

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

RAFAEL AZEVEDO DA CUNHA

**MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO POLO CERÂMICO DE SANTA
GERTRUDES PARA FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS
CERÂMICOS: CARACTERÍSTICAS E MODELAMENTO
TECNOLÓGICO**

Poços de Caldas/MG

2017

RAFAEL AZEVEDO DA CUNHA

**MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO POLO CERÂMICO DE SANTA
GERTRUDES PARA FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS
CERÂMICOS: CARACTERÍSTICAS E MODELAMENTO
TECNOLÓGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alfenas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. Área de concentração: Materiais e compósitos cerâmicos.
Orientadora: Carolina Del Roveri.

Poços de Caldas/MG

2017

RAFAEL AZEVEDO DA CUNHA

**MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO POLO CERÂMICO DE SANTA GERTRUDES
PARA FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS: CARACTERÍSTICAS E
MODELAMENTO TECNOLÓGICO**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Materiais e compósitos cerâmicos

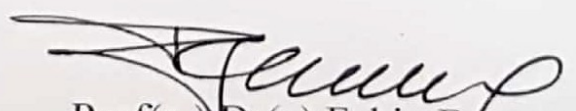
Aprovada em: 24 de julho de 2017.


Prof(a.) Dr(a). Carolina Del Roveri

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG


Prof(a.) Dr(a).Rogers R. da Rocha

Instituição: Universidade Estadual Paulista - UNESP


Prof(a.) Dr(a).Fabio Ferraço

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

C972m Cunha, Rafael Azevedo da.

Matérias-primas da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes para fabricação de revestimentos cerâmicos: características e modelamento tecnológico / Rafael Azevedo da Cunha. – Poços de Caldas, 2017.

87 f. –

Orientadora: Carolina Del Roveri.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.
Bibliografia.

1. Cerâmica – Indústria – Santa Gertrudes (SP). 2. Cerâmica (Tecnologia). 3. Revestimentos. I. Del Roveri, Carolina. II. Título.

CDD: 620.11

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família: Antonio, Cleusa, Júlia, Aparecida, Genésio e todos os demais por todo o apoio em todos os momentos da minha vida;

Agradeço a todos meus amigos que não me deixaram enlouquecer por ter feito a graduação e o mestrado na UNIFAL-MG, apesar de todas as dificuldades;

Agradeço a UNIFAL-MG por me propiciar todos estes momentos bons e ruins, que moldaram meu caráter após tantos anos de convivência.

Agradeço a Professora Carolina Del Roveri por todos estes anos de trabalho, desde 2012: passamos por IC's, TCC, auxílio no intercâmbio, elaboração de projetos, conselhos pessoais, aviso que estava com alergia e não com gripe, co-orientação em trabalhos de IC e, por fim, a dissertação. Muito obrigado é pouco para expressar tudo que gostaria! Meu espelho de profissional, que olho no olho é a base da confiança, da não necessidade de falar alto para impor suas ideias, mas sim o diálogo: OBRIGADO CAROL!

Agradeço a Sylma pela co-orientação em praticamente todos os trabalhos da UNIFAL-MG, onde me mostrava outra perspectiva de tudo que estava fazendo!

Agradeço a equipe do LCT-Poli (USP) pelo auxílio com a análise de agrupamento e por ter feito com que eu mudasse minha metodologia deste trabalho com apenas uma semana de prazo!

Agradeço a todos que, de algum modo, fizeram parte da minha vida, tanto pessoal quanto profissional!

“Não se acomode com as primeiras conquistas. Quem nunca para de plantar, nunca para de colher! ”

(MAGALHÃES, 2014)

RESUMO

O Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG) é o maior produtor nacional de revestimentos cerâmicos, localizado na região centro-leste do Estado de São Paulo, englobando diversas cidades. As principais matérias-primas utilizadas no PCSG são argilas provenientes da Formação Corumbataí, que é uma unidade geológica inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, contendo mais de 1,5M km². Nesta pesquisa foram utilizados difratogramas de Raios X de amostras provenientes de diversas áreas do PCSG para aplicação da análise por agrupamento (*cluster analysis*), reunindo amostras em famílias e buscando a mais representativa para uma análise mais completa pelos ensaios cerâmicos: à verde de massa específica aparente (após prensagem), resistência mecânica à verde; após queima à 1070 °C e 1120 °C: massa específica aparente após queima, absorção de água, retração linear após queima, porosidade aparente e resistência mecânica. Além disto, com as amostras georreferenciadas, foi criado o modelo tecnológico 3D da região, com dados de absorção de água, resistência mecânica à flexão e porcentagem de SiO₂ e Al₂O₃, utilizando o *software Micromine Mining Software*, da Micromine, correlacionando as propriedades cerâmicas com a composição química das amostras. Os resultados indicaram que as características tecnológicas das argilas variam conforme o ambiente geológico de formação, e sua proximidade com os corpos magmáticos encontrados na região, além de que se conseguiu observar a correlação entre teores ótimos de SiO₂ e Al₂O₃ para revestimentos cerâmicos em algumas regiões com a absorção de água e a resistência mecânica das peças. Aliado a estes dados, é sugerido a continuação em trabalhos futuros, com análise de outros elementos, como porcentagem de óxidos de cálcio, potássio e magnésio, dentre outros. Em relação ao agrupamento, foram criadas seis famílias de amostras, que podem ser utilizadas diretamente pela indústria cerâmica, como análise preliminar de matéria prima, através de DRX.

Palavras-chave: Polo cerâmico. Santa Gertrudes. Caracterização. Modelo geológico-tecnológico. Depósito de argila.

ABSTRACT

The Santa Gertrudes Ceramic Region (PCSG) is the largest national producer of ceramic tiles, located in east-central region of São Paulo, encompassing different cities. PCSG uses various clays as the main raw material from the Corumbataí Formation, which is inserted in the Sedimentary Basin of Paraná, with more than 1.5M square kilometers. In this context, X-ray diffractograms of samples from different areas of PCSG were used for application of the cluster analysis. Aiming to group the samples in families and subsequently to seek the most representative for the complete analysis. Also, ceramic tests were made by the following methods: the green bulk density after pressing, flexural strength modulus for green tests were conducted after firing at 1070 °C and 1120 °C: apparent density after drying, flexural modulus; after firing: apparent density after firing, water absorption values, linear shrinkage sintering, apparent porosity, modulus of resistance to bending after firing. Further, from the georeferenced sample were created the 3D technological model of the region was developed from the interesting characteristics: water absorption values, bending rupture stress, using Micromine Mining Software, Enterprise Micromine, correlating ceramics properties with the chemical composition of the samples. The results indicated that the technological characteristics of clays varies depending on the ambient geological formation, and its proximity to the region found in magmatic bodies. It was possible to observe the correlation between SiO₂ and Al₂O₃ optimal contents for ceramic coatings in some regions with water absorption and mechanical strength of the parts. In addition to these data, the suggested continued for further work, with analysis of other factors such as percentage of oxides of calcium, potassium and magnesium, among others. Regarding the grouping, six families of samples were created, which can be used directly by the ceramic industry, as preliminary raw material analysis, with XRD.

Keywords: Ceramic Region. Santa Gertrudes. Ceramic characterization. Model. Clay mineral deposit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil.....	16
Figura 2 –	Localização da área de estudo e distribuição de minas de argila.....	17
Figura 3 –	Esquema de formação de depósitos minerais do sistema mineralizador sedimentar.....	24
Figura 4 –	Esquema do processo mineralizador geral do sistema mineralizador sedimentar.....	26
Figura 5 –	Mapa geológico da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.....	33
Figura 6 –	Mapa geológico da Formação Corumbataí da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.....	34
Figura 7 –	Mapa de pontos coletados para estudo da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.....	35
Figura 8 –	Análise de Componente Principal (PCA). Tradução: Eixo X: Componente Principal 1; Eixo Y: Componente Principal 2; Eixo Z: Componente Principal 3.....	41
Figura 9 –	Dendrograma.....	43
Figura 10 –	Thumbnail com clusters e amostra representativa.....	44
Figura 11 –	Amostras agrupadas originando o Cluster 1. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	45
Figura 12 –	Amostras agrupadas formando o Cluster 2. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	46
Figura 13 –	Amostras agrupadas formando o Cluster 3. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	46
Figura 14 –	Amostras agrupadas formando o Cluster 4. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	47
Figura 15 –	Amostras agrupadas formando o Cluster 5. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	47
Figura 16 –	Amostras agrupadas formando o Cluster 6. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	48
Figura 17 –	Difratograma da amostra RH186 – Cluster 1. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	49
Figura 18 –	Difratograma da amostra RH52 – Cluster 2. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	49

