2007), para se permitir primeiro uma análise regional do comportamento desses lineamentos sobre todas as falhas mapeadas dentro da Homoclinal Curral (Endo *et al*., 2020), chegando ao todo de 616 lineamentos, que foram reduzido para 361 lineamentos aerogeofísicos, usando seis mapas base processados no *Oasis Montaj* : Contagem Total, Grandiente Total (A e B), Dv-Dz-A, Dv-Dz-B, Dv-Dz-C.(Figura 11)

Figura 11 – Mapas aerogeofísicos referentes a área de estudo**: A –** DV-DZ – A; **B**- DV-DZ-B; **C**- DV-DZ-C; D- Contagem Total; Gradiente Total A Contagem Total; Gradiente Total A



Estes lineamentos geofísicos foram filtrados em 10 classes de frequências, com mínimo 0,009 km, máximo de 2,99 km, com amplitude de intervalo de 0,31 km. A Tabela 5 e

Figura **12**, mostram os intervalos aplicados e a quantidade de elementos em cada faixa.

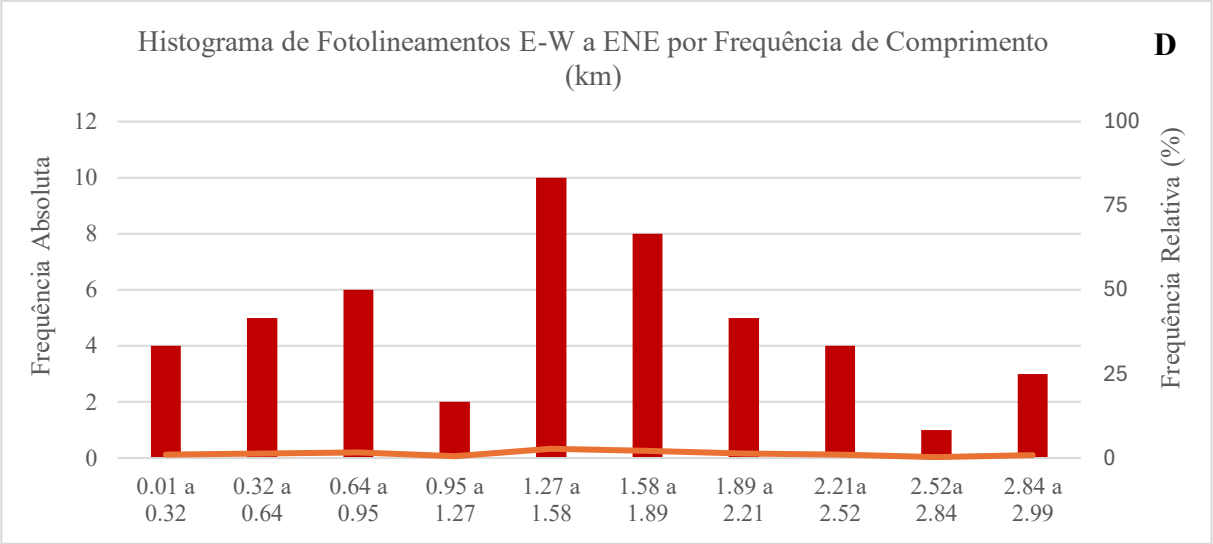
Tabela 5 – Tabela de Análise de Frequência por Comprimento e Direção dos Lineamentos Aerogeofísicos da Homoclinal Curral por Sturges

Análise de Frequência por Comprimento e Direção dos Lineamentos Aerogeofísicos da Homoclinal Curral										
Lineamentos Aerogeofísicos NNE - SW										
Faixas por Comprimento (km)	0.01 a 0.32	0.32 a 0.64	0.64 a 0.95	0.95 a 1.27	1.27 a 1.58	1.58 a 1.89	1.89 a 2.21	2.21 a 2.52	2.52 a 2.84	2.84 a 3.00
Quantidade	3.00	2.00	1.00	2.00	9.00	6.00	6.00	5.00	1.00	3.00
Frequência Relativa	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01
Frequência Acumulada	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11
Lineamentos Aerogeofísicos NW-SE										
Faixas por Comprimento (km)	0.01 a 0.32	0.32 a 0.64	0.64 a 0.95	0.95 a 1.27	1.27 a 1.58	1.58 a 1.89	1.89 a 2.21	2.21 a 2.52	2.52 a 2.84	2.84 a 3.00
Quantidade	4.00	5.00	6.00	2.00	10.00	8.00	5.00	4.00	1.00	3.00
Frequência Relativa	1.11	1.39	1.66	0.55	2.77	2.22	1.39	1.11	0.28	0.83
Frequência Acumulada	1.11	2.50	4.16	4.71	7.48	9.70	11.08	12.19	12.47	13.30
Lineamentos Aerogeofísicos E-W a ENE										
Faixas por Comprimento (km)	0.01 a 0.32	0.32 a 0.64	0.64 a 0.95	0.95 a 1.27	1.27 a 1.58	1.58 a 1.89	1.89 a 2.21	2.21 a 2.52	2.52 a 2.84	2.84 a 3.00
Quantidade	16.00	39.00	37.00	53.00	46.00	38.00	34.00	9.00	0.00	3.00
Frequência Relativa	4.43	10.80	10.25	14.68	12.74	10.53	9.42	2.49	0.00	0.83
Frequência Acumulada	4.43	15 .24	25.49	40.17	52.91	63.44	72.85	75.35	75.35	76.18

Fonte: Autoria Própria (2026)

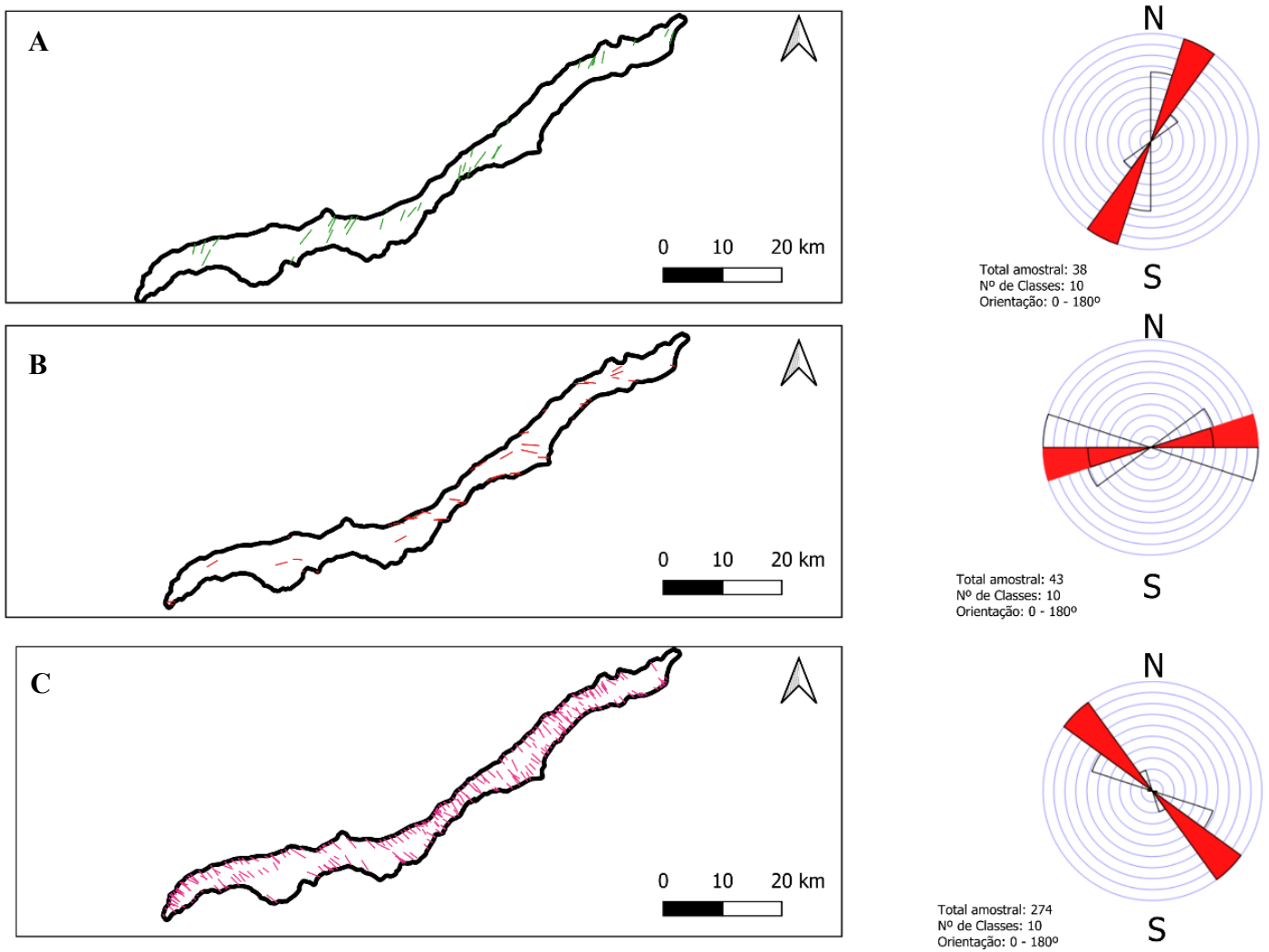
Figura 12 – Histograma dos Lineamentos Geofísicos Traçados – **A** – Histograma de Frequência absoluta de todos os lineamentos aerogeofísicos pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas. B – Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE





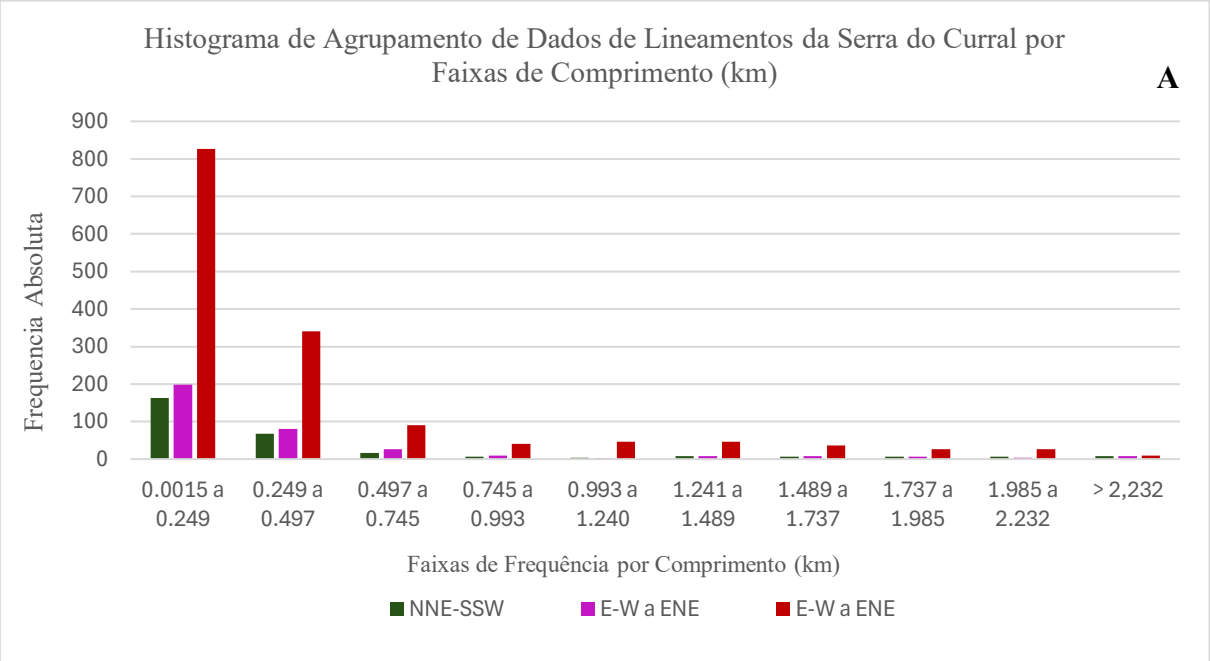
É possível observar separadamente, que os lineamentos geofísicos E-W a ENE(**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) se concentram sobre as falhas de empurrão e os contatos geológicos presentes na Homoclinal Curral, porém existe um pequeno espaço vacante na repartição central. Os lineamentos NW-SE, cortam de forma corrente a essas feições estruturais e estão bem distribuídos ao longo de a área de estudo. Por sua vez, os lineamentos NNE-SW estão distribuídos ao longo corpo de extensão, porém escassos. A maior concentração desses lineamentos é em sentido NW-SE, e é visível, uma segmentação regional em 5 porções por partes desses lineamentos e alguns destes possuem o trend parecidos com as falhas de empurrão presentes na porção centro-leste da Homoclinal Curral. Agora, quando analisados conjuntamente os lineamentos E-W a ENE e NW-SE, percebe-se um adensamento preferencial nas porções próximas aos cursos d'água do R. Paraopeba e do Rio das Velhas. Os lineamentos NNE-SSW não sofreram drástica diminuição amostral significativa quando comparado aos lineamentos E-W a ENE, porque em suma maioria apresentam cumprimento parecido ao parâmetro estatístico estabelecido. Ademais apresentam-se com *trend* parecido as falhas filtradas na porção centro leste da Homoclinal Curral conforme já supracitado. Os lineamentos NW-SE se mantém ao longo de toda área de extensão, com exceção área à margem direita do R. Paraopeba e na extremidade leste, próximo ao sinclinal Piedade.