Figura 19 – Difratoograma da amostra RH22N – Cluster 3. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	50
Figura 20 – Difratoograma da amostra RH152 – Cluster 4. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	50
Figura 21 – Difratoograma da amostra RH111 – Cluster 5. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	51
Figura 22 – Difratoograma da amostra RH192 – Cluster 6. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).....	51
Figura 23 – Representação dos difratogramas. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).....	52
Figura 24 – Pontos de furos de sondagem com topografia do terreno.....	59
Figura 25 – Representação da área estudada.....	60
Figura 26 – Pontos com identificação e área estudada.....	61
Figura 27 – Relação entre área delimitada e área modelada pelo Micromine.....	62
Figura 28 – Modelagem para dados de resistência mecânica.....	63
Figura 29 – Modelagem para dados de absorção de água.....	64
Figura 30 – Modelagem para dados de porcentagem de SiO_2	65
Figura 31 – Modelagem para dados de porcentagem de Al_2O_3	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Vantagens e desvantagens do método IQD.....	39
Tabela 2 –	Mineralogia das amostras médias de cada agrupamento.....	53
Tabela 3 –	Dados de composição química dos elementos maiores em % de óxidos de amostra média.....	53
Tabela 4 –	Dados de amostra média a verde de umidade, densidade, retração linear (RL) e resistência mecânica (RM).....	55
Tabela 5 –	Dados perda ao fogo (PF), retração linear de queima e retração linear total (RLQ e RLT), resistência mecânica (RM) de amostra média após queima a 1070 °C.....	55
Tabela 6 –	Dados perda ao fogo (PF), retração linear de queima e retração linear total (RLQ e RLT), resistência mecânica (RM) de amostra média após queima a 1120 °C.....	56
Tabela 7 –	Dados de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) de amostra média após queima a 1070 °C.	57
Tabela 8 –	Dados de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente de amostra média após queima a 1120 °C.....	57
Tabela 9 –	Comparativo entre região do PCSG, Depósitos Estratiformes e Depósitos Red Beds.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCSG	–	Polo Cerâmico de Santa Gertrudes
FC	–	Formação Corumbataí
PCA	–	Análise de componente principal
PF	–	Perda ao fogo
RM	–	Resistência mecânica
RLQ	–	Retração linear de queima
RLT	–	Retração linear total
AA	–	Absorção de água
Aspacer	–	Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	FORMAÇÃO CORUMBATAÍ (FC).....	15
2.1.1	Localização e vias de acesso.....	16
2.1.2	Geologia local.....	18
2.1.3	Importância do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.....	19
2.2	MATERIAIS CERÂMICOS.....	19
2.3	REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	20
2.3.1	Classificação de revestimentos cerâmicos.....	20
2.4	ENSAIOS CERÂMICOS.....	21
2.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS.....	21
2.5.1	Análise multivariada.....	21
2.6	MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	22
2.7	MODELO GEOLÓGICO E TECNOLÓGICO.....	22
2.7.1	Conceito.....	23
2.7.2	Erros associados.....	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	29
3.2	ANÁLISE TECNOLÓGICA E ESTATÍSTICA DOS DADOS LEVANTADOS. .	29
3.3	ANÁLISE POR AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSIS) UTILIZANDO DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	29
3.4	ANÁLISE DE AMOSTRA REPRESENTATIVA.....	31
3.5	MODELO GEOLÓGICO E MODELO TECNOLÓGICO.....	31
3.5.1	Dados para a modelagem.....	31
3.5.2	Modelo geológico.....	36
3.5.3	Modelo tecnológico.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1	ANÁLISE POR AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSIS).....	41
4.1.1	Dendrograma e agrupamentos.....	42
4.1.2	Características de amostra representativa do agrupamento.....	48
4.2	MODELO.....	58
4.2.1	Modelo tecnológico.....	58

5	CONCLUSÕES.....	69
5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	72
	APÊNDICES.....	76

1 INTRODUÇÃO

As atividades desenvolvidas nesta dissertação, sob orientação da Prof.^a Dra. Carolina Del Roveri, buscaram dar continuidade a trabalhos executados, tanto no âmbito da UNIFAL-MG, como em instituições externas, como UNESP Rio Claro e IPT.

Em trabalhos anteriores observou-se como ponto comum para o conhecimento da matéria-prima, a caracterização mais detalhada das argilas e modelagem do corpo mineral existente na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG).

O presente trabalho baseia-se no fato de que o PCSG é o maior produtor nacional de pisos e revestimentos cerâmicos e de que as matérias-primas, utilizadas pela grande maioria das indústrias daquela região, são extraídas localmente. Entretanto, embora a extração seja feita legalmente, de acordo com as normas vigentes, o plano de lavra pode ser melhorado com a criação do modelo geológico-tecnológico, em que as regiões extraídas possam ser melhores conhecidas, propiciando melhor aproveitamento do material e possível de redução de custos e passivos ambientais

Os dados utilizados na execução deste projeto são oriundos do Banco de Dados do Grupo de Pesquisa “Recursos Minerais Metálicos e Não-Metálicos, Linha de Pesquisa “Qualidade em Cerâmica”, criada em 1996 pelo Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP Rio Claro. O banco de dados consta como anexo da tese de Roveri (2010), defendida na citada universidade e disponibilizada em versão eletrônica na página <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102977>>

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral do presente projeto foi realizar a modelagem geológica e tecnológica de uma área de extração mineral utilizada pelas indústrias do PCSG, com base na caracterização tecnológica da matéria-prima, utilizando métodos estatísticos para a correlação de propriedades cerâmicas.

Além disso, também teve como objetivo a classificação das amostras utilizando-se de agrupamentos, com características cerâmicas, a fim de facilitar a

identificação da matéria-prima através de comparação a partir de difrações de Raios X.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este projeto teve por justificativa o fato de que o PCSG, embora seja o maior produtor nacional de pisos e revestimentos cerâmicos, não possui um modelo geológico-tecnológico característico de sua área, sendo que cada empresa/indústria que deseje trabalhar com esta matéria-prima deve caracterizar seu próprio material e necessita de conhecimento de seu material. Isso acarreta em problemas de aplicação, visto que podem ser utilizadas argilas que não tenham a composição necessária ao padrão de qualidade, além de riscos de escassez de determinado tipo de matéria-prima com determinada característica específica (e falta de aplicação para outras). Os problemas de uso e gestão desses recursos minerais podem ser orientados pelo modelamento do corpo de minério em questão.

Um dos principais pontos que justificava a falta de um modelo é que o bem mineral em questão, a argila, não possui um valor agregado alto. Porém, devido à grande atividade industrial, a quantidade de material extraído acaba sendo elevada, o que acarreta em grandes investimentos para a extração, demonstrando neste caso a importância da criação deste produto, além de evitar possível lavra predatória.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica descreve sobre a Formação Corumbataí, materiais cerâmicos, revestimentos cerâmicos, ensaios cerâmicos, tratamento estatístico de dados, modelagem computacional e modelo geológico e tecnológico.

2.1 FORMAÇÃO CORUMBATAÍ (FC)

A Formação Corumbataí (FC) é a unidade geológica considerada principal para o fornecimento das argilas usadas na fabricação de pisos e revestimentos do PCSG. Está inserida no Grupo Passa Dois, na Bacia Sedimentar do Paraná, que possui uma área de aproximadamente 1,6 milhões km² (sendo 1,0 milhão km² no Brasil), com até 7000 metros de espessura (ROVERI, 2010). Cabe salientar que embora possa atingir tal profundidade, a matéria-prima extraída pelas indústrias da região do PCSG possuem a profundidade máxima de 70 metros. A Figura 1 ilustra a localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil.



Figura 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil.
Fonte: Taioli (2000).

2.1.1 Localização e vias de acesso

A área de estudo do PCSG está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo, envolvendo a Formação Corumbataí, tendo a cidade de Santa Gertrudes como ponto de referência, abrangendo outras cidades como Rio Claro, Cordeirópolis, Limeira e Araras. A Figura 2 ilustra a localização geográfica da área em que será desenvolvido o estudo, além das minas de extração de argila.

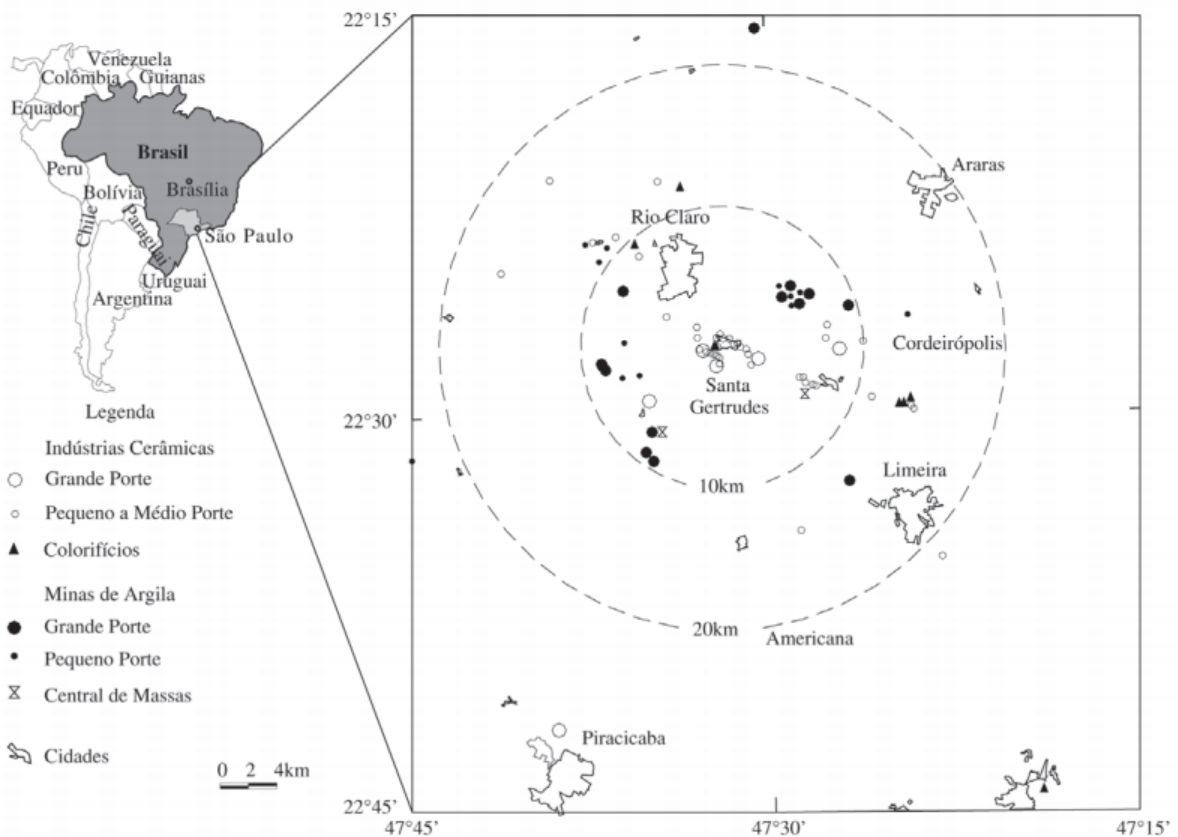


Figura 2 – Localização da área de estudo e distribuição de minas de argila.
Fonte: (MOTTA et al., 2004)

A região de estudo possui diversas rodovias que se interligam, garantindo facilidades no transporte de matéria-prima entre os locais de extração e a fábrica. Também se destaca a facilidade de logística dos produtos para outras regiões, em especial pela Rodovia Washington Luiz (SP-310), que permite o rápido escoamento da produção.