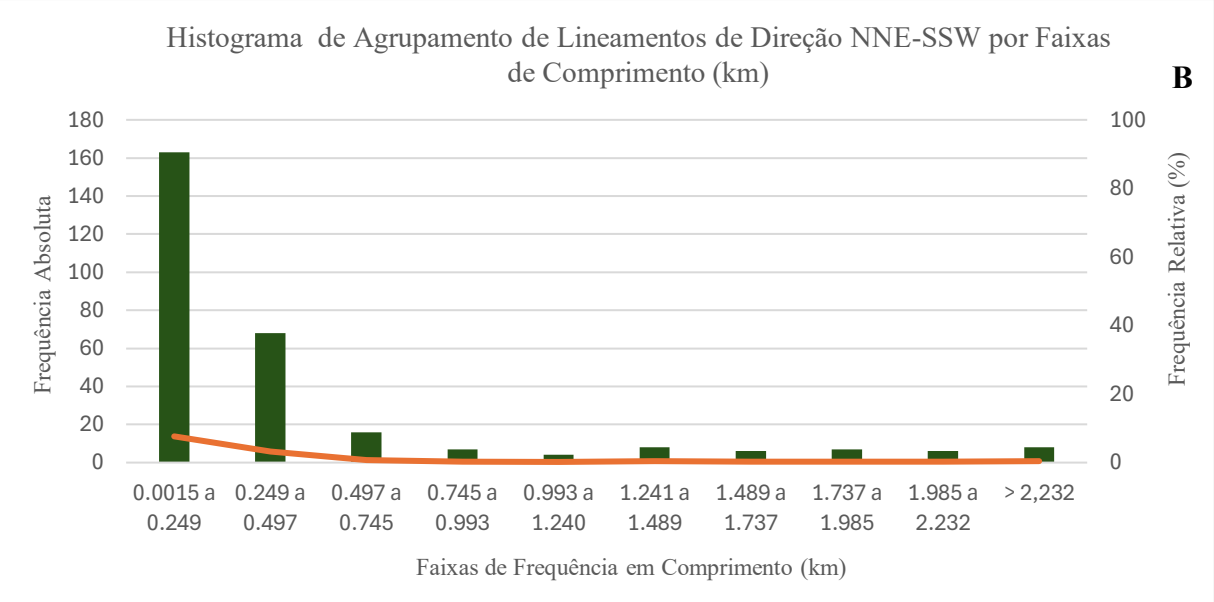
Figura 13- Mapa do Lineamentos Aerogeofísicos separados em 3 direções ao longo do Homoclinal Curral: A – Lineamentos Aerogeofísicos NNE-SSW ; B- Lineamentos Aerogeofísicos E-W a ENE; C- Lineamentos Aerogeofísicos NW-SE

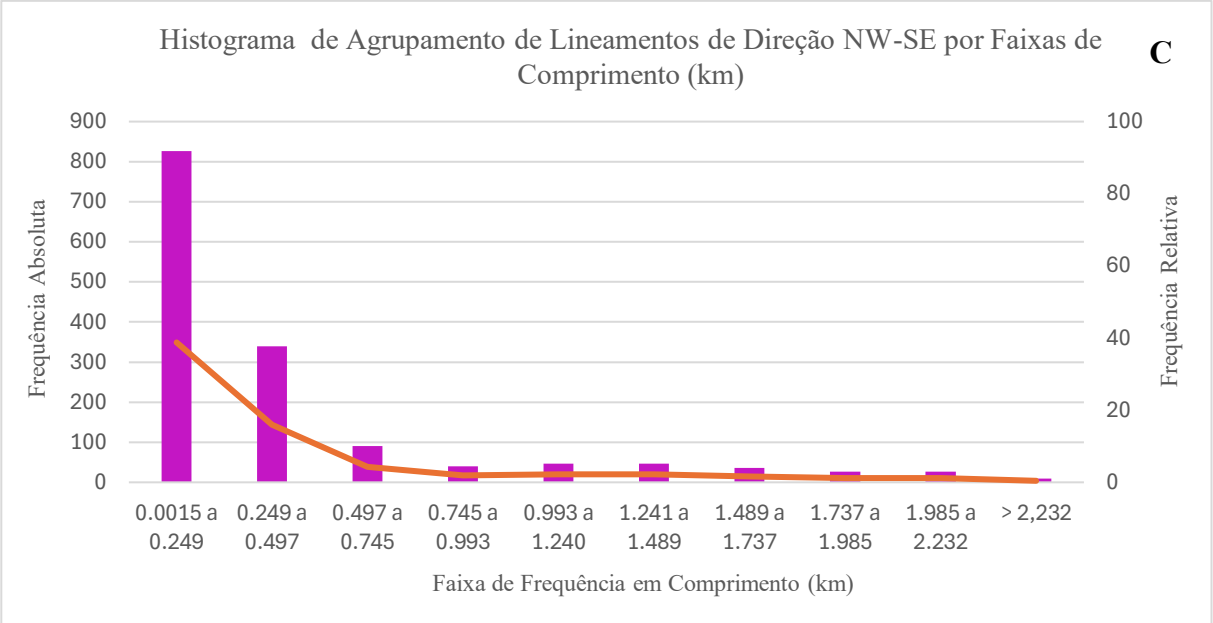


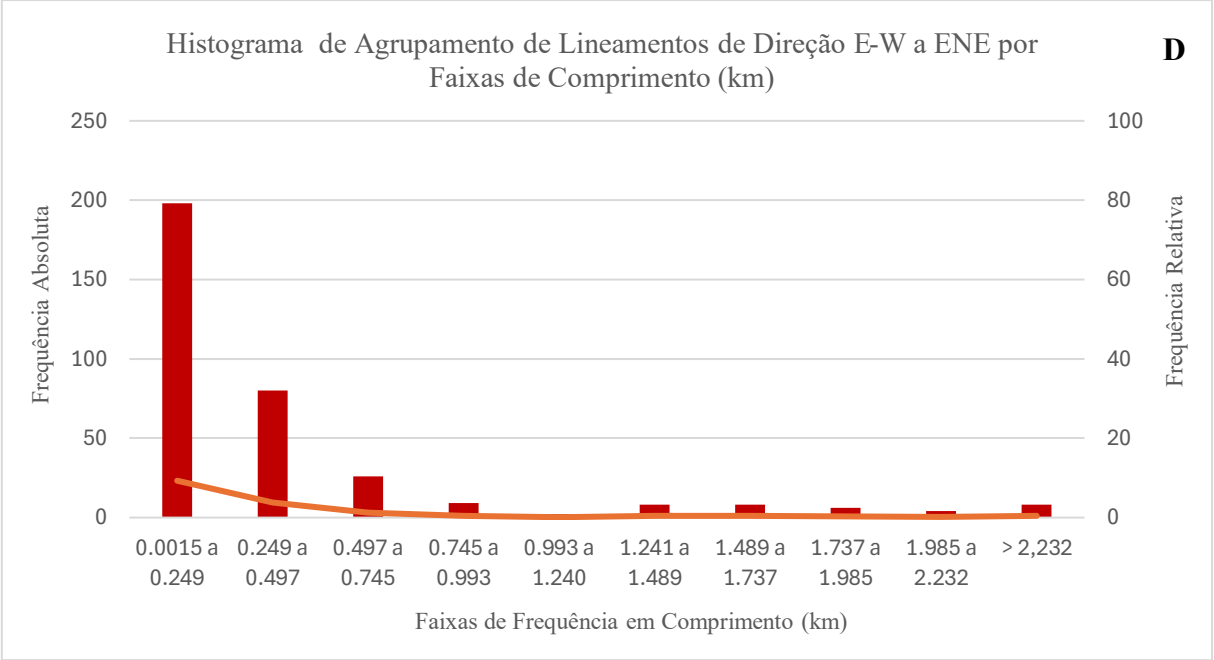
Agora quando se agrupa estatisticamente os lineamentos, as falhas transversais com os aerolineamentos geofísicos conjuntamente, obtém-se uma malha amostral de 2130 estruturas, que se distribuem em 10 classes de frequências. O mínimo observado foi de 0,0015km enquanto o máximo foi de 2,998. A amplitude de intervalo aplicada foi de 0,248 km. É observado que 1807, ou 84,84% dos lineamentos concentram-se nas 3 primeiras faixas de frequência, enquanto somente 1,17% encontram-se na última faixa de frequência (> 2,232 km). Além disso, já é possível estabelecer algumas sugestões de esquematização estrutural regional, pelo princípio que se um lineamento, falha ou fotolineamento estão literalmente na mesma direção, podendo ser interpretada como a mesma descontinuidade geológica (Figura **14**).

Figura 14 – Histograma dos Lineamentos Geofísicos Traçados – A – Histograma de Frequência absoluta de todos os lineamentos (falhas, fotolineamentos, lineamentos aerogeofísicos) pelas faixas de frequências calculadas por Sturges em todas as direções analisadas. B – Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NNE-SSW (cor verde); C- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE (cor rosa); D- Histograma de Frequência absoluta e relativa na direção NW-SE






Histograma de Agrupamento de Lineamentos de Direção NW-SE por Faixas de Comprimento (km)
C
Frequência Absoluta
Frequência Relativa
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
100
80
60
40
20
0
0.0015 a 0.249
0.249 a 0.497
0.497 a 0.745
0.745 a 0.993
0.993 a 1.240
1.241 a 1.489
1.489 a 1.737
1.737 a 1.985
1.985 a 2.232
> 2,232
Faixa de Frequência em Comprimento (km)

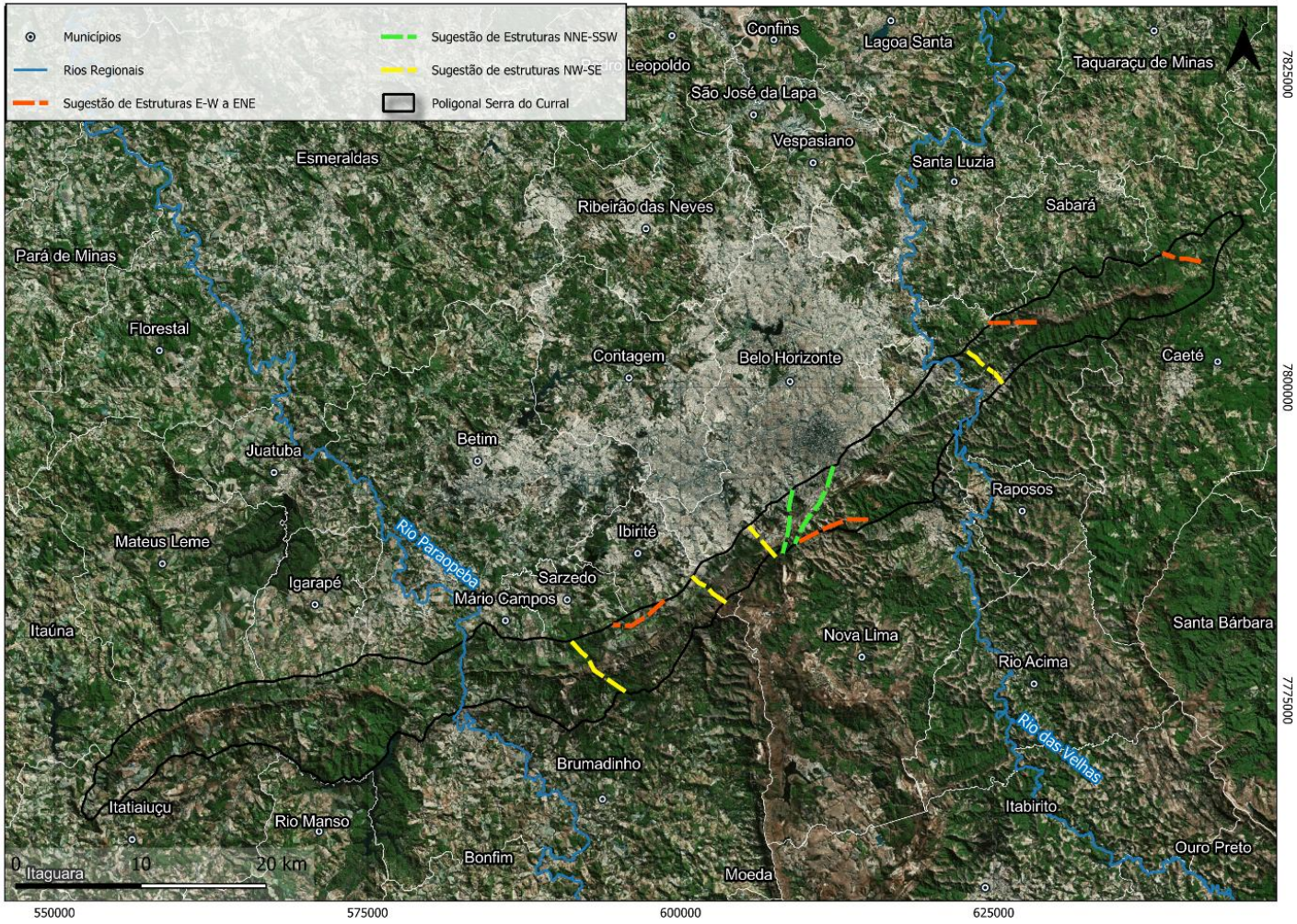

Histograma de Agrupamento de Lineamentos de Direção E-W a ENE por Faixas de Comprimento (km)
D
Frequência Absoluta
Frequência Relativa
250
200
150
100
50
0
100
80
60
40
20
0
0.0015 a 0.249
0.249 a 0.497
0.497 a 0.745
0.745 a 0.993
0.993 a 1.240
1.241 a 1.489
1.489 a 1.737
1.737 a 1.985
1.985 a 2.232
> 2,232
Faixas de Frequência em Comprimento (km)

Comparando a disposição espacial dos fotolineamentos, lineamentos aerogeofísicos e falhas regionais, obtêm-se 3 alumbramentos de divisão estrutural regional analisando a Homoclinal Curral inteira (Figura 15):

- **Direção E-W a ENE:** é sugerível a adesão de duas pequenas regiões na porção central que são seccionam as bordas da área.
- **Direção NNE-SSW:** é possível observar e supor a repartição de locais que são onde as falhas e os lineamentos geofísicos possuem mesmo trend dito anteriormente ao longo do capítulo dessa monografia.
- **Direção NW-SE:** Alvitra-se a segmentação em 4 porções na porção central, pois os lineamentos geofísicos se estendem de uma borda perimetral a outra dentro do Homoclinal Curral.