Outras cidades, em especial Cordeirópolis que se encontra em área de entroncamento de grandes rodovias do estado de São Paulo - rodovia Bandeirantes, Anhanguera e Washington Luiz - também possuem ótimas condições de logística de seus produtos, proporcionando ao PCSG facilidades no que tange o transporte de material.

Estas conexões por rodovias são de extrema importância para o PCSG, visto que os levantamentos realizados por Rocha (2012) indicam que algumas indústrias estão, em média, distantes até 30 km de suas minas de exploração, com custos de quase R\$12,00 por tonelada entre o custo operacional e transporte do minério. Algumas empresas mantêm minas para retirada de argila em regiões mais afastadas que as informadas. Isto deve-se ao fato que algumas matérias-primas podem ser

utilizadas como corretivos nas massas (por serem mais refratárias, ou menos duras) e se encontram em localidades específicas.

2.1.2 Geologia local

A Bacia do Paraná é composta por uma variedade de rochas, observada em diversas unidades, como Grupo Itararé e Formações Tatuí, Irati, Corumbataí, Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Rio Claro (AZZI, 2014; BERNARDES, 2005; ROVERI, 2010).

A Formação Corumbataí (FC) pertence à porção superior do Grupo Passa Dois, que pertence à Bacia do Paraná. Seu contato concordante é com a unidade subjacente, Formação Irati e discordante com a unidade sobrejacente, Formação Pirambóia ou Rio Claro (ZANARDO, 2003).

A Formação Irati, unidade subjacente, é subdividida em dois membros: Taquaral (base), de natureza praticamente pelítica, sendo constituída por argilitos, folhelhos e siltitos, podendo conter pirita; e Assistência (topo), que contém litotipos mais variados, como dolomitos e folhelhos pirobetuminoso e piritosos. Cabe salientar que a Formação Irati é basicamente carbonática, podendo possuir contribuição autigênica na formação de argilominerais (AZZI, 2014; RAMOS, 1975).

Já a Formação Pirambóia, sobrejacente, é formada por arenitos médios e finos, em alguns locais conglomeradas, possuindo estratificação cruzada acanalada e planar, devido ao acúmulo de sistema continentais fluvio-eólicos associados com lagos rasos e localizados (AZZI, 2014; ASSINE; PIRANHA; CARNEIRO, 2004).

Estudos realizados por Sousa (1985) descrevem os principais litotipos encontrados na região da Formação Corumbataí como siltitos argilosos, folhelhos sílticos, arenitos carbonáticos, sílticos e argilosos, argilitos e calcários. A autora também salienta que os ciclos de sedimentação entre os siltitos e argilitos podem caracterizar a formação de ritmitos. Além disso, possui características que indicam que a sedimentação foi do tipo ambiente marinho raso, com deposição por decantação de siltitos argilosos, afastados da costa, em águas tranquilas (AZZI, 2014; BERNARDES, 2005).

A espessura da FC varia de 130 metros, afinando para o norte, até quase zero próximo a Minas Gerais. Porém, na região próxima as cidades de Leme, Pirassununga e Limeira, a espessura não ultrapassa 60 metros (LANDIM, 1970). Bernardes (2005) salienta que em regiões de menor espessura há possibilidade de

que a unidade esteja sobreposta pela Formação Rio Claro, ou até mesmo exposição de áreas à erosão.

Segundo Rocha (2012), as porções onde se encontram rochas maciças, laminadas, às vezes bandada ou de granulação fina são as preferidas para as minerações de argila da região. Já Zanardo (2003) pontua que todas as regiões da FC são aproveitadas, com exceção de locais com alta taxa de intemperismo ou contaminadas.

2.1.3 Importância do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes

O PCSG tem grande importância no cenário estadual e nacional na fabricação de revestimentos cerâmicos. Segundo dados de Aspacar (2016), foram produzidos cerca de 510 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos, com 9500 empregos diretos e mais de 200 mil indiretos em todo o país.

Em relação à qualidade da matéria-prima da região do PCSG, o trabalho realizado por Roveri (2010), de caracterizar a região através dos mais diversos ensaios, permitiu concluir que a área estudada possui alta qualidade de recursos naturais, sendo necessário um modelamento do corpo para se aumentar o aproveitamento do local.

O trabalho realizado por Azzi, Curtulo e Zanardo (2015) buscou estudar a influência da temperatura na secagem forçada da matéria-prima cerâmica, de modo a melhorar o produto final criado no PCSG. Já Bernardes (2005) estudou quais eventos diagenéticos influenciaram no metamorfismo de contato da matéria-prima (em relação à presença dos corpos magmáticos na região) e como estas mudanças influenciaram, também, na qualidade do produto final.

Além destes trabalhos, Christofolletti (2003) buscou relacionar diversas características geológico-tecnológicas da região estudada, e Masson e Colaboradores (2000) utilizaram diversas análises de caracterização e mapeamento do local para criarem mapas com separação em litofácies específicas, com correlações estratigráficas entre diversas minas que foram pesquisadas.

2.2 MATERIAIS CERÂMICOS

Materiais cerâmicos são dependentes, majoritariamente, de sua composição química e tipo de estrutura. Podem ser produzidos materiais eletrônicos, de alto

desempenho, componentes de processamento químico, dentre outros tipos. Suas funções são definidas de acordo com suas propriedades, tais como materiais cerâmicos elétricos, magnéticos, nucleares, ópticos, mecânicos, termais, químicos, biológicos e estéticos (REED, 1995).

Dentre os materiais cerâmicos mecânicos, destacam-se os de utilização estrutural, os que possuem resistência ao desgaste, os que são utilizados para ferramentas de corte, os utilizados como abrasivos e os utilizados como revestimentos cerâmicos (REED, 1995).

2.3 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Com base nos tipos de cerâmicas detalhadas, o foco do presente trabalho foi em revestimentos cerâmicos.

Assim sendo, fez-se necessária a interpretação de ensaios de caracterização das argilas que foram utilizados para este fim, em que os principais métodos utilizados por Roveri (2010) em seu trabalho foram:

- a) Difração de raios X;
- b) Análise química por fluorescência de raios X;
- c) Densidade de corpos de prova a verde e pós-queima;
- d) Retração linear após secagem e após queima;
- e) Resistência mecânica à flexão;
- f) Absorção de água;
- g) Porosidade aparente.

Com o conhecimento destas informações, pode-se buscar uma correlação entre eles, criando-se um modelo geológico-tecnológico, prevendo o comportamento do solo a partir de poucos parâmetros observados.

2.3.1 Classificação de revestimentos cerâmicos

A NBR 13817/97 determina os índices para classificação de placas cerâmicas para revestimento (ABNT, 1997).

A classificação pode ser feita a partir de:

- a) Esmaltadas ou não esmaltadas;
- b) Métodos de fabricação;
- c) Grupos de absorção de água;

- d) Classes de resistência à abrasão superficial, em número de 5;
- e) Classes de resistência ao manchamento, em número de 5;
- f) Classes de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- g) Aspecto superficial ou análise visual

2.4 ENSAIOS CERÂMICOS

Os ensaios cerâmicos realizados para caracterização preliminar das matérias primas foram realizados com referencial de terminologia, classificação e procedimentos de ensaios e normas conforme:

- a) NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia (ABR/1997);
- b) NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento – Classificação (ABR/1997);
- c) NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio (Abril/1997), anexos: Anexo B-Determinação da absorção de água; Anexo C-Determinação da carga de ruptura e módulo de ruptura a flexão e Anexo T-Grupos de absorção de água.

2.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS

O tratamento estatístico de dados é considerado uma ferramenta fundamental para um bom entendimento de fenômenos geológicos, pois proporciona a possibilidade uma melhor interpretação da geologia local (LANDIM, 2000).

É possível, a partir do conhecimento total da área cuja matéria-prima que será explorada, realizar o planejamento da lavra, delimitando os locais em que deve ser feito o desmonte, eliminando gastos desnecessários.

Sendo assim, um bom modelo do corpo geológico em estudo permite uma redução nos gastos do empreendimento, visto que os custos poderão ser estimados com maior precisão, proporcionando um melhor cenário futuro.

2.5.1 Análise multivariada

A análise multivariada se propõe a explicar as relações entre diferentes variáveis e possui duas características principais: os valores das variáveis devem ser obtidos do mesmo indivíduo estudado, além de serem variáveis interdependentes e consideradas simultaneamente (LANDIM apud Kendal, 2000).

Segundo Landim (2000), tratando-se de recursos minerais, os métodos frequentemente utilizados são as análises de agrupamento, a análise fatorial e a análise discriminante.

Sendo assim, para este projeto foi utilizada a análise por agrupamento (*cluster analysis*), onde foram analisados diversos difratogramas de Raios X, que possibilitaram a interpretação de centenas de difratograma em questão de minutos, norteando os ensaios subsequentes, a partir das famílias geradas.

Os métodos para a análise de agrupamento foram os mesmos utilizados por Antoniassi (2015) e Shimizu (2012) em seus respectivos trabalhos. Estes métodos se mostraram interessantes ao se trabalhar com grandes conjuntos de dados, dentro de contextos de mesma matéria-prima.

2.6 MODELAGEM COMPUTACIONAL

A palavra modelo possui diversos significados na língua portuguesa. Segundo o Dicionário Michaelis (2016), dentre as definições existentes, modelo pode ser definido com objeto que se destina a ser reproduzido por imitação, réplica tridimensional de algo, de tamanho natural, ampliada ou reduzida, usada como recurso didático, como o corpo humano ou partes isoladas, além de esquema de representação de um fenômeno ou conjunto de fenômenos físicos e eventualmente a previsão de novos fenômenos, tendo-se como base um determinado número de leis físicas.

A partir da definição de modelo, no âmbito da mineração, a utilização de um modelo para se conhecer quais situações são esperadas em determinadas regiões de interesse tornam-se atraentes, visto que é possível estimar quais serão os minérios e minerais de interesses que possam ser encontrados na região estudada.

Porém, por se tratarem de instrumentos que demandam de alta complexidade nas avaliações, torna-se necessário o uso de ferramentas computacionais, que correlacionam as mais diversas características que contenham informações.

2.7 MODELO GEOLÓGICO E TECNOLÓGICO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos sobre os modelos, além de erros associados durante o processo de modelagem.

2.7.1 Conceito

Segundo Paredes Otoyá (2011), um modelo geológico busca compreender os eventos geológicos que possam ter ocorrido no depósito, a partir dos mais diversos dados, como furos de sondagem, mapeamentos superficiais, ensaios realizados, dentre outras variáveis passíveis de serem analisadas.

Dentro do contexto de modelo geológico, no livro *“Introduction to mineral exploration”* dos autores Moon, Whateley e Evans (2006) são apresentados diversos modelos sobre rochas sedimentares. No entanto, no citado livro e em outras publicações da área não tratam sobre mineralizações de argilas e argilominerais, que são o enfoque deste trabalho.

As informações que mais se assemelham ao depósito estudado são discutidas por Biondi (2003), com sua classificação e descrição de modelos genéticos definidos como “Depósito de Argilas Cerâmicas”, de ambientes lacustres e/ou em planícies de inundação, dentro de um sistema sedimentar continental. Dentro deste modelo, são exemplificados depósitos com argilas caulínicas, refratárias e tipo *ball clay*, caulim e bentonita de diversas localidades, não existindo informações de argilas da região em estudo.

Segundo Biondi (2003), depósitos do ambiente geológico do subsistema mineralizador sedimentar continental dependem de água de drenagens superficiais, sendo o agente transportador dos minerais, não havendo interação entre eles. Há exceção das dunas de rutilo, ilmenita e zirconita que são formados através dos ventos. Como pode ser observado na Figura 3, outras formas de depósitos podem ocorrer, porém não são a abordagem principal deste trabalho.

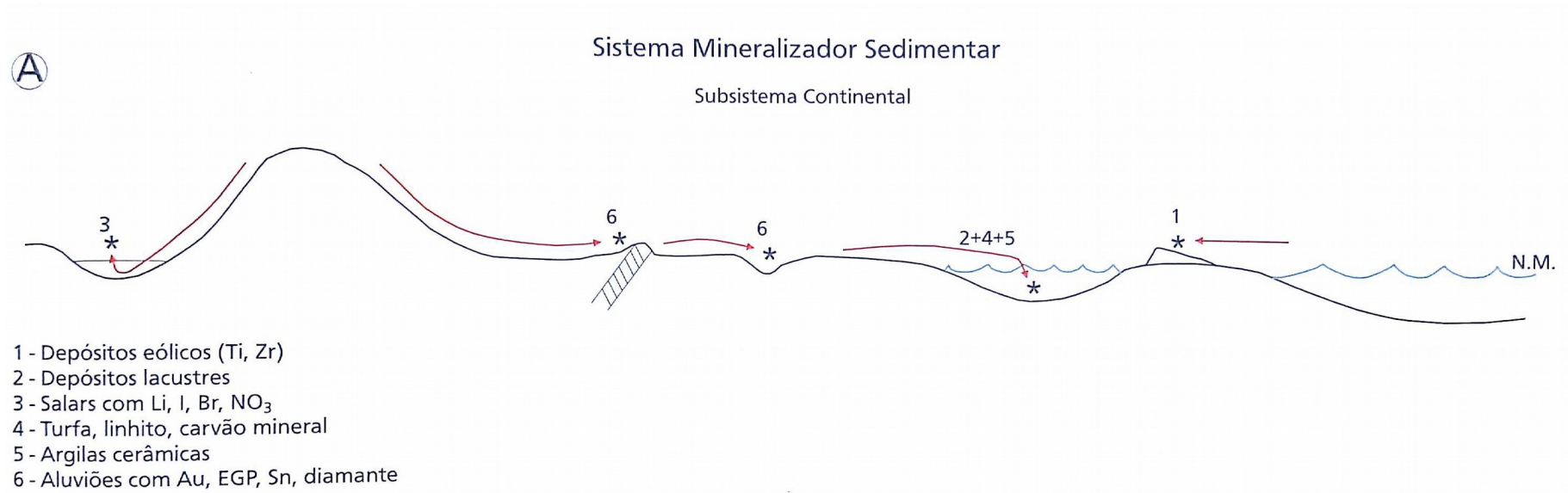


Figura 3 – Esquema de formação de depósitos minerais do sistema mineralizador sedimentar.
 Fonte: Biondi (2003).

A Figura 4 sintetiza todos as possíveis gêneses de depósitos minerais, considerando as três vias principais: hidatogênico, hidatogênico-sedimentar e sedimentar, além dos tipos de depósitos que podem ser observados neste sistema mineralizador sedimentar. Depósitos sedimentares hidatogênicos são aqueles formados a partir de fluidos aquosos cristais que percolam por rochas sedimentares, ou mesmo por sedimentos (BIONDI, 2003).

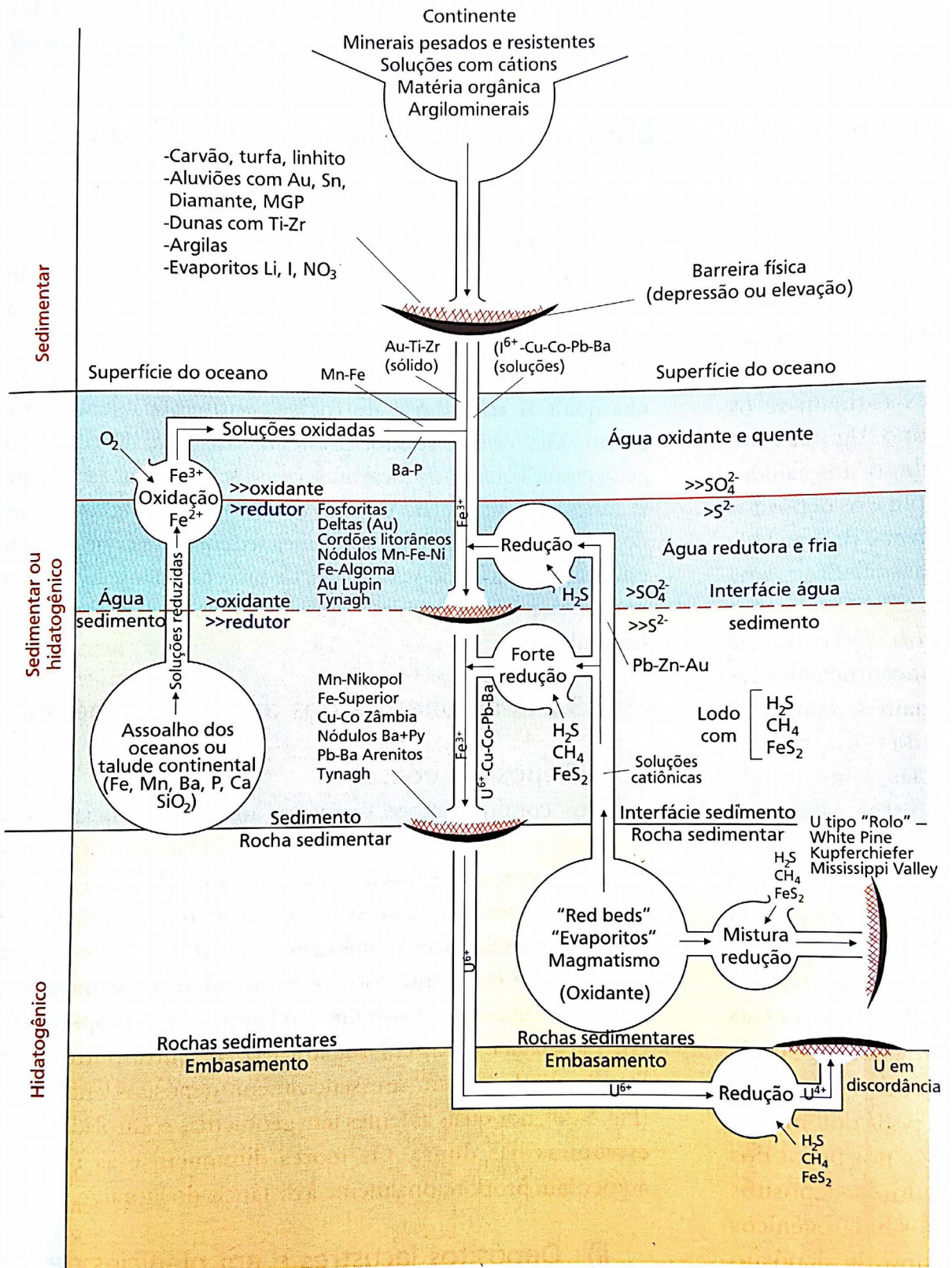


Figura 4 – Esquema do processo mineralizador geral do sistema mineralizador sedimentar. Fonte: Biondi (2003).