A diferença entre a presença de estruturas em diferentes direções, podem indicar assinalar o comportamento regional e os eventos decorrentes no Quadrilátero, quanto a reativações das falhas e estruturas secundárias, mas para hidrogeologia, podem indicar um fluxo anisotrópico, do qual as falhas indicam fluxo regional enquanto que os lineamentos podem funcionar como conexões transversais entre unidades e estruturas, como condutos preferenciais, barreiras hidráulicas, estruturas compartimentadoras,zonas de recarga e descarga,

Figura 15 – Proposição de divisão da presença de descontinuidades estruturas no Homoclinal Curral: Vermelho é a sugestão de compartimentação E-W a ENE ; Verde-claro é a sugestão de estruturas NNE-SSW; Amarelo é a sugestão de estruturas NW-SE



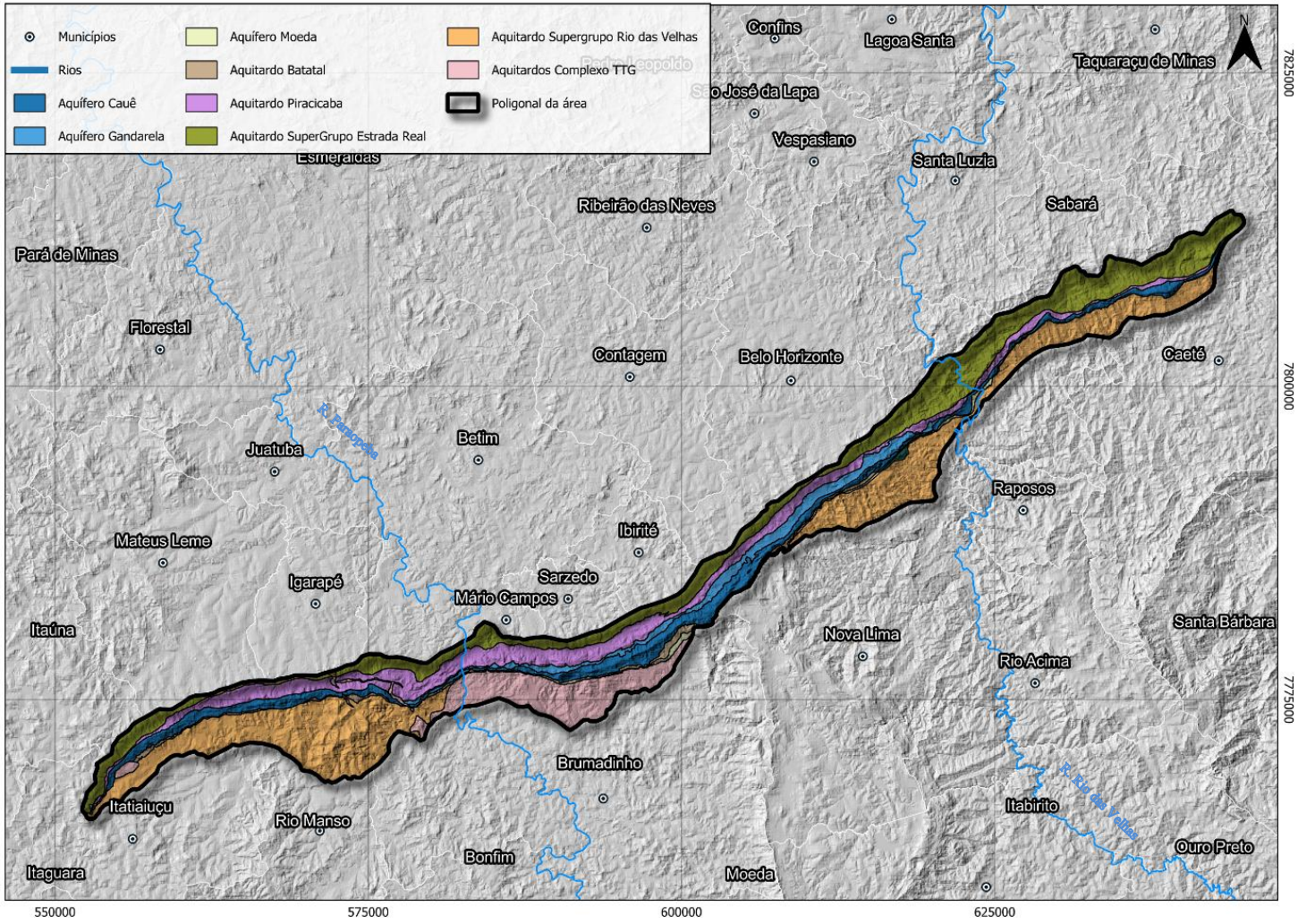
5.2 Caracterização Hidrogeológica

A disposição das unidades hidrogeológicas regionais foi regimentada nessa monografia de acordo com os trabalhos propostos por Mourão (2007), Magalhães (2023), Andrade (2023) Zupo (2024), Ladeira (2025) e Vidal (2025). Dessa forma, o Homoclinal Curral contém 8 unidades hidrogeológicas onde segmentam-se em 4 unidades aquíferas e 4 não aquíferas. As unidades estão presentes dentro do mapa contido na (Tabela 6). As unidades aquíferas são do tipo fissurais (Moeda), Cárstico (Gandarela) e granular/cárstico (Cauê/Gandarela) enquanto as unidades não aquíferas configuram-se como unidades de contexto fissural. A área sobre a porcentagem total ao longo de todo Homoclinal Curral está disposta dentro da (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 6 - Caracterização e Área Total de cada unidade hidrogeológica dentro do Homoclinal Curral

Caracterização e Área Total de cada unidade hidrogeológica dentro do Homoclinal Curral				
Unidade Hidrogeológica	**Tipologia**	**Litologia**	**Área (km²) dentro Homoclinal Curral**	**% sobre total da Área da Homoclinal Curral**
Aquitardo Bonfim	Fissural	Granitóides/ Gnaisses	52.63	9.97
Aquitardo Nova Lima - Supergrupo Rio das Velhas	Fissural	Xistos	165.278	31.3
Aquitardo Batatal	Fissural	Filitos	10.79	2.04
Aquífero Cauê	Granular/ Cárstico	Itabiritos	58.34	11.05
Aquífero Gandarela	Cárstico/ Fissural	Dolomitos, Calcários	24.03	4.55
Aquífero Moeda	Fissural	Quartzitos	5.57	1.05
Aquitardo Piracicaba	Fissural	Quartzitos, xistos, filitos	77.88	14.75
Aquitardo Sabará- Supergrupo Estrada Real	Fissural	Quartzitos	135.07	25.58

Figura 16 – Mapa de unidades aquíferas presentes no Homoclinal Curral (Adaptado Vidal 2025) com a presença dos principais rios regionais: R. Paraopeba (esquerda); R. das Velhas (direita)



Os aquitardos do Complexo TTG (Complexo Bonfim) são de caráter fissural e anisotrópico, são formados por granitóides e estratos gnáissicos do Complexo Bonfim (na área de estudos), e possuem baixo desempenho/potencial hidrogeológico de transmissão e armazenamento d´água regional, do qual a recarga é de 290, 3mm/ano.

Os Aquitardos Rio das Velhas, Piracicaba e Estrada Real, que se constituem como xistos, quartzitos e metassilttitos, possuem uma porosidade do tipo fissural, anisotrópicos, pouco produtivos (0,04 a 0,58 $m^3/h*m$) (Andrade, 2023), porém a depender do seu nível de fraturamento, podem se comportar como aquíferos localmente dentro do QF. (Magalhães,2023; Ladeira, 2025).

O Aquífero Moeda caracteriza-se por ser uma unidade aquífera livre/confinada, fissural, de caráter heterogêneo composta por quartzitos com baixas taxas de permeabilidade, porém com porosidade secundária acarreada por descontinuidade e fraturas. Todavia, mesmo com taxas altas de armazenamento, a explotação hídrica é diminuta, por causa da baixa condutividade hidráulica (Zupo, 2024).

O Aquitardo Batatal, por sua vez é formado por filitos, com baixa permeabilidade, que dispõem regionalmente como uma barreira hidráulica, entre os aquíferos Cauê e Gandarela de sua incapacidade de transmissividade, apesar das altas capacidades de armazenamento (Bertachini *et al.*, 2012).

O Aquífero Cauê, é a unidade mais produtiva macrorregionalmente do Qfee, devido a sua composição litoestratigráfica de formações ferríferas como itabiritos (comum, dolomíticos, anfibolíticos) e hematita (Rosiére & Chemale, 2013). É poroso, anisotrópico, com alta porosidade primária, de cárater fissural e granular (Zupo, 2024). Suas taxas as taxas de recarga estão entre 452,87 e 485,22 mm/ano.

O Aquífero Gandarela é formado por rochas carbonáticas da Fm. Gandarela e possuí características mistas de aquíferos cársticos e fissurais, dispondo propriedades hidrodinâmicas provenientes dessa tipologia, como condutividade hidráulica variável a depender do grau de carstificação local (Andrade, 2023) e com taxas de recarga com percentuais entre 258,79 a 323,48 mm/ano.

O Aquitardo do Supergrupo Estrada Real é de caráter fissural composto pelo Gr. Sabará formado por pelitos e grauvacas, quartzitos (Almeida *et. al*, 2005) e é unidade de topo da área. Sua porosidade é tipo secundária, carreada pelo grau de fraturamento das rochas correspondentes, e assim varia espacialmente de aquífero livre a confinado. A recarga oscila entre 236,5 a 220,64 mm/ano.

De forma, a compreender a disponibilidade e zoneamento hídrico, e produtividade aquífera dentro da Serra do Curral, foram realizados os cálculos de capacidade específica de poços. Conforme supracitado no capítulo 4, a capacidade específica apresenta de forma termos numéricos, a eficiência de um poço em explotar água subterrânea com a menor rebaixamento possível. Logo, quanto maior for os percentuais de valor de capacidade específica que um poço tubular possuir, mais produtivo e eficiente ele é. A partir do cálculo, se tem as informações pontuais de cada poço, que adjuntos fornecem informações sobre a unidade aquífera que está localizado geoespacialmente. Assim, pode-se traçar isolinhas para os valores parecidos de poços e tendo por final um mapa de capacidade específica que segmenta e permite identificar as localidades dentro da área de estudo, em regiões em estágios de produtividade explotação hídrica, e por fim, complementando os entendimentos epistemológicos sobre a caracterização hidrogeológica regional.

No Apêndice 1, contém uma tabela que fornece os dados de identificação dos poços utilizados neste trabalho a partir de dados públicos do SIAM/SEMAD-IGAM. Nesse banco de dados contém informações de nível estático, dinâmico, vazão que foram aplicados para calcular a capacidade específica. Foram preferidos manter dados mais recentes de poços no range anual de 2015 a 2023 para melhor fidedignidade amostral histórica entre os dados utilizados no mapa de capacidade específica e no potenciométrico, que acarreou na diminuição de 480 poços para 116 poços.

Desses 116 poços (Tabela 7), adota-se os seguintes valores para essas características dos poços:

- **Nível Estático**: O mínimo é 0 m e o máximo 114,000 m, a média é de 35,695 m e mediana de 29,100 m.
- **Nível Dinâmico**: O mínimo é 0,500, máximo 210,510 m, média de 66,120 m e mediana de 57,560 m.
- **Vazão**: O mínimo de 0,550 m³/h, máximo de 235,000 m³/h, média 24,766 m e de mediana 7,000 m³/h.

Tabela 7: Estatística básica sobre as características de poços tubulares presentes no Homoclinal Curral

Características	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Nível Estático (m)	0.000	114.000	35.695	29.100
Nível Dinâmico (m)	0.500	210.510	66.120	57.560
Vazão (m³/h)	0.550	235.000	24.766	7.000

Para o objetivo específico desse trabalho foi realizado um estudo de frequência desses 116 poços quanto a capacidade específica, que foram classificados em 6 classes com variação

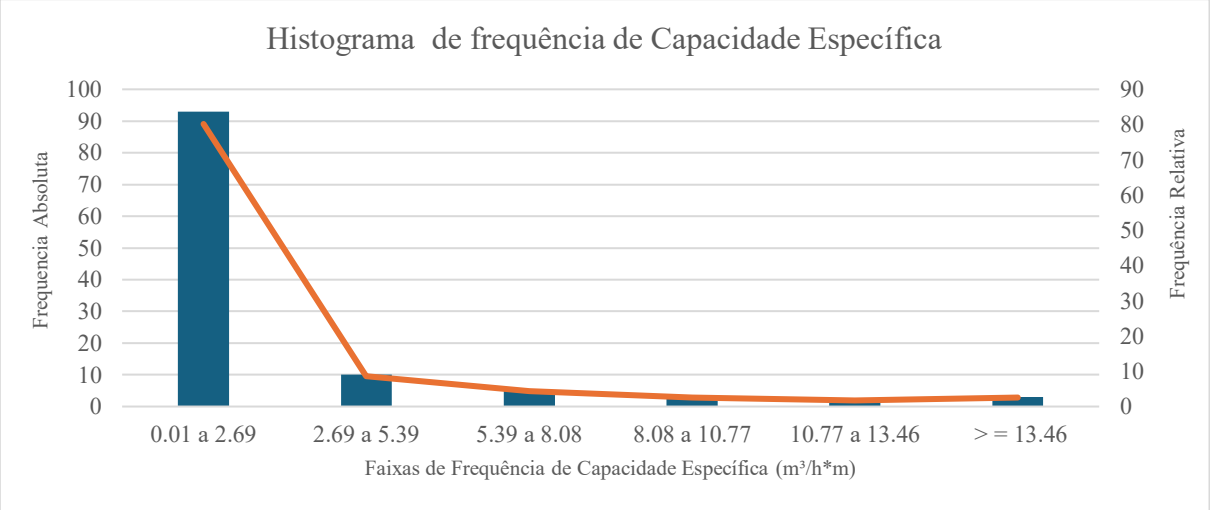
média de amplitude de intervalo como 2,69 m³/h*m segundo Sturges (1926); que pode ser observado na Tabela 8 e no histograma (Figura 17) infracitada. O mínimo é de 0,01 m³/h*m e o máximo é de 21,20 m³/h*m. A média entra na faixa de 0,48 m³/h*m a 19,07 m³/h*m, enquanto a mediana vai de 0,33 m³/h*m a 18,00 m³/h*m. Estatisticamente, aproximadamente 80,2% dos poços presentes na área possuem capacidade específica até 2, 69 m³/h*m, enquanto somente 2,59% possuem capacidade específica acima de 13,69 m³ /h*m.