Os dois tipos de depósitos que mais se assemelham com o de objeto de estudo são os depósitos estratiformes e os *Red Beds*, exemplificados na Figura 4.

Com o esquema é possível observar que tanto os depósitos estratiformes quanto os *Red Beds* derivam de um sistema hidatogênico, onde passam por redução em intenso contato com água fria e oxidação pós contato com água quente, sendo posteriormente dispostos conforme haja depressões ou elevações, para deposição dos corpos argilosos. Nota-se que cada tipo de depósito é gerado de acordo com eventos característicos, onde se há elementos bem definidos, como os próprios *Red Beds*, que são formados em aquíferos confinados, por salmouras oxidadas, após atravessar diversas camadas que contém, por exemplo, matéria orgânica e é rica em pirita; já as argilas são, em sua maioria, silicatos de alumínio, contendo ou não ferro e magnésio, ou potássio, que formam depósitos sempre acamadados, de grande extensão horizontal (BIONDI, 2003).

Em relação às mineralizações associadas, acima das argilas são encontrados depósitos de carvão mineral, compostos por camadas de arenitos e conglomerados flúvio-glaciais. Salienta-se que se não houver a evolução completa do carvão mineral, pode-se encontrar turfa ou linhito. Assim, há a formação do depósito de argila, com base em sistema onde o clima, a constituição do solo e a oxidação presente não permite a preservação da camada de matéria orgânica vegetal (BIONDI, 2003).

Assim como o modelo geológico, a criação de um modelo tecnológico para corpos argilosos possui poucos autores tratando sobre o assunto, sendo difícil a comparação com possíveis métodos de trabalho. Por isso, foi estudada a hipótese de se utilizar ensaios cerâmicos como agentes qualitativos, para se gerar dados suficientes para a criação do modelo.

Deste modo, o modelo é criado correlacionando as informações obtidas com os ensaios cerâmicos, aliados de pontos georreferenciados.

2.7.2 Erros associados

Quando há avaliação de depósitos minerais, sempre há necessidade de que os dados sejam os mais fiéis possíveis à realidade da lavra. Porém, diversos erros causam incertezas no projeto. Segundo estudos realizados por Sinclair and Blackwell (2002) e descritos por Souza (2007), os possíveis erros são erros grosseiros com os dados originais, de amostragem e análise, devido a variações

naturais, na aquisição de dados e de processamento computacional, os quais serão minimizados durante a elaboração deste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho, com o levantamento bibliográfico, análise tecnológica e estatística dos dados, análise por agrupamento (cluster analysis) utilizando difração de Raios-X, análise de amostra representativa e modelos geológico e tecnológico

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Foi realizado o levantamento bibliográfico e análise dos dados provenientes da Linha de Pesquisa “Qualidade em Cerâmica”, de acordo com trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e artigos publicados sobre o tema.

Posteriormente, os dados da área escolhida para este estudo foram analisados e tratados pelos métodos estatísticos descritos neste projeto, para a criação dos grupos a partir da análise de agrupamento (*cluster analysis*)

Os dados de amostras georreferenciadas são necessários para a criação dos modelos geológico e tecnológico da área.

3.2 ANÁLISE TECNOLÓGICA E ESTATÍSTICA DOS DADOS LEVANTADOS

Foram realizadas análises buscando a correlação das propriedades tecnológicas, como absorção de água e porosidade, mineralogia e composição química das matérias-primas em relação ao posicionamento geológico em que ocorrem na natureza, buscando maneiras de se aproveitar melhor a matéria-prima, tanto em relação à fabricação dos materiais cerâmicos como também em relação às questões ambientais (minimização de impacto).

3.3 ANÁLISE POR AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSIS) UTILIZANDO DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A análise por agrupamento (*cluster analysis*) foi realizada utilizando ferramentas do software *HighScorePlus version 2.0a*, permitindo classificação por correlação hierárquica de similaridade de composição mineralógica, por posição e intensidade dos picos, de cada difratograma. Este programa foi utilizado em função de apresentar diversas ferramentas voltadas à análise de agrupamento, comparado a outros disponíveis no mercado.

Os difratogramas, por estarem em condições iniciais de coleta distintos, deverão ser padronizados, a fim de facilitar a avaliação por parte do programa *HighScorePlus*.

Cabe salientar que os difratogramas utilizados para a elaboração deste trabalho foram de amostras naturais, utilizando informações de amostras totais, glicoladas e queimadas apenas para identificação de mineralogia.

Por este motivo, foi realizado o procedimento denominado *Background*, que visou padronizar, para cada difratograma, na faixa de 20 graus na Posição 2θ (dois theta), a intensidade entre 550 e 750 *counts*.

Após este procedimento, os difratogramas foram inseridos no programa e a análise pode ser realizada.

Para a realização da análise, foram adotadas as seguintes condições, de acordo com os trabalhos dispostos na revisão bibliográfica:

- a) Fonte de dados de perfil e posição;
- b) Comparação do tipo de posição e intensidade;
- c) Comparação Thresold: 0,10%;
- d) Allow Pattern Shifts: Yes;
- e) Medida de distância Euclidiana;
- f) Alfa: 0,50;
- g) Cristalinidade mínima: 5,00%;
- h) Método de ligação: Average Linkage;
- i) Definição manual de grupos (*cut-off*): 150 (adimensional).

Estes parâmetros operacionais do presente trabalho foram definidos com base em trabalhos recentes descritos na literatura.

De acordo com experiência dos operadores do equipamento de difração e que trabalham com o *software* utilizado para a análise de agrupamento, foi definido o *cut-off* em 150, de modo com que este valor de corte de semelhança entre os grupos faça com que sejam criados seis grupos para análise.

Como base de mineralogia, os minerais de interesse para se realizar a distinção entre os grupos foram: carbonatos, caulinita, illita, montmorillonita, quartzo e albita, sendo que a identificação mineralógica foi feita para a amostra média dos grupos, obtida através de comparação dos difratogramas com o banco de dados do *Internacional Centre for Diffraction Data* (ICDD, 2003).

3.4 ANÁLISE DE AMOSTRA REPRESENTATIVA

Após a realização da análise por agrupamento, cada *cluster* pode ser representado por uma amostra média, que é a mais representativa para cada grupo, comparando-a com as demais do agrupamento.

Deste modo, foram observadas e analisadas as características obtidas pelos ensaios cerâmicos para cada amostra representativa, a partir de técnicas já explicitadas.

As características observadas foram:

- a) A verde: umidade (%), densidade (g/cm^3), retração linear após secagem (%) e resistência mecânica (Kgf/cm^2);
- b) Após queima à 1070 °C e à 1120 °C: perda ao fogo (%), retração linear de queima e retração linear total (%), resistência mecânica à flexão (Kgf/cm^2), absorção de água (%), porosidade aparente (%) e densidade aparente (g/cm^3).

Estas características foram observadas para cada grupo e analisadas como um todo, para todos os agrupamentos gerados.

3.5 MODELO GEOLÓGICO E MODELO TECNOLÓGICO

3.5.1 Dados para a modelagem

Os dados para a modelagem geológica e tecnológica foram obtidos a partir do levantamento bibliográfico realizado na Linha de Pesquisa “Qualidade em Cerâmica”.

Com este levantamento, foram obtidas informações a partir de 149 furos de sondagem, posteriormente reduzidos à 140, sendo possível obter dados como composição química dos elementos em maioria em porcentagem de óxidos, além de características cerâmicas de cada matéria-prima, como umidade, densidade, retração linear e resistência mecânica, para peças a verde, perda ao fogo, retração de queima e total, resistência mecânica à flexão, absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente para peças após queima à 1070 °C e 1120 °C.

Devido às características do material estudado e a disposição dos dados, o método do Inverso da Distância ao Quadrado (IQD) foi utilizado para se realizar a modelagem.

Salienta-se que cada furo de sondagem está georreferenciado, a fim de se poder, a partir dos dados obtidos com ensaios, realizar-se a modelagem tanto geológica quanto tecnológica.

O programa computacional *Micromine Mining Software* foi utilizado para a modelagem geológica e tecnológica. Utilizou-se este programa em função da disponibilidade de licenças existente na UNIFAL-MG.

Como base para a elaboração dos modelos, foram utilizados mapas com informações sobre a geologia completa da região, além do mapa de pontos coletados que serão utilizados.

As Figura 5, Figura 6 e Figura 7 mostram os mapas que foram utilizados para auxílio na elaboração dos modelos propostos.