Tabela 8 - Tabela de Frequência sobre a capacidade específica dos poços tubulares presentes no Homoclinal do Curral

Análise de Frequência de Capacidade Específica dos poços do Homoclinal Curral						
Capacidade Específica (Qs)						
Faixas de Frequência	**0.01 a 2.69**	**2.69 a 5.39**	**5.39 a 8.08**	**8.08 a 10.77**	**10.77 a 13.46**	**> = 13.46**
Quantidade de poços	93.00	10.00	5.00	3.00	2.00	3.00
Mínimo	0.01	3.00	6.25	8.85	11.78	18.00
Máximo	2.39	3.79	7.05	10.00	12.31	21.20
Média	0.48	3.79	6.73	9.50	12.04	19.07
Mediana	0.33	3.54	7.00	9.66	12.04	18.00
Frequência Relativa	80.17	8.62	4.31	2.59	1.72	2.59
Frequência Acumulada	80.17	88.79	93.10	95.69	97.41	100.00

Fonte: Autoria Própria (2026)

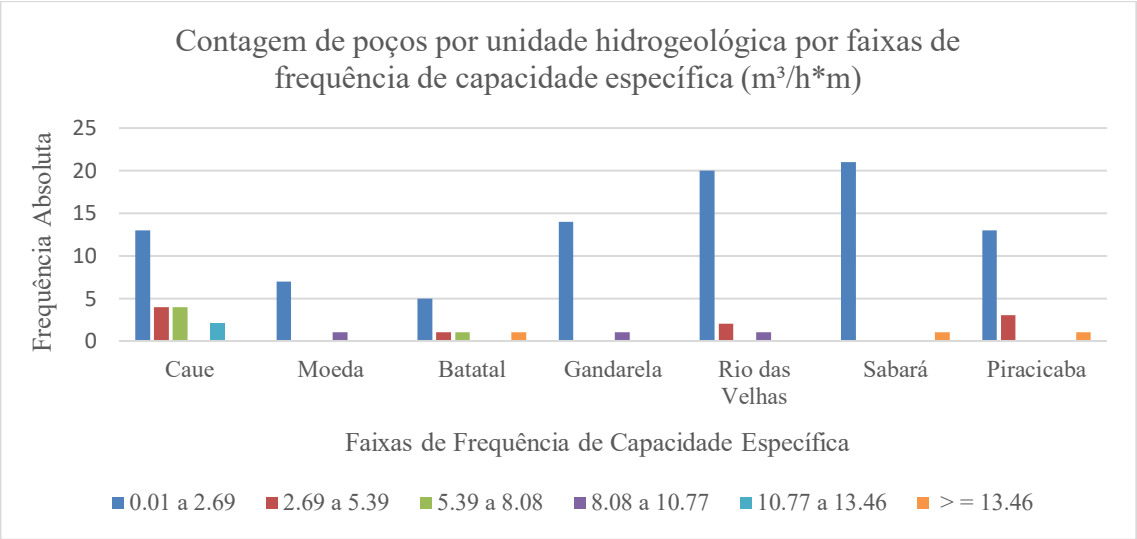
Figura 17 : Histograma dos valores de capacidade específica no Homoclinal Curral



Fonte: Autoria Própria (2026)

Além disso, foi analisado os dados de frequência de acordo com cada unidade hidrogeológica presente na área de estudo, realizando o inventário de quantitativo por unidade aquífera/não aquífera e estatística base de valores mínimo, médios, máximos dos percentuais de unidade presentes.

Figura 18 – Histograma de Frequência de Capacidade Específica por unidade hidrogeológica do Homoclinal Curral



Fonte: Autoria Própria (2026)

É observável, que os aquíferos com maiores quantidades de poços foram: Aquífero. Cauê, Aquitardo Estrada Real (Sabará) e Aquitardo Rio das Velhas. A grande concentração amostral de 88% poços apresenta com capacidade específica entre 0,005 m³/h*m a 5,65 m³/h*m. Porém a unidade com mais poços com capacidade específica acima de 5,0 m³/h*m é o Aquífero Cauê. (Figura 18 É possível observar a presença de outliers como os dispostos sobre as unidades hidrogeológicas como por exemplo os presentes no Aquitardo Batatal e Aquitardo Estada Real, que não foram considerados quando comparado aos valores das médias e medianas e o conhecimento epistemológico construído na bibliografia hidrogeológica regional de que são unidades com baixa potencialidade de condutividade hidráulica (Andrade, 2023) , com exceção pontual localmente do Aquitardo Batatal quando em contato com o Aquífero Gandarela e Aquífero Cauê (Bertachinni et al, 2012).

Em de prol de analisar o comportamento hídrico de acordo com os regimentos internacionais, os valores dos poços foram recategorizados e interpostos nos filtros de intervalos de acordo com a classificação de produtividade aquífera de Struckmeir e Margart,1995, pois valores de 5,0 m³/h*m já é considerado uma alta produtividade em si. A faixas de classificação de produtividade por tipo de aquífero (granular, fissural e carstíco) obtiveram os seguintes valores (Tabela 9):

Tabela 9 – Tabela de Contagem de poços por produtividade hídrica por unidade aquífera

Classe de Produtividade	Capacidade E. ($m^3/h*m$)	Quant	Moeda	Batatal	Cauê	Gandarela	Piracicaba	S- Estrada Real	N-Rio das Velhas
Geralmente Muito Baixo	<0,40	55,00	4,00	2,00	3,00	7,00	9,00	18,00	12,00
Geralmente Baixo	0,40 a 1,00	28,00	3,00	3,00	5,00	6,00	4,00	3,00	4,00
Moderado	1,00 a 2,00	6,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	3,00
Alto	2,00 a 4,00	10,00	0,00	0,00	3,00	1,00	3,00	0,00	3,00
Muito Alto	> 4,00	16,00	1,00	3,00	8,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: s Struckmeir anMargot (1995) / Diniz et al. 2012 (2026)

Logo, 28,45 % dos poços presentes são muito produtivos, e dentro essa contagem 8 poços contabilizados são do Aquífero Cauê, seguido pela Aquitardo Nova Lima- Rio das Velhas e Aquitardo Batatal, 7 e 3 poços com Q/s acima de 4,0 $m^3/h*m$, enquanto 71% dos poços apresentam produtividade baixa ou muito baixa, e liderando numericamente encontram-se 21 poços da Aquitardo Sabará Estrada Real e segundamente Aquitardo Rio das Velhas.

A seguir, os mapas (Figura 22;Figura 23) mostra a distribuição dos poços sobre unidades hidrogeológicas ao longo da serra com os calores de produtividades, mostrando geoespacialmente que a serra se segmenta da seguinte maneira: unidades produtivas apresentam-se no centro (Aquífero Cauê e Aquífero Gandarela) enquanto unidades pouco produtivas apresentam-se nas extremidades Aquitardo Estrada Real, Rio das Velhas e Aquitardo Piracicaba, mostrando um comportamento de zoneamento hídrico preferencialmente litológico.

Figura 19 – Mapa de Capacidade Específica e Produtividade Hídrica dos Poços ao longo do Homoclinal Curral nas faixas de 0,4 a 4,0 m³/h/h

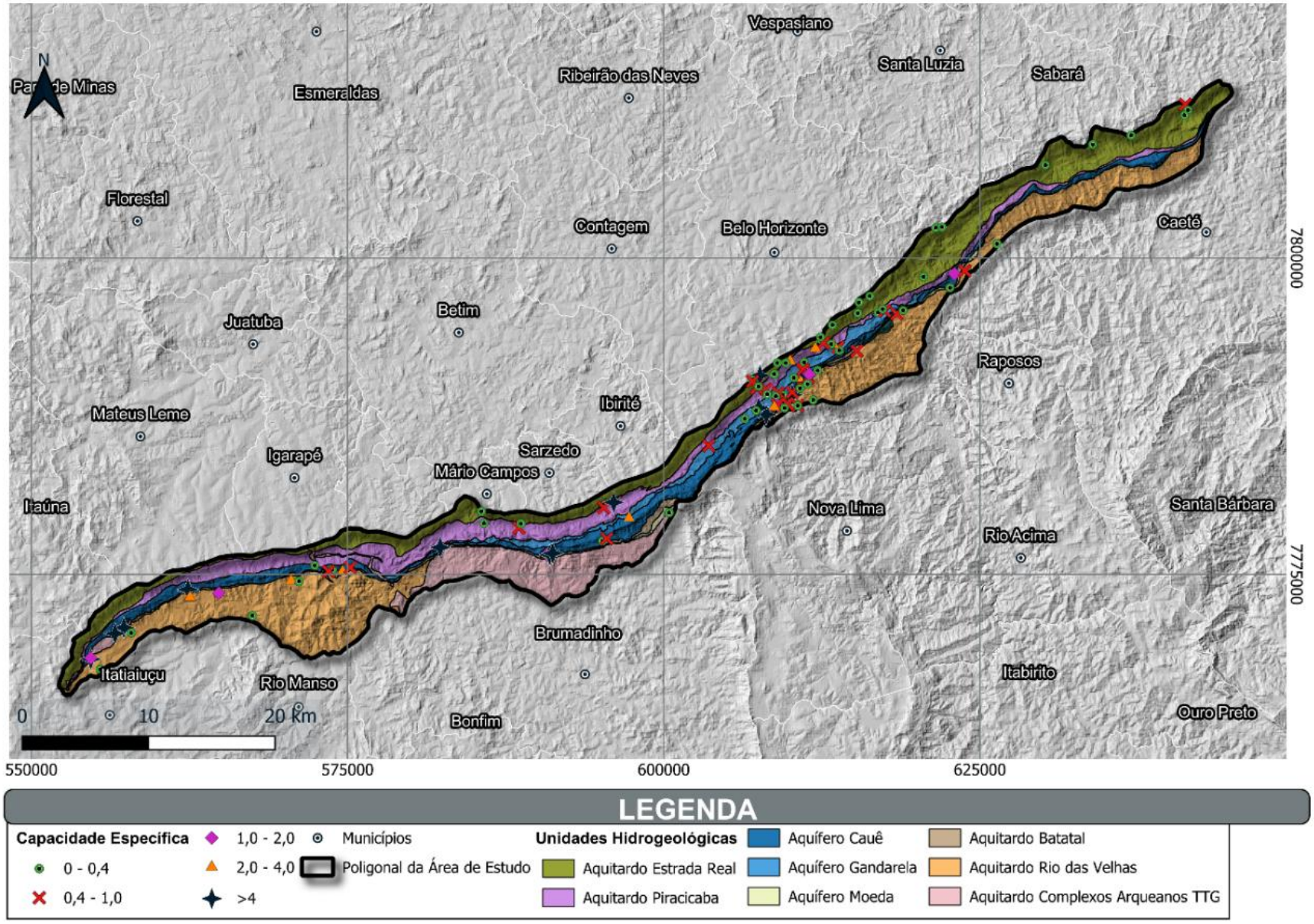
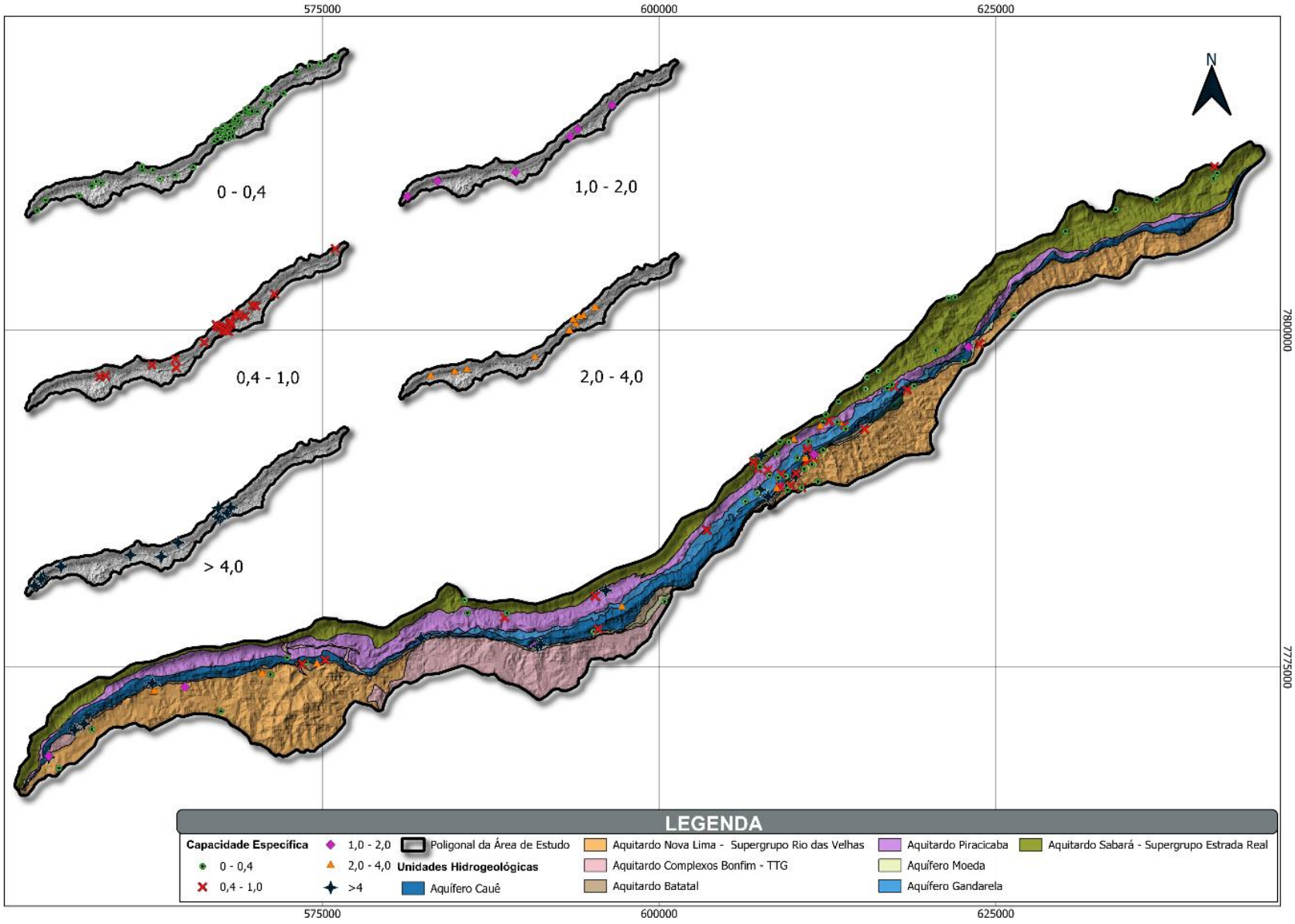