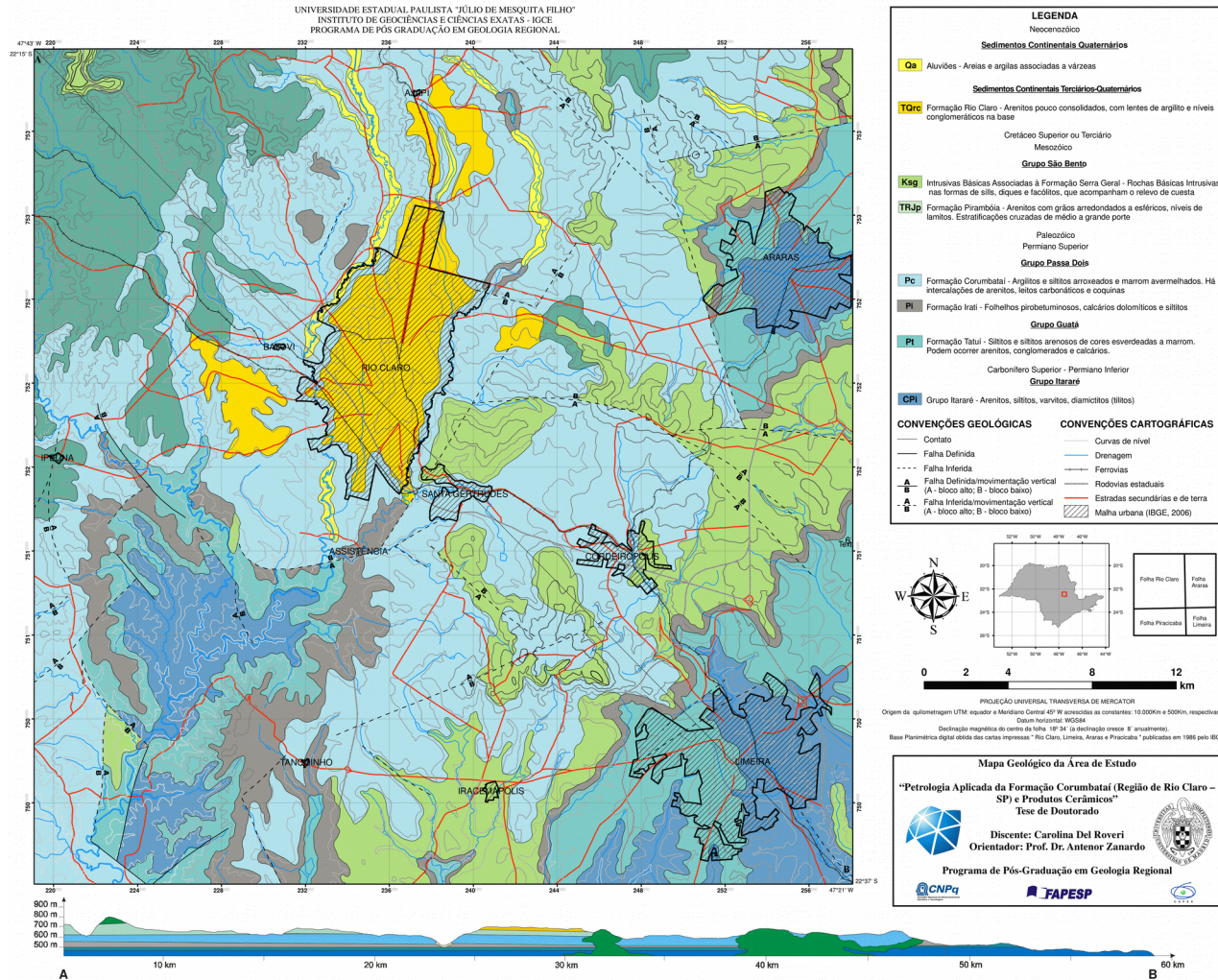


Figura 5 – Mapa geológico da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.
Fonte: Roveri (2010).

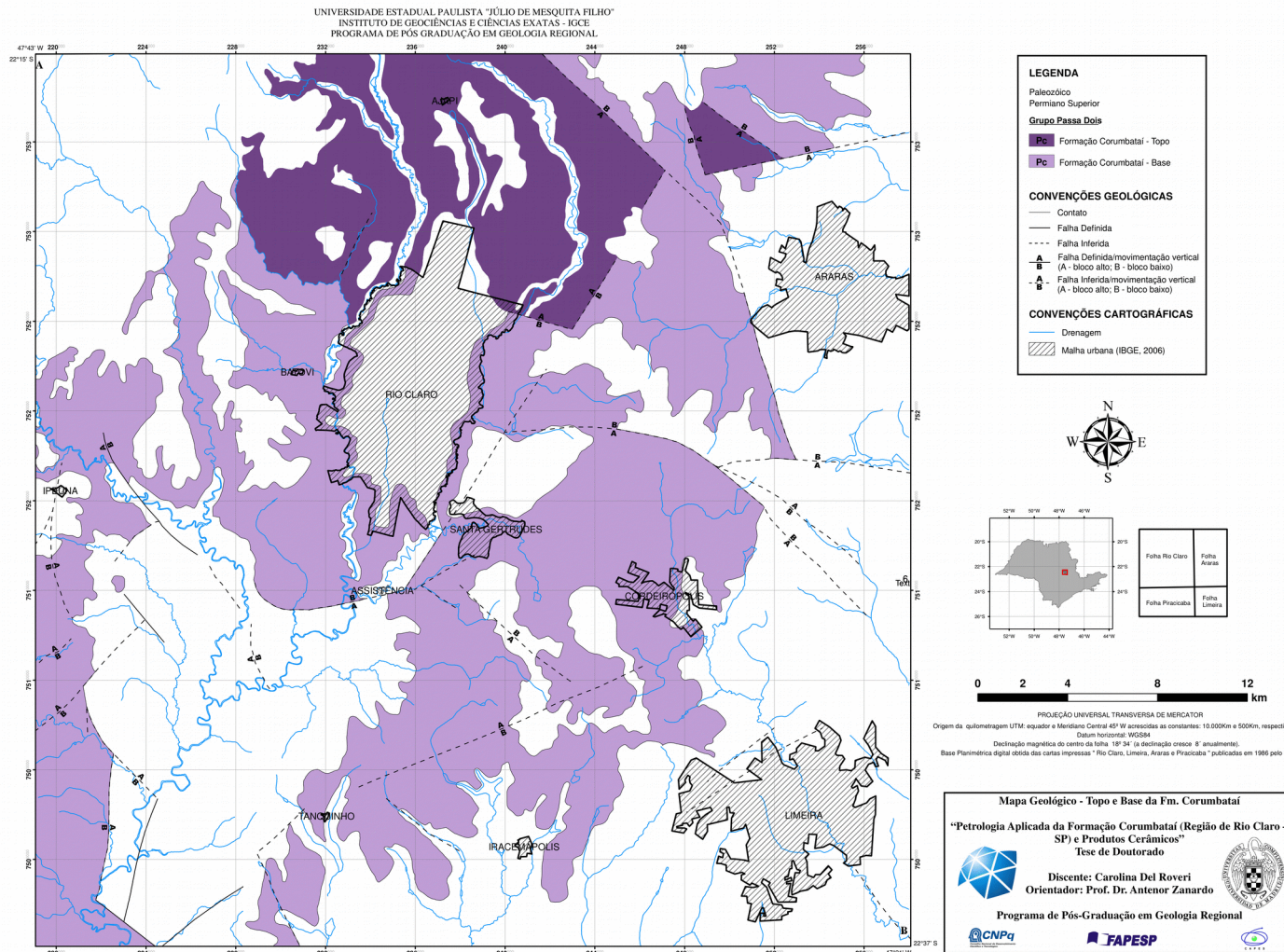


Figura 6 – Mapa geológico da Formação Corumbataí da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.
Fonte: Roveri (2010).