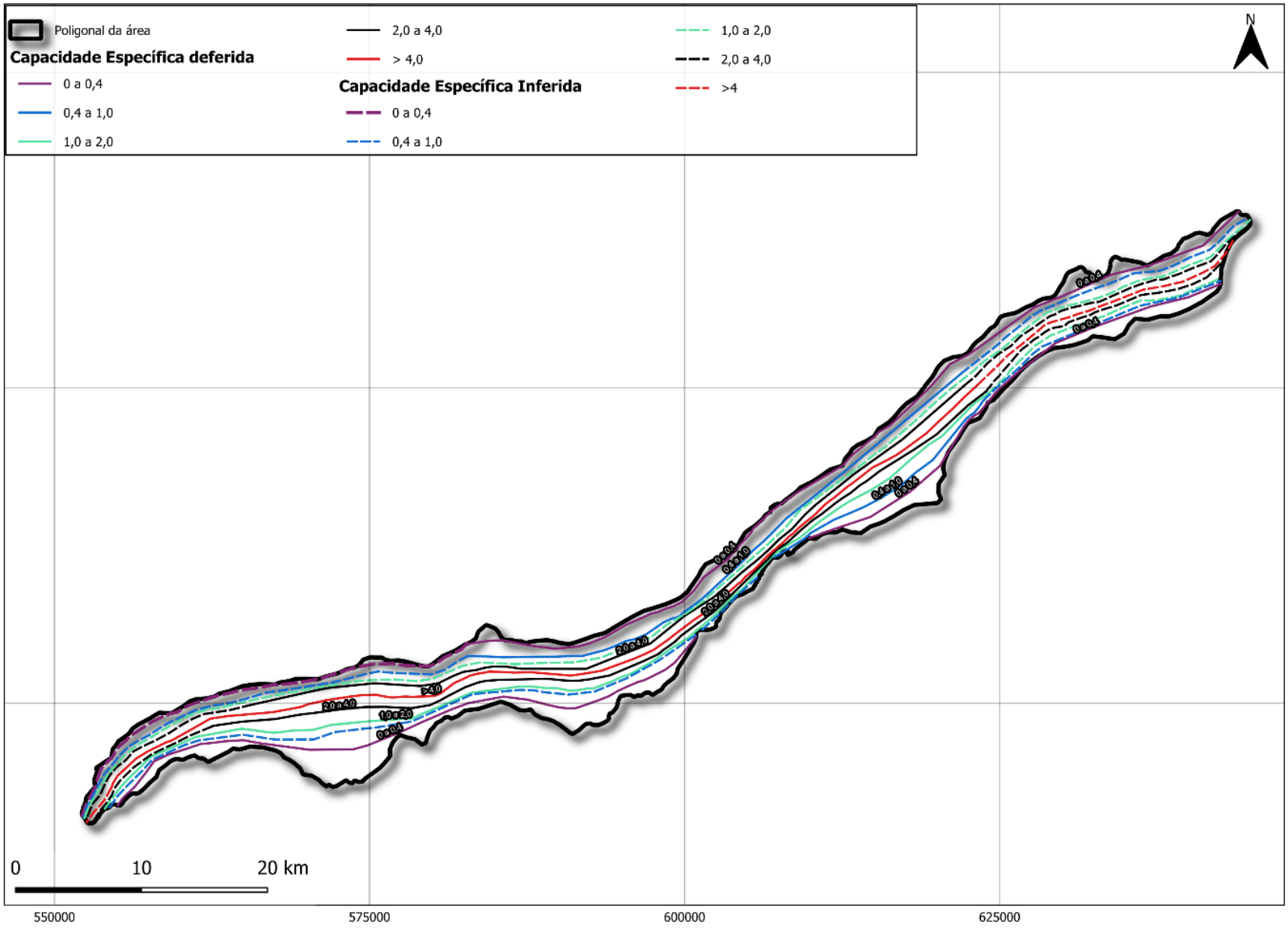
Figura 20- Mapa de Indicativo de Individualização dos Poços de Capacidade Especifica por produtividade hídricao ao longo do Homoclinal Curral. Faixas de Valores – Bola verde – 0 a 0,4 : X vermelho – 0,4 a 1,0 m³/h*m : Losango roxo: 1,0 a 2,0 m³/h*m; Triângulo- 2,0 a 4,0 m³/h*m; Cruz preta - > 4,0 m³/h*m



A partir dessa análise presente na Figura (Figura 23), desconsiderando os outliers comportamentais e interseccionando com os conhecimentos hidrogeológicos regionais, conseguiu-se realizar o mapa de isolinhas de capacidade específica da Serra do Curral (Figura 24).

Um adendo interpretativo implementado, foi que, as porções que não se encontravam poços, contudo, a hidrogeologia prevaleceu na interpretação do comportamento foram traçados isolinhas tracejadas, já enquanto, as linhas contínuas são constatações deferidas.

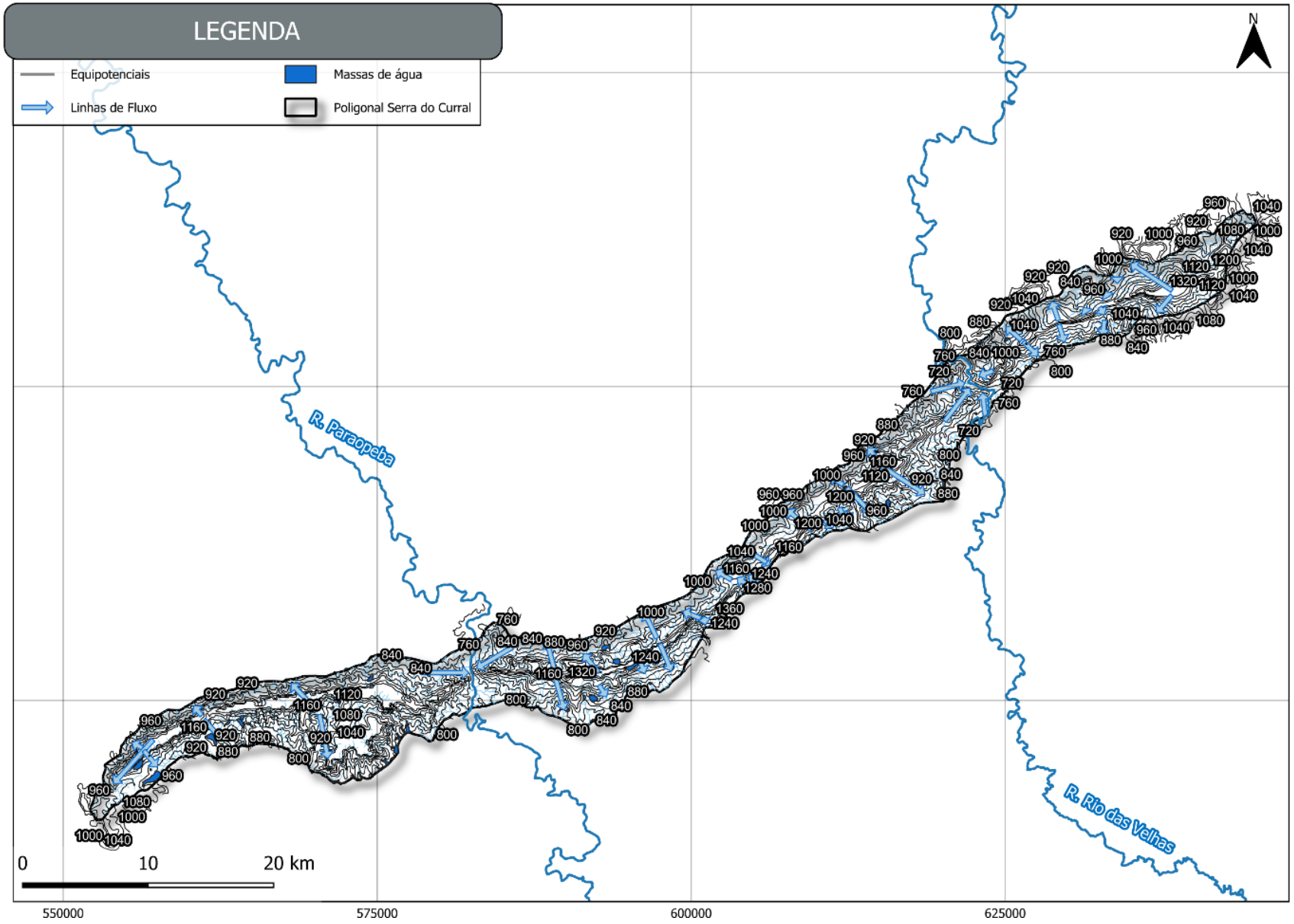
Figura 21- Mapa de isolinhas de capacidade específica de acordo com Struckmeir and Margat / Diniz et at. (2012)



A partir da coleta de dados coletados pelo Siam, dentro dos anos de 2015 a 2023 para a confecção do mapa potenciométrico regional. Contudo, em prol de pegar a dinâmica mais recente e fidedigna do fluxo d'água subterrâneo, foram permanecidos os dados mais recentes, de 2020 a 2023, mantendo assim 116 poços ao todo. Esse banco de dados continha informações sobre nível estático, nível dinâmico e cota topográfica. A subtração da cota topográfica pelo nível estático, forneceu as cargas hidráulicas pontuais dos poços presentes.

Esses dados coletados e transcritos em planilhas Excel, foram plotados dentro do QGIS através do complemento *Spreed Sheet Layer* no formato de pontos. A escolha de variação de cota mais adequada regionalmente foi de 40 em 40 metros para o mapa potenciométrico (Figura 22).

Figura 22- Mapa potenciométrico do Homoclinal Curral com linhas equipotenciais em branco com linhas de fluxo em azul claro indicando a direção de fluxo regional.



É interessante observar como se designa o fluxo regional dentro da Serra do Curral. Os maiores valores potenciométricos estão inseridas no interior da área e não nas extremidades. O fluxo designa-se de nas extremidades leste e oeste do HMC, em sentido aos cursos d'água regionais, como o R. Paraopeba ou R. Rio das Velhas, enquanto resto se encaminha-se para o centro onde se encontra com Sinclinal Moeda.

Além disso, a Serra do Curral possui divisores de águas nas cotas topográficas/hidrogeológicos que segmentam que as equipotenciais de baixo valor estejam presentes nas porções mais rebaixadas topograficamente enquanto nas porções altas, possuem as maiores cargas hidráulicas. O espaçamento entre as isolinhas é muito baixo na medida a partir da faixa 900, mostrando uma dinâmica de fluxo rápida indo para o centro/ centro-sul do Serra do Curral, enquanto nas bordas, as isolinhas se mostram mais afastadas.

Correlacionando com as hidroestratigrafia regional, observamos que está coerente visto a disposição geoespacial das unidades hidrogeológicas. Os aquíferos Cauê, Moeda e Gandarela estão presentes nas porções central ao longo da Serra do Curral, o que demostra uma comportamento hídrico de permeabilidade e condutividade hídrica coerente, de que os maiores gradientes hidráulicos estejam nestas rochas que abrigam propriedades petrológicas de porosidade, permeabilidade, transmissividade maiores dos que as unidades hidrogeológicas presentes nas extremidades da Serra do Curral que são Aquitardos como o Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Estrada Real e Complexos Arqueanos TTG (Complexo Bonfim), unidades fissurais que transcrevem-se com litoestratigráfica típica de quartzitos, granitóides e xistos que possuem taxas desses propriedades físicas hidrodinâmicas em percentuais menos significativos dos que os itabiritos, calcários e dolomitos presentes na Aquífero Cauê e Aquífero Gandarela.

O meio termo, aplica-se a unidades que tem propriedades intermediárias, como Aquitardo Piracicaba e Aquífero Moeda.

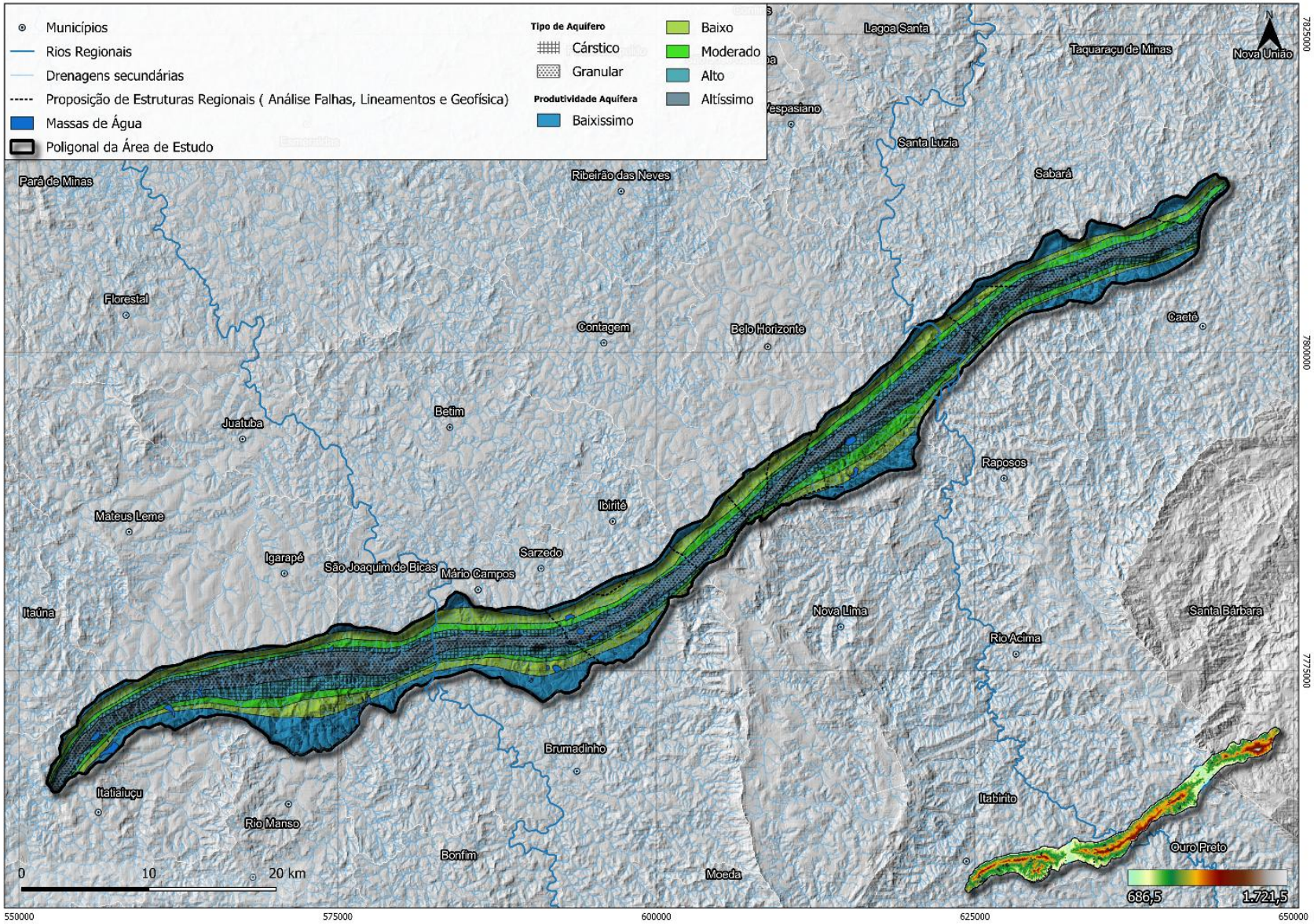
Logo temos os seguintes trends de fluxo hídrico subterrâneo:

- **W-E e E-W**: são fluxos regionais que se configuram como o encaminhamento hídricos dos cursos e nascentes presentes na Serra do Curral para a bacias hidrográficas estaduais do R. Paraopeba e R. Rio das Velhas.
- **N-S**: Presente em algumas porções da área que se tem divisores de água
- **NW-SE:** Na porção mais próxima ao Sinclinal moeda, o fluxo passar a ser no sentido NW.

5.3 Zoneamento Hidrogeológico de Produtividade Hídrica

A compartimentação da Serra do Curral sugerida nesse estudo, regimenta a área de acordo com as classes explicadas por Struckmeir e Margat (1995), do qual sinaliza a produtividade áreas de muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. No caso do Homoclinal Curral , percebe-se que o controle de produtividade está atrelado principalmente sobre as variações litotípicas e consequentemente os tipos de porosidade e permeabilidade entre os estratos litológicos que regimentam o fluxo d'água subterrâneo, muito mais do que estruturas ocasionadas por eventos geotectônico, com exceção das falhas de empurrão de contato presentes na porção oeste e centro-leste da Serra do Curral, considerando a proposição quanto aos 5 segmentos traçados pelo levantamento investigativo de descontinuidades geológicas através dos fotolineamentos, lineamentos geofísicos e falhas (Figura 15). A seguir vem o mapa de zoneamento segmentado na figura abaixo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**):

Figura 23 – Mapa de Produtividade Hídrica da Serra do Curral classificado segundo classificação de Struckmeir and Margat (1995)/ Diniz et al. (2012)



As produtividades muito baixa e baixa estão atreladas as unidades hidrogeológica do Aquitardo Piracicaba Aquitados dos Complexos TTG do Supergrupo Rio das Velhas e do Aquitardo Supergrupo Estrada Real. Essas áreas detêm uma estratigráfica de rochas de pouca porosidade primária e secundária como granitoídes, quartzitos, e rochas metavulcanossedimentares quando comparada a outras unidades como o Aquífero Cauê e Gandarela, por exemplo, que possuem em sua constituição rochas ferríferas e carbonáticas como itabiritos (em suas diversas variações).

As produtividades médias estão presentes dentro dos aquíferos Moeda e Gandarela, pois possuem características mineralógicas boas, de aquíferos contudo não são maiores do que o Cauê, devido que as características de porosidade secundária e uma rede de fraturamento muito maior do que os aquíferos Gandarela e Moeda, além de estar topograficamente nas regiões topograficamente elevadas em divisores de água, onde a recarga pluviométrica ocorre, favorecendo o armazenamento e fluxo.

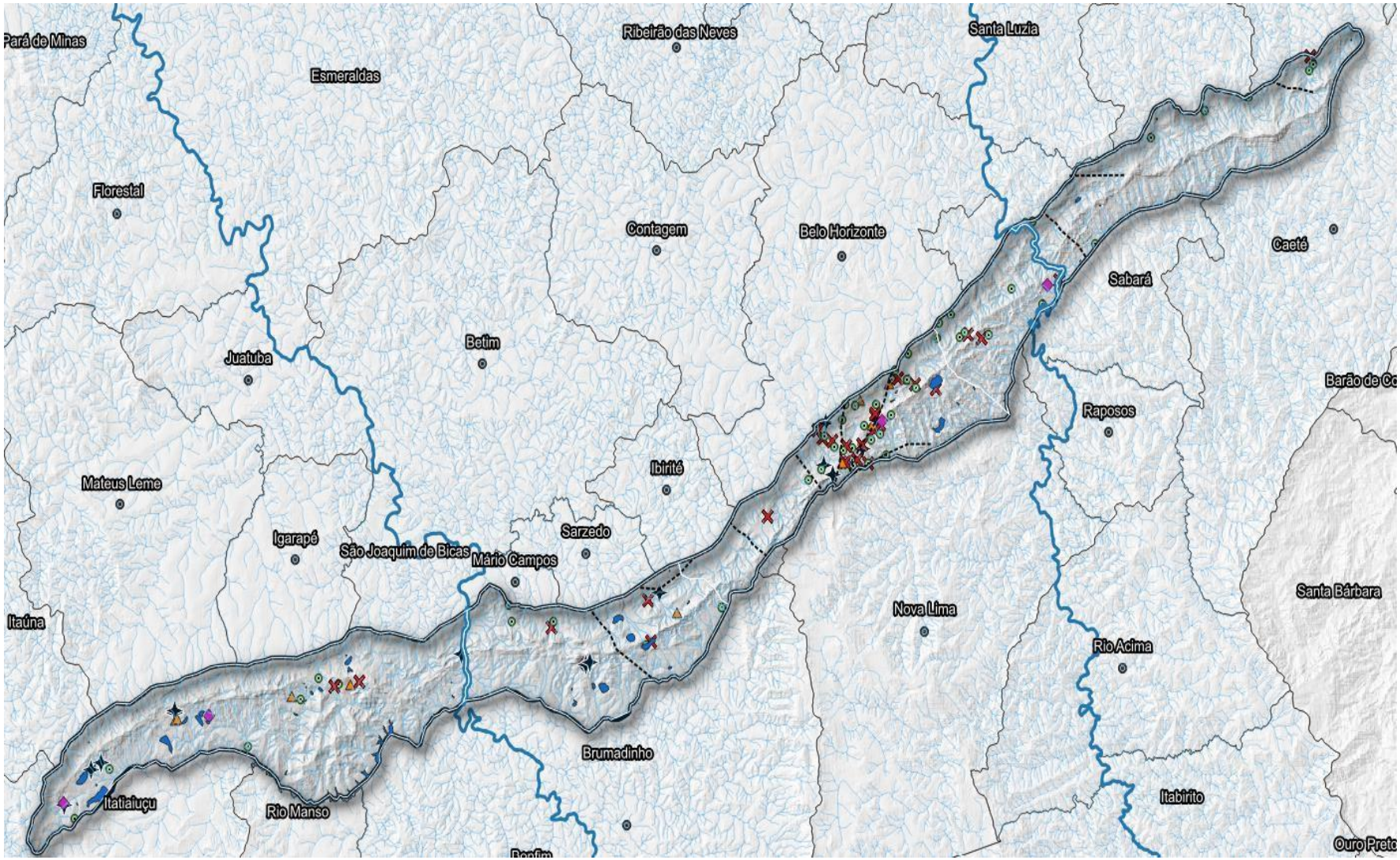
Pode ser segmentar a serra em 3 macrorregiões dividida pelos cursos d'água regionais do Rio Paraopeba e Rio das Velhas que se segmentam em 5 mesorregiões:

- **Porção Oeste**: Geograficamente, fica localizada entre as cidades Itatiaiuçu, Itaúna, Mateus Leme, Igarapé, Rio Manso, Brumadinho e São João de Bicas. Contém a mesorregião denominada de MERP: **Margem Esquerda do Rio Paraopeba**. Nessa mesorregião as capacidades específicas estão todas presentes, porém não continuamente, como por exemplo, a faixa de 1, as faixas de 2,0 a 4,0 devido que a ausência de malha amostral ou pouca expressividade geológica regente da unidade dominante (Grupo Piracicaba). A isolinha de valor 4,0, são constituídas sobre poços de presentes no contato do Grupo Cauê e as falhas de empurrão de vergência norte mapeadas por Chemale et. al (1994) e Alkimin & Marshak (1998) ou falhas com componentes oblíquas com vergência para oeste mapeadas por Alkimin et. al (1996). As cargas hidráulicas dessa região variam e terminam na margem esquerda do Rio Paraopeba junto sua mesorregião. As cotas equipotenciais dessa mesorregião vão de 760 m a 1160 m.
- **Porção Leste:** Geograficamente, fica entre as cidades Sabará e Caeté. Contém a mesorregião denominada de MDRV: **Margem Direita do Rio das Velhas.** Nessa mesorregião, as linhas de capacidades específicas presentes são as de valores mais baixos (0 a 0,4), devido que a presença da malha amostral de poços e expressividade estratigráfica das unidades

hidrogeológicas dos Aquífero Estrada Real e Aquiclude Supergrupo Rio das Velhas ser mais predominantes quanto comparado as demais unidades presentes no Homoclinal Curral. É válido ressaltar que esses poços estão próximos a falhas de empurrão aproximadas e a Falha de Caeté próximas a Sabará e Caeté aproximadas que foram mapeadas e classificadas dentro do Projetos Rio das Velhas nas Folhas de Caeté (Fonte & Malouf, 1994) e Serra da Piedade (Silva, 1994), porém essas estruturas não favorecem o fluxo d'água na presença desses poços, ou a construção desses poços não foi considerando adquirir o maior potencial de produtividade possível. O fluxo regional é de sentido indo para SW, em prol de ser recolhido pelo Rio das Velhas. As equipotenciais regentes locais possuem valores entre 760 m a 1360 m.