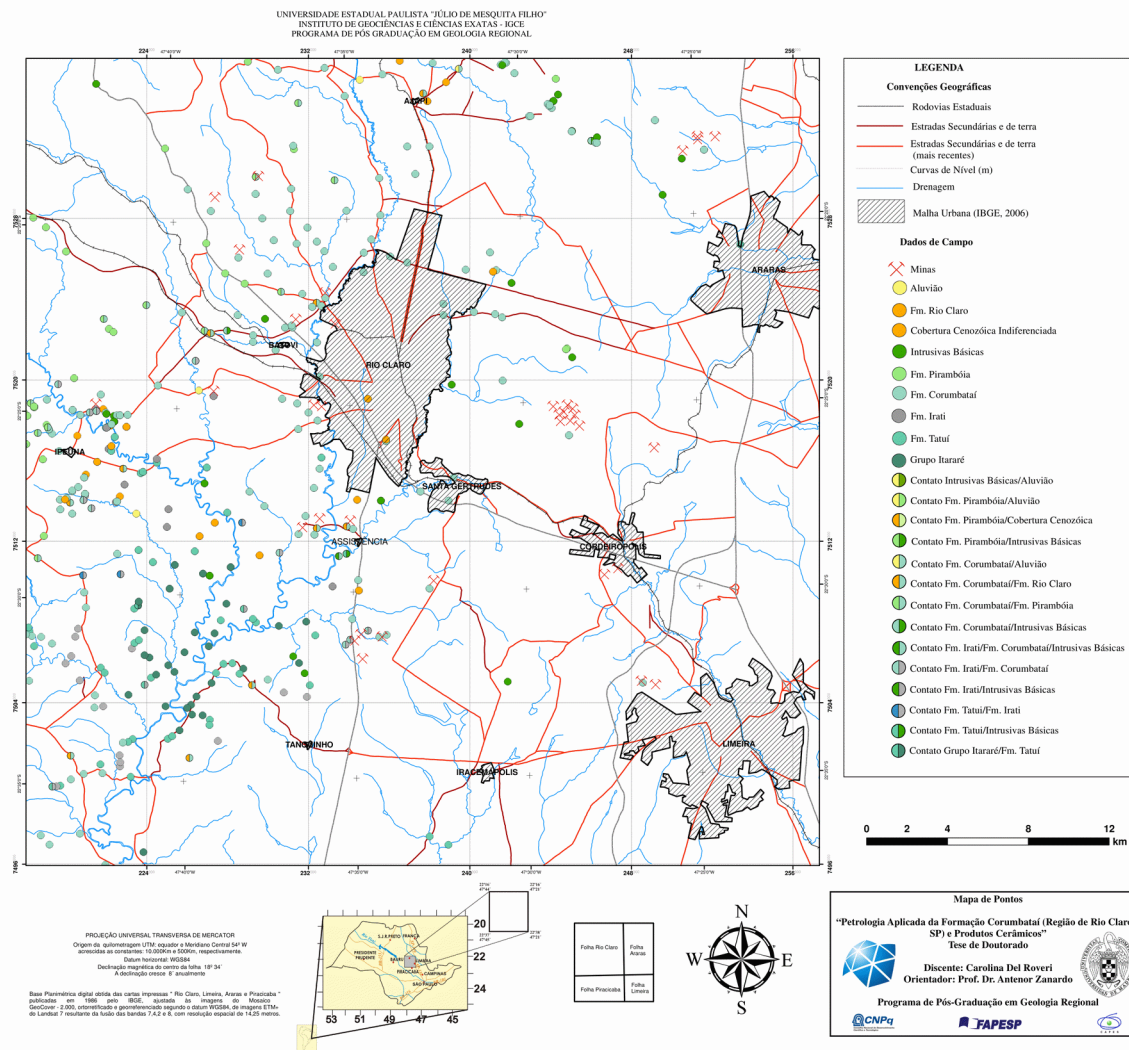


Figura 7 – Mapa de pontos coletados para estudo da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. Fonte: Roveri (2010).

3.5.2 Modelo geológico

Com base em análise preliminar, a modelagem geológica não foi realizada neste trabalho, sendo sugerida para trabalhos futuros. Isso se deve ao fato de que alguns dos dados disponíveis para análise não têm continuidade em profundidade, dificultando a projeção em três dimensões.

3.5.3 Modelo tecnológico

Como foi verificado na literatura pertinente (CHRISTOFOLLETTI et al, 2015; ROCHA, 2012; ROVERI, 2010; entre outros), há diversos ensaios cerâmicos a fim de se obter a caracterização completa das matérias-primas utilizadas pelo PCSG. Porém, para facilitar a compreensão dos modelos gerados, em relação aos ensaios, serão utilizados os resultados de absorção de água e resistência mecânica após queima em 1120 °C, além da porcentagem de SiO₂ e Al₂O₃.

Usualmente, quando se realiza análise de furos de sondagem, todas as informações contidas no furo são analisadas, gerando diversos resultados por furo. Neste projeto, entretanto, as informações analisadas foram escolhidas de acordo com a litologia (argilitos/siltitos para uso cerâmico) que se desejava obter informações, tendo-se apenas um resultado de ensaios e litologia por furo de sondagem realizado.

Para se iniciar o processo de modelagem, os dados dos ensaios de cada furo que serão utilizados para a modelagem devem ser agrupados em arquivos “.txt”, a fim de se facilitar a importação pelo programa *Micromine*.

Sendo assim, as informações foram inseridas em três arquivos, dispostos no apêndice deste trabalho:

- a) *Assay*: informações com identificação do furo, profundidade das informações e quais dados estão presentes;
- b) *Collar*: informações com identificação do furo e coordenadas X, Y e Z;
- c) *Geology*: informações com identificação do furo, espessura analisada e tipo de rocha presente.

Há casos de modelagem em que se torna necessário outro arquivo denominado “*Survey*”, utilizado quando os furos executados não estão dispostos a

90 graus da superfície. Como todos os furos estão paralelos à superfície, não há necessidade deste arquivo de informações.

Com estes arquivos devidamente preenchidos e formatados para inserção no programa *Micromine*, o banco de dados para o projeto está pronto.

Dentro da plataforma do programa, antes de serem gerados os modelos, devem-se adotar rotinas.

Inicialmente deve ser realizada a junção dos três arquivos “.txt” em apenas um arquivo, dentro da plataforma do programa.

Posteriormente é realizada a criação das compósitas, a fim de padronizar as informações, que serão observadas em intervalos de 5 em 5 metros de profundidade em cada furo de sondagem.

Primeiramente, para se criar o modelo desejado, deve ser criado um modelo de blocos em branco, a fim de se inserir os dados obtidos através de métodos estatísticos. O modelo de blocos em branco deve ter tamanho suficiente para que todos os dados existentes dos furos de sondagem estejam contidos nele, visto que será a partir deste modelo de blocos, após preenchimento dos dados obtidos, poderá ser realizada a estimativa de teores para blocos que não contenham informações e realizada a análise proposta neste trabalho.

Deste modo, devem ser definidas coordenadas mínimas, máximas e tamanho de blocos que serão criadas pelo programa. Os valores das coordenadas são definidos através da visualização dos furos na interface do programa, onde são observados os valores que façam conter os dados existentes no modelo de blocos, que embora estejam em UTM, para o programa são consideradas como adimensionais.

Assim, as coordenadas mínimas e máximas são:

- a) X = coordenada mínima: 7444000 e coordenada máxima: 7544000;
- b) Y = coordenada mínima: 196680 e coordenada máxima: 246680;
- c) Z = coordenada mínima: 460 e coordenada máxima: 685.

Com a definição das coordenadas, também deve ser informado o tamanho dos blocos. Para este projeto, o tamanho dos blocos foi definido em 200x200x5 metros, em função da escala da área utilizada, pelas características dos corpos argilosos e pela utilização do método de estimativa, descrito a seguir. Devido à continuidade lateral, os blocos podem conter 200 metros de extensão, que ainda

assim serão representativos, além de que, blocos com tamanhos menores ocasionariam o trabalho com uma quantidade exorbitante de blocos, não sendo interessante para este trabalho, devido às características do material estudado. Porém, como os furos de sondagem apresentam dados com pequena variação de altura, o bloco deve ter pouca espessura, para que a análise seja mais precisa.

A definição do método de estimativas que foi utilizado para extrapolar os dados de cada furo para regiões próximas deve considerar o tipo de depósito analisado, além de trabalhos já realizados.

Deste modo, como não há nenhum modelo que descreva depósitos de argila, esta vertente não será utilizada. Sendo assim, o fator de que os depósitos argilosos possuem alta continuidade horizontal, torna-se viável a utilização do método do Inverso do Quadrado da Potência (IQD) (ANEELS, 1991).

Este método baseia-se em atribuir pesos a cada mostra de acordo com a distância de onde se deseja estimar, tendo como função:

$$V(x) = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{1}{di^p} * Vi}{di^p} \quad (1)$$

sendo:

- a) d_i = distância de cada n amostra até o ponto que será estimado;
- b) v_i = teor da amostra;
- c) p = potência utilizada;
- d) $V(x)$ = amostra onde terá o teor estimado.

A Tabela 1 mostra quais as vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do método IQD.

Vantagens e aplicações	Desvantagens
Resultados mais fiéis ao se comparar com outros	Escolha da potência é subjetiva
Utiliza blocos vizinhos para estimar	Puramente matemático
Simple de calcular	Não considera geologia ou anisotropias
Bom para depósitos com continuidade lateral e variabilidade restrita	Amostras perto do centro possuem ponderadores infinitos

Fonte: Adaptado de Rodovalho (2016).

Após a criação do modelo de blocos em branco e com os dados obtidos pelo IQD inseridos, é definido o raio de busca, para que cada bloco busque informação para se preencher. Este raio de busca visa busca informações entre dois furos de sondagem que não possuem dados e que devem conter informações.

Além disso, foi utilizada a potência 2 para que amostras distantes do ponto em que se deseja estimar teores sejam representativas, pois potências muito altas acabam diminuindo o impacto destas amostras.

Como os dados possuem alto espaçamento horizontal e vertical, o raio de busca de dados para cada bloco foi definido em 10000 metros com utilização de quatro setores de análise. Entretanto, além do raio de busca e de utilizarem setores de análise, foram delimitadas restrições de busca, de acordo com a litologia do bloco analisado, fazendo com que litologias diferentes não interfiram entre si. Estas restrições de busca são poligonais criadas pelo usuário a fim de delimitar regiões de interesse.

Para este trabalho, após inserção dos dados dos furos de sondagem, inicialmente foram observadas duas áreas principais, em que cada região possui certo agrupamento de furos de sondagem realizados.

Em relação às duas áreas, embora haja informações relevantes em ambas, por se tratar de uma análise não realizada anteriormente, foi decidido realizar a modelagem em uma área menor, a fim de se trabalhar, inicialmente, com uma área menor

Devido a estes fatores e sabendo-se que por ser uma área menor, devido às limitações do software utilizado, a área de menor tamanho será melhor representada, foi utilizada esta região para análise, a partir da criação de superfícies

de contorno, que limitaram o raio de busca do software. As limitações do software devem-se à área de estudo muito grande, pontos de estudo muito distantes entre si, além da quantidade mínima de dois pontos em cada setor de análise, visando a aplicação do método de estimativa.

Em relação à utilização de limitação do raio de busca em determinada área, este método também foi utilizado por Marques et al (2013) para modelagem de areias bentoníticas, onde também definiram a área de contorno com base nos resultados preliminares que observaram em seu trabalho.

Com o modelo de blocos completo após a obtenção dos dados pelo IQD, devem ser criadas legendas a fim de facilitar a visualização dos resultados.

Os valores de legenda para cada ensaio realizado foram determinados de modo que facilitasse a observação no modelo de bloco. Todas as legendas com suas respectivas informações estão presentes no resultado de interpretação do modelo tecnológico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE POR AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSIS)

A análise por agrupamento foi realizada com 149 difratogramas e permitiu o agrupamento em seis grupos distintos, cada qual com suas características.