- **Porção Central**: Geograficamente disposta na região central do HMC entre os rios Paraopeba e Rio das Velhas, entre as cidades de Brumadinho, Mário Campos, Sarzedo, Ibirité, Belo Horizonte, Nova Lima, Raposos e Sabará. Detém a presença das isolinhas de capacidade específica de todos os valores ao longo de todo sua extensão e é compartimentado segundo os regimentos de fluxo de divisões de água e potenciometria regional. É segmentado em 5 mesorregiões:
    - **Margem Direita do Rio Paraopeba:** Nessa mesorregião, estão presentes um fluxo regional de fluxo d'água indo para oeste em prol de ser agrupado dentro do Rio Paraopeba enquanto o fluxo macrorregional segmenta-se em sentido sul em direção ao Sinclinal Moeda.
    - **Compartimento Central:** Segmenta-se através das linhas equipotenciais da potenciometria regional nos divisores de água próximos ao contato do Homoclinal curral em junção com o Sinclinal Moeda. As cotas das equipotenciométricas variam 840 m a 1360 é nesta porção se detêm a 4 descontinuidades estruturais propostas nesse documento, que podem ser indicativos de corredores hídricos (Figura 27).

Figura 24 - Foco da presença de poços sobre estruturas propostas na direção NNE-SSW



- **Margem Esquerda do Rio das Velhas:** Está presente na região E-NE da Região central possuem todas as faixas de capacidades específica em seu curso. A falha de São Vicente está localizada nessa mesorregião. O fluxo microrregionalmente está indo para oeste em prol de consolidar dentro da bacia do Rio da Velhas, porém macrorregionalmente está indo a S-SW em sentido ao Sinclinal Moeda. As equipotenciais da potenciometria nessa região possuem valores entre 720 m a 1200 m. É partir dessa mesorregião, que praticamente todas as linhas equipotenciais de capacidade específica deixam de ser deferidas e passam ser inferidas dentro da Serra do Curral.

A seguir, na, Tabela 10 mostra as áreas em quilômetros quadrados referentes a cada repartição de cada zoneamento, tal como unidade hidrogeológica predominante:

Tabela 10 - Zoneamento por produtividade aquífera e segmentado pelos rios Paraopeba e Rio das Velhas no Homoclinal Curral

Zoneamento por unidade aquífera no Homoclinal Curral		
Zoneamento por unidade aquífera do Homoclinal Curral	**Area(km²)**	**Unidade Hidrogeológica Predominante (área)**
Margem Esquerda do Rio Paraopeba -MERP	176.64	Rio das Velhas
Margem Direita do Rio Paraopeba- MDRP	104.87	Complexo Bonfim /Complexo TTG
Compartimento Central -CC	92.14	Rio das Velhas, Cauê e Sabará- Estrada Real
Margem Esquerda do Rio das Velhas - MERV	46.84	Sabará- Estrada Real e Nova Lima- Rio das Velhas
Margem Direita do Rio das Velhas _MDRV	107.68	Sabará- Estrada Real e Nova Lima -Rio das Velhas

Fonte: Autoria Própria (2026)

6 CONCLUSÕES

Do que se dispõem como interpretação desse caminhar científico, sobre a compartimentação hidrogeológica da Serra do Curral , a análise integrada de fotolineamentos, lineamentos geofísicos e falhas em consonância, para a descobertas de singularidades na geoestruturais, este estudo permitiu os *insights* técnicos quanto que: As estruturas de direção NNW-SE na porção centro-leste (Compartimento CC) e de sentido E-W na porção oeste, podem ser sinais da presença de corredores hidráulicos/ barreiras hidráulicas macrorregionais, formados pelas fabrics estruturais (Endo 2005; Endo 2020) da litoestratigrafia regional regimentadas em sucessões de eventos geotectônicos regionais transamazônicos e brasilianos presente no QF (Shear zones).

As unidades hidrogeológicas mais significativas dentro do Homoclinal Curral, e que conjuntamente são unidades aquíferas extremamente significativas para a produtividade hídrica regional e segmentam as classes de produtividade altíssima e alta nas porções mais elevadas topograficamente, contendo os valores de isolinhas de capacidade específica setorizadas de 2,0 a 4,0 $m^3/h*m$ e 4,0 $m^3/h*m$. As unidades intermediárias são aquíferas ou aquitardos fissurais com características intermediárias de produtividade presentes no Aquífero Moeda e Aquitardo Piracicaba, que possuem capacidade de armazenamento hídrico menor devido a composição litológica de quartzitos e terão isolinhas com valor de 1,0 $m^3/h*m$ a 2,0 $m^3/h*m$. Por fim, ficam as taxas de produtividades baixa e baixíssimas ficam a par do Aquitardo Nova Lima – Supergrupo Rio das Velhas, Aquitardo Complexo Bonfim/ Complexos TTG e Aquitardo Sabará- Estrada Real devido a sua composição estratigráficas de xistos, pelitos e grauvacas.

Acredita-se que esta monografia servirá como um banco de dados futuros disponibilizado ao acesso público que ajudará muitos profissionais da área quanto ao entendimento hidrogeológico do Quadrilátero Ferrífero que possam posteriormente em macro mapeamento regional, interpondo o Homoclinal Curral e o Sinclinal Moeda para assim gerar um Mapeamento de Produtividade Hídrica sobre as nappes Curral e Ouro Preto. Sugerimos que esses dados sejam integrados a pesquisa geofísicas de superfície em projetos de pós-graduação científica. A identificação de produtividade hídrica pode ajudar a comunidade geológica e cientifica a realizar estudos de modelos conceituais mais abrangentes e completos dentro do âmbito acadêmico e profissional em empresas de consultoria e mineração. A população da RMBH pode se beneficiar identificando novos locais para implementação de poços tubulares para atividades industriais e abastecimento humano.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Informe Mineral 04TRI2024 - dados 2024**. Brasília: ANM, 2024.

ANDRADE, I. B. **Modelo hidrogeológico de fluxo do flanco oeste do Sinclinal Moeda**: passado, presente e futuro do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, Brasil. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

ANDRADE, I. B.; DE PAULA, R. S.; TEIXEIRA, G. M.; NOVO, T. A.; MELO, M. C.; COSTA, F. C. Investigação do fluxo no sistema aquífero do flanco oeste do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 5, p. 3350-3376, 2025.

AZEVEDO, Ú. R. D.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. D. T. A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. Geoparque Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SCHOBBENHAUS, C.; SILVA, C. (org.). **Geoparques do Brasil**: propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p. 1-5.

BEATO, D. A. C.; MONSORES, A. L. M.; BERTACHINI, A. C. Hidrogeologia. In: CPRM; SEMAD; CEMIG. **Projeto APA Sul RMBH**: Estudos do Meio Físico: área de proteção ambiental da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005. v. 9, Parte A.

BEATO, D. A.; MONSORES, A. L.; BERTACHINI, A. C. **Projeto APA Sul RMBH**: hidrogeologia, mapa hidrogeológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Belo Horizonte: CPRM, 2005.

BERTACHINI, A. C. Hidrogeologia e desaguamento da Mina de Águas Claras. **Águas Subterrâneas**, 1994. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24426. Acesso em: 27 maio 2026.

BERTACHINI, A. C.; ALMEIDA, D. C. Rebaixamento do Nível D'Água em Mineração e Obras Civis. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 2003, Petrópolis. **Anais** [...]. Petrópolis: ABAS, 2003. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23932. Acesso em: 27 maio 2026.

BERTACHINI, A. C.; ESCODINO, P. C. **Evolução hidroquímica das águas subterrâneas da região de Mateus Leme-MG**. 1985.

BERTACHINI, M. N. A. **Determinação da condutividade hidráulica do Aquífero Cauê na região oeste do Sinclinal Moeda, Nova Lima/MG**. 2020. Dissertação (MBA) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

CHEMALE JÚNIOR, F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. **Pesquisas em Geociências**, v. 18, n. 2, p. 104-127, 1992.

CHEMALE JÚNIOR, F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 65, p. 25-54, 1994.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH RIO DAS VELHAS). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Belo Horizonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Rio das Velhas; Agência Peixe Vivo, 2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH RIO DAS VELHAS). Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. **Revista Rio das Velhas**, Belo Horizonte, 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2024.

CRUZ, E. C.; CAETANO, I. S. H.; MOTA, A. C. V.; FERREIRA, J. J.; DE SOUZA, J. V. F.; VELÁSQUEZ, L. M. N.; DE PAULA, R. S. Caracterização pluviométrica do Quadrilátero Ferrífero na região do Sinclinal Moeda – Minas Gerais. **Alemur**, v. 7, n. 1, p. 17-35, 2022.

DANTAS, C. M. J.; DE MESQUITA, D. C.; DE PAULA, R. S.; GUERRA, K. J. Correlação entre dados de perfilagem geofísica e potencial de bombeamento de poços em litotipos da Formação Cauê no sudoeste do Quadrilátero Ferrífero. **Revista ABAS**, 2017.

DE PAULA, R. S.; MESQUITA, D. C.; DANTAS, J. C. M.; GUERRA, K. J. Caracterização hidroquímica e isotópica das águas, na porção sudoeste do Quadrilátero Ferrífero no município de Congonhas-MG, e sua correlação com a localização em cota das unidades aquíferas deste sistema. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 140-153, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa de classificação climática segundo Köppen**. 2013. Disponível em: https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm. Acesso em: 27 maio 2026.

ENDO, I.; DELGADO, C. E. R.; OLIVEIRA, M. M. F. DE; ZAPPAROLI, A. DE C.; CARLOS, D. U.; GALBIATTI, H. F.; CASTRO, P. DE T. A.; SUITA, M. T. DE F.; BARBOSA, M. S. C.; LANA, C. E.; MOURA, L. G. B. DE. **Estratigrafia e arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero**: nota explicativa do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto: Departamento de Geologia da Escola de Minas (UFOP), 2019. Disponível em: http://www.qfe2050.ufop.br. Acesso em: 27 maio 2026.

ENDO, I.; GALBIATTI, H. F.; DELGADO, C. E. R.; OLIVEIRA, M. M. F. DE; ZAPPAROLI, A. DE C.; MOURA, L. G. B. DE; PERES, G. G.; OLIVEIRA, A. H. DE; ZAVAGLIA, G.; DANDERFER FILHO, A.; GOMES, C. J. S.; CARNEIRO, M. A.; NALINI JÚNIOR, H. A.; CASTRO, P. DE T. A.; SUITA, M. T. DE F.; TAZAVA, E.; LANA, C. DE C.; MARTINS-NETO, M. A.; MARTINS, M. DE S.; FERREIRA FILHO, A. A.; FRANCO, A. P.; ALMEIDA, L. G.; ROSSI, D. Q.; ANGELI, G.; MADEIRA, T. J. A.; PIASSA, L. R. A.; MARIANO, D. F.; CARLOS, D. U. **Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Escala 1:150.000: uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969).

Ouro Preto: Departamento de Geologia da Escola de Minas (UFOP), 2019. Disponível em: http://www.qfe2050.ufop.br. Acesso em: 27 maio 2026.

ENDO, I.; OLIVEIRA, A. H.; PERES, G. G.; GUIMARÃES, M. L. V.; LAGOEIRO, L. E.; MACHADO, R.; ZAVAGLIA, G.; ROSAS, C. F.; MELO, R. J. Nappe Curral: uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 4., 2005, Curitiba. **Boletim de Resumos Expandidos** [...]. Curitiba: [s. n.], 2005. p. 279-282.

FEITOSA, F. A. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008.

FREITAS, S. M. A. C.; BACELLAR, L. A. P. Avaliação da recarga de aquíferos em microbacias do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 18, n. 2, p. 31-39, 2013.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Desenvolvimento de modelo estatístico de interpretação de dados geológicos morfo-estruturais aplicados à hidrogeologia de rochas fraturadas**. Belo Horizonte: CETEC, 1989.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Desenvolvimento de modelo numérico de simulação de aquíferos fraturados**. Belo Horizonte: CETEC, 1989.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Mapa hidrogeológico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1981.

GRANDCHAMP, C. A. **Estudo da recuperação do Aquífero Cauê e do enchimento da cava na Mina de Águas Claras, Serra do Curral, Município de Nova Lima, MG**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

HIDROVIA & POTAMOS. **Estudo de avaliação das disponibilidades hídricas e definição de alternativas de suprimento de água**. Belo Horizonte, 2014.

KÖPPEN, W. Geiger, Rudolf. Das Klima der bodennahen Luftschicht. **Geographische Zeitschrift**, v. 34, n. 2, p. 115, 1928.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LADEIRA, B. P. **Potencial hídrico subterrâneo do Sinclinal Santa Rita – Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. 2025. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

LOHMAN, S. W. et al. **Definitions of selected ground-water terms**: revisions and conceptual refinements. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey, 1972. (Water-Supply Paper 1988).

LOHMAN, S. W. **Ground-Water Hydraulics**. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey, 1972. 70 p. (Professional Paper 708). Disponível em: https://doi.org/10.3133/pp708. Acesso em: 27 maio 2026.

MAGALHÃES, C. C. C. **Modelo hidrogeológico de fluxo do flanco leste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero - MG)**: caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

MAGALHÃES, C. C. C.; MELO, M. C.; GUIGUER, N.; PAULA, R. S. The Cauê Aquifer on the eastern limb of the Moeda Syncline: characterization, impacts, and flow in the western Iron Quadrangle (Quadrilátero Ferrífero), MG, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 52, n. 4, e20220005, 2022.

MATOS, F.; DIAS, R. Consórcios intermunicipais e a bacia hidrográfica do rio Paraopeba - CIBAPAR. **Espacios**, v. 32, n. 4, p. 25, 2011.

MDGEO. **Projeto de monitoramento e pesquisa hidrogeológica da CSul Desenvolvimento Urbano**. Belo Horizonte: MDGEO, 2017.

MEDINA, A. I. M.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. Geomorfologia. In: CPRM; SEMAD; CEMIG. **Projeto Apa Sul RMBH**: Estudos do Meio Físico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, 2005. p. 6-54.

MEIRELES, L. M. F. **Balanço hídrico e análise de fluxo da junção homoclinal Curral e sinclinal Moeda**. 2023. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

MOURÃO, M. A. **Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2007. 297 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MOURÃO, M. M. **Estruturação geológica e compartimentação hidrogeológica do Quadrilátero Ferrífero - MG**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

OLIVEIRA, F. C. DE. **Avaliação de recarga aquífera da Formação Cauê na região do Sinclinal Moeda e Homoclinclal Curral (MG)**. 2025. 116 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

PIRES, F. R. M. **Structural geology and stratigraphy at the junction of the Curral Anticline and the Moeda Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. 1979. 220 p. PhD Dissertation – Michigan Technological University, Michigan, 1979. *(Nota: O texto original apresentava duas referências praticamente idênticas para este mesmo trabalho de 1979 na Universidade de Michigan. Condensei em apenas uma).*

RAMOS, J. M.; TÁRCIA, R. F.; VENCIO, F. N. Estudo de drenagem na Mina de Conceição, Município de Itabira, Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., 1984, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: [s. n.], 1984.

RAMOS, M. L. S.; CORDEIRO, V. F.; FERNANDES, R. A. Histórico e arcabouço hidrogeológico do Quadrilátero Ferrífero. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Quadrilátero Ferrífero**: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Ouro Preto: UFOP, 2020. p. 380-414.

RESENDE, P. L. A.; PINTO, S. B. S. **Compartimentação hidrogeológica do Sinclinal Moeda - Quadrilátero Ferrífero**. 2025. 104 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

SADALA, J.; GONÇALVES, R. D. Experiência da COPASA MG na utilização de água subterrânea para abastecimento urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., 1980, Recife. **Anais** [...]. Recife: ABAS, 1980. p. 4. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23859. Acesso em: 27 maio 2026.

SCHLUMBERGER; WATER SERVICES AND TECHNOLOGIES. **Relatório de caracterização hidrogeológica do Quadrilátero Ferrífero**. [S. l.: s. n.], 2017. (Documento interno).

SILVA, A. B.; NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C. Avaliação da utilização de modelos numéricos de simulação em meio aquífero fraturado. **Águas Subterrâneas**, 1994. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24428. Acesso em: 27 maio 2026.

SILVA, A. B.; NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C. Potencial das águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero. **Águas Subterrâneas**, 1994. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24425. Acesso em: 27 maio 2026.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SISEMA). **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema)**: Hidrografia, localidades e limites. Belo Horizonte: Sisema, 2023. Disponível em: https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis. Acesso em: 27 maio 2026.

SOUZA, S. M. T. **Disponibilidades hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: HIDROSISTEMAS/COPASA, 1995. 525 p.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. **Hydrogeological maps**: a guide and a standard legend. Hannover: Heise, 1995. (Association of Hydrogeologists, v. 17).

STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

TÁRCIA, R. F.; NETO, A. F.; SANTANA, F. C. Rebaixamento do lençol freático da Mina de Conceição - Corpo "C". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., 1986. **Anais** [...]. [S. l.]: ABAS, 1986.

VIDAL, V. A. T. **Modelos hidrogeológicos de fluxo do Homoclinal Curral (Quadrilátero Ferrífero) – MG**. 2025. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

WATER SERVICES AND TECHNOLOGIES. Estudo hidrogeológico Serra da Moeda. In: FÓRUM NACIONAL DA SOCIEDADE CIVIL NOS COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2018. **Anais** [...]. [S. l.]: Water Services and Technologies, 2018.

ZUPO, A. R. **Modelagem hidrogeológica com enfoque na recarga e explotação subterrânea em aquíferos fraturados no Quadrilátero Ferrífero - MG**. 2024. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

ZUPO, A.; DE PAULA, R. S.; SAMPAIO, J. L. D.; JÚNIOR, J. G. R.; MELO, M. C. Comparative study of standard and modified groundwater vulnerability methods in the gold and iron mining regions of Western Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 270, 104516, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2025.104516. Acesso em: 27 maio 2026.

ANEXO A

Tabela 11: Tabela Base de Dados com dados dos poços trabalhados nesse documento extraídos do portal SIAM-SEMAD/IGAM – MG

ID	Nível Estático - NE (m)	Nível Dinâmico -ND (m)	Vazão(m³/h)	Qs (m³/h*m)	X	Y	Unidade Hidrogeológica
1	49	56	2	0.29	609449.5349	7788492.784	Moeda
2	76.7	128.43	17.5	0.34	573794.2208	7775368.166	Batatal
3	28.7	136.4	52.8	0.49	573503.3281	7775246.43	Batatal
4	24.2	59.53	155	4.39	557314.9364	7770788.368	Batatal
5	76.7	128.43	17.5	0.34	573794.2208	7775368.166	Batatal
6	28.7	136.4	52.8	0.49	573503.3281	7775246.43	Batatal
7	44	49	106	21.2	611148.3625	7790572.702	Batatal
8	25	30	4	0.8	611060.7778	7790511.769	Batatal
9	107.14	181.03	48	0.65	618419.8432	7795598.02	Moeda
10	61.03	94.11	20	0.6	615260.4961	7792667.538	Moeda
11	2	47	5	0.11	600419.8034	7779877.201	Moeda
12	54.66	70.53	100	6.3	556616.7386	7770329.544	Batatal
13	2	47	5	0.11	600419.8034	7779877.201	Moeda
14	21.61	210.51	32.55	0.17	622621.0974	7797659.895	Moeda
15	28.1	29.4	11.5	8.85	610151.4571	7789195.503	Moeda
16	30	37	4.11	0.59	610942.9617	7790266.56	Moeda
17	34	36	8	4	610886.3879	7790512.872	Caue
18	48	92	5.5	0.13	609424.6973	7789169.312	Caue
19	41.7	47.1	5	0.93	613779.778	7792953.898	Gandarela
20	44.95	57.4	5	0.4	609048.031	7789356.124	Gandarela
21	75.14	82.3	4.5	0.63	611035.0216	7791034.584	Caue
22	68	68.65	8	12.31	611150.1161	7790849.39	Caue
23	18.66	55.2	4.5	0.12	613865.3906	7792707.387	Gandarela
24	56	66	2	0.2	611097.8257	7791772.049	Gandarela
25	92.14	110.17	10	0.55	603559.3206	7785177.531	Gandarela
26	62.2	86.7	74.9	3.06	574606.7397	7775241.734	Caue
27	92.2	135.35	18	0.42	575217.8494	7775546.522	Caue
28	40.13	45.21	10.39	2.05	617288.0091	7795913.055	Gandarela
29	10.58	38.1	132	4.8	620199.6666	7796508.291	Caue
30	52.87	95.89	51.95	1.21	622977.7628	7798764.235	Caue
31	63	83	6	0.3	610276.2171	7790547.464	Gandarela
32	60	70.3	3.5	0.34	616937.6846	7795700.175	Gandarela
33	30.4	60.91	150	4.92	562434.5372	7773691.128	Caue
34	92.14	110.17	10	0.55	603559.3206	7785177.531	Gandarela
35	112.15	125.73	7	0.52	610152.8097	7789410.704	Caue
36	88.05	89.25	7.5	6.25	608106.0651	7787425.083	Caue
37	34.9	48.57	161	11.78	562376.9104	7773814.299	Caue

38	26.5	118	6.8	0.07	608842.8721	7789080.703	Gandarela
39	56.2	79.4	39	1.68	608983.9771	7788403.454	Caue
40	6	8	14	7	582252.8594	7777174.782	Caue
41	30	45	3.27	0.22	606390.8025	7787312.614	Gandarela
42	40	41	10	10	607500.3423	7788166.67	Gandarela
43	38.6	49	7	0.67	617461.8396	7795819.66	Gandarela
44	6.54	72.48	31	0.47	608983.9771	7788403.454	Caue
45	81.88	95.69	29	2.1	608749.9595	7788158.956	Caue
46	42.6	50.3	18.4	2.39	597251.3435	7779464.746	Caue
47	29.9	41.5	1.6	0.14	607295.5982	7787952.717	Gandarela
48	55.33	65.55	7	0.68	611007.1231	7791219.226	Gandarela
49	40	68	19.5	0.7	588533.5229	7778681.13	Piracicaba
50	100	110	4	0.4	608061.5989	7789638.931	Piracicaba
51	10	25	12	0.8	595251.5653	7780275.107	Piracicaba
52	40	43	9	3	613403.0693	7793140.802	Piracicaba
53	60	130	1	0.01	613229.0486	7793203.414	Piracicaba
54	54	58	1.2	0.3	588709.506	7779018.405	Piracicaba
55	30	138	0.55	0.01	608737.4911	7790833.77	Piracicaba
56	22	60	2.6	0.07	585776.0403	7779033.084	Piracicaba
57	84.4	135.22	9	0.18	572401.8368	7775712.174	Piracicaba
58	35.06	52.15	1.81	0.11	617288.4192	7795974.541	Piracicaba
59	26.05	27.95	6.62	3.48	609993.8563	7791871.237	Piracicaba
60	45	66	4	0.19	608175.3853	7789238.556	Piracicaba
61	18	18.5	9	18	596038.199	7780701.201	Piracicaba
62	20	41	2.3	0.11	612182.3471	7793179.388	Piracicaba
63	39	49	7.2	0.72	612619.1785	7793299.569	Piracicaba
64	26	27	3.6	3.6	611976.8999	7792873.256	Piracicaba
65	10	72	3	0.05	609644.09	7791719.705	Piracicaba
66	25	42	2	0.12	620533.3968	7798535.178	Sabara
67	1	25	15	0.63	641232.0183	7812155.996	Sabara
68	12.6	113.2	2	0.02	608975.5523	7791723.87	Sabara
69	0.3	0.5	3.6	18	607603.1898	7790717.79	Sabara
70	12.1	64	6	0.12	585577.4079	7779987.077	Sabara
71	12	51.1	6	0.15	606990.7607	7790383.354	Sabara
72	15.2	21.8	4.4	0.67	607335.5816	7789735.624	Sabara
73	31.8	64.91	3.3	0.1	613325.9759	7794709.264	Sabara
74	36	72	4.5	0.13	615338.2111	7795649.252	Sabara
75	22	43	3	0.14	641432.0624	7811693.198	Sabara
76	10	63	2	0.04	612389.5719	7793762.205	Sabara
77	4.86	88.9	18	0.21	615431.0833	7796509.49	Sabara
78	5.58	44.7	1	0.03	621985.5092	7802460.544	Sabara
79	16.9	29.3	10	0.81	607019.0746	7790260.206	Sabara
80	6.8	61.2	2.88	0.05	621490.63	7802402.469	Sabara

81	23.1	58	2.21	0.06	630166.0561	7807352.151	Sabara
82	29.5	41.7	2	0.16	607481.6527	7789857.704	Sabara
83	10	55	1.35	0.03	636934.5915	7809699.257	Sabara
84	8	39.9	1.5	0.05	621985.5092	7802460.544	Sabara
85	15	38	2.5	0.11	616277.5187	7796995.828	Sabara
86	67.4	75.4	1.44	0.18	641166.9542	7811295.602	Sabara
87	4	25	7	0.33	633902.7312	7808984.542	Sabara
88	8	21	6.6	0.51	610581.9652	7788331.951	Rio das Velhas
89	56	62	4	0.67	609769.2117	7788490.784	Rio das Velhas
90	114	116	1.8	0.9	611409.9484	7790571.042	Rio das Velhas
91	8	28.43	7	0.34	610581.9652	7788331.951	Rio das Velhas
92	43.8	98.05	6.75	0.12	611805.4862	7788785.351	Rio das Velhas
93	16	36.7	200	9.66	554694.4869	7768306.806	Rio das Velhas
94	27.03	42.6	20	1.28	564814.755	7773528.71	Rio das Velhas
95	19	25	5	0.83	623793.7227	7799004.48	Rio das Velhas
96	0	7.5	25	3.33	570538.5569	7774520.903	Rio das Velhas
97	71	115	3	0.07	612169.1813	7791119.601	Rio das Velhas
98	107.51	120.3	25	1.95	611498.7075	7790816.433	Rio das Velhas
99	82.51	194.32	41.63	0.37	618915.9732	7795871.375	Rio das Velhas
100	6.3	39.1	7.52	0.23	557894.1821	7770386.812	Rio das Velhas
101	20.1	64.13	1.5	0.03	611348.4992	7790048.779	Rio das Velhas
102	0	127.8	150	1.17	554694.7779	7768399.028	Rio das Velhas
103	8.6	53.1	7	0.16	626339.1314	7801138.59	Rio das Velhas
104	0	57.72	11	0.19	571148.0566	7774456.937	Rio das Velhas
105	39	70	2	0.06	609534.6048	7788154.066	Rio das Velhas
106	6.6	27.78	46.5	2.2	562461.5829	7773137.689	Rio das Velhas
107	23.7	40.32	55	3.31	562548.9033	7773198.857	Rio das Velhas
108	11.95	29.3	6	0.35	610765.0779	7789714.288	Rio das Velhas
109	8.44	61.14	3	0.06	567478.9479	7771735.566	Rio das Velhas
110	21.19	40.32	1.29	0.07	555446.572	7767505.151	Rio das Velhas
111	46	19	37	1.37	590750	7776564	Caue
112	2.9	94	32.77	0.36	590827	7776512	Caue
113	6	37.3	220.82	7.05	590979	7776550	Caue
114	3	36.31	235	7.05	591211	7776676	Caue
115	15	30.7	5	0.32	595144	7777644	Caue
116	50	26	22	0.92	595491	7777838	Caue