Como resultado inicial, a Análise de Componente Principal (PCA) mostra a disposição espacial das amostras analisadas na análise por agrupamento, que pode ser observada na Figura 8.

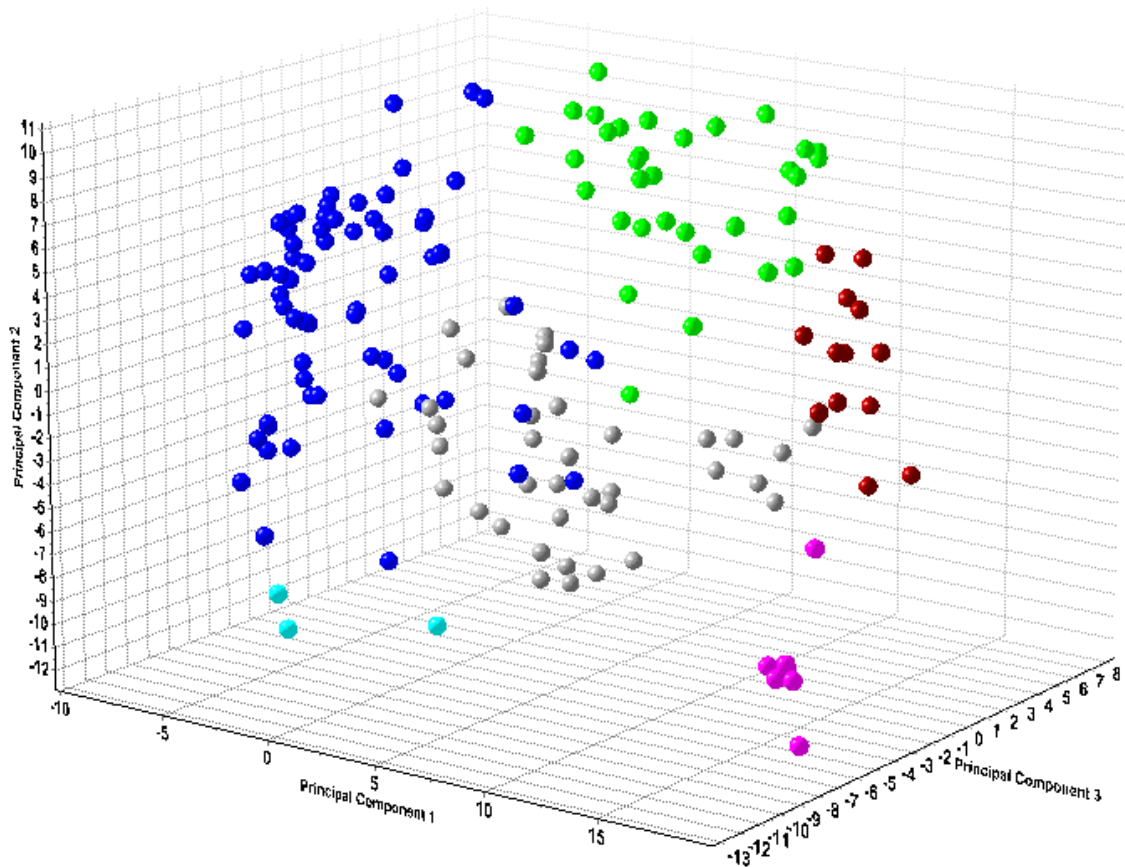


Figura 8 – Análise de Componente Principal (PCA). Tradução: Eixo X: Componente Principal 1; Eixo Y: Componente Principal 2; Eixo Z: Componente Principal 3.

Fonte: Do autor.

Pela PCA é possível observar que um *cluster* com menor número de amostras, como o indicado pela cor marrom (*cluster 4*) e rosa (*cluster 6*) possuem amostras mais próximas, evidenciando que possuem características mais semelhantes que as amostras que estão dispostas, por exemplo, nas referenciadas

em azul (*cluster 1*), verde (*cluster 2*) e cinza (*cluster 3*). O cluster ciano (*cluster 5*) é composto por amostras com características diferentes de todos os demais.

O *cluster 1* é o agrupamento com o maior número de amostras. Porém, não se pode afirmar que seja o agrupamento que representa a maior diversidade de área do PCSG, sendo necessário a verificação da localização dos pontos coletados, a fim de garantir representatividade nos dados analisados.

4.1.1 Dendrograma e agrupamentos

O dendrograma é o principal resultado da análise de agrupamento, que permite observar quais amostras estão agrupadas em qual grupo. Na Figura 9 está mostrado o dendrograma, com as amostras agrupadas e separadas em cores, de acordo com as cores já apresentadas no PCA.

Como pode ser observado, foram obtidos seis agrupamentos distintos, sendo que, para cada agrupamento, há uma amostra representativa que qualifica as características principais de cada agrupamento.

Além disto, também é possível observar que se o *cut-off* fosse deslocado para, por exemplo 140, outros dois grupos teriam sido criados, dividindo o *cluster 3* e 4 em outros dois grupos distintos, aumentando o total para oito *clusters*. Porém, o enfoque deste trabalho é facilitar a operação industrial, norteador a utilização de sua matéria-prima, indicando com maior precisão possível quais as características de sua amostra

A Figura 10 mostra os seis *clusters* criados, com indicação da amostra representativa para cada um dos *clusters* criados.

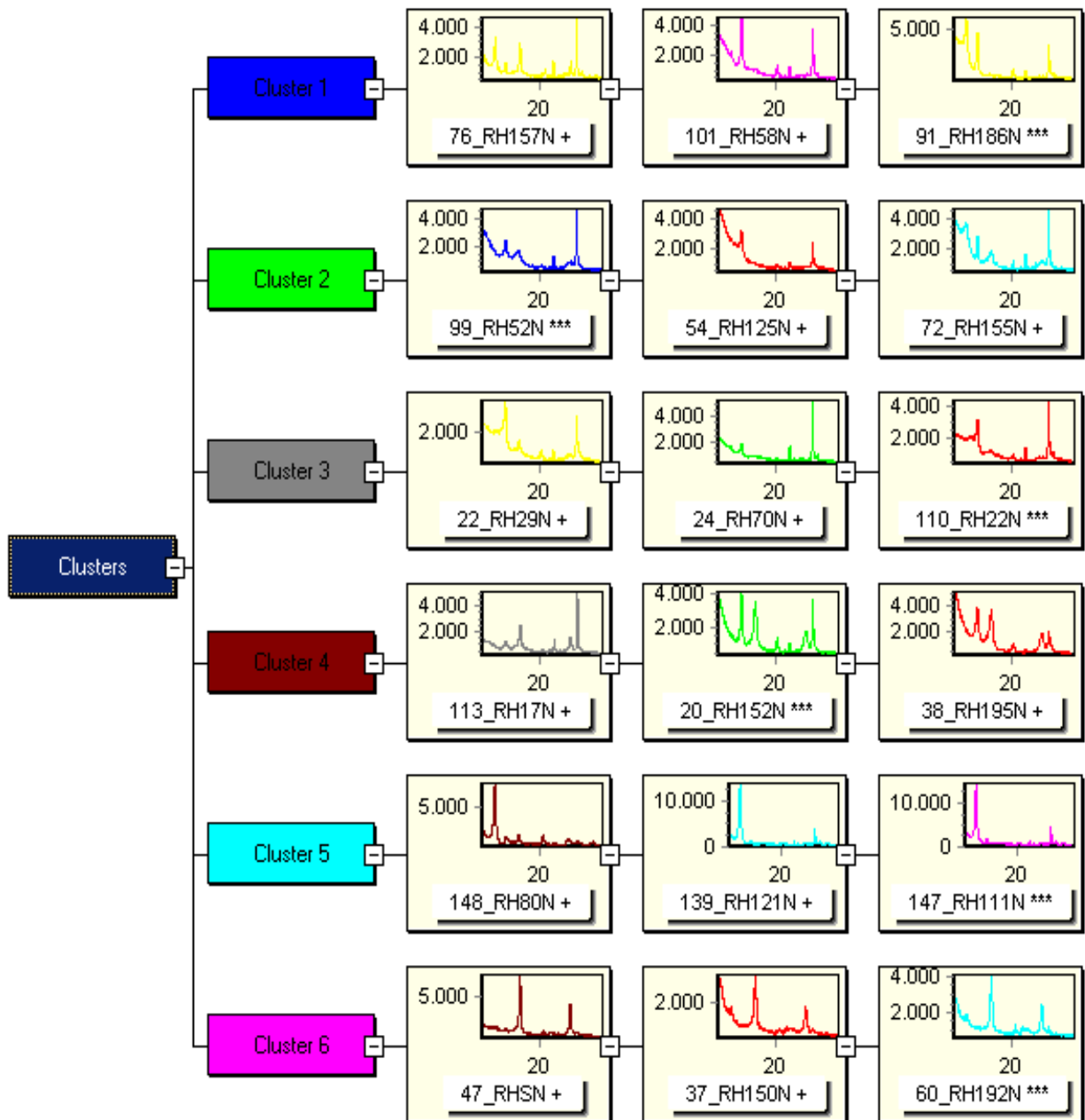


Figura 10 – *Thumbnail* com *clusters* e amostra representativa.
Fonte: Do autor.

Cada *cluster* está representado por sua amostra média (primeira amostra à esquerda), que representa o grupo e também pela amostra mais parecida (amostra central) e menos parecida com o grupo (amostra à direita).

As amostras que compõem cada *cluster* podem ser observadas conforme as Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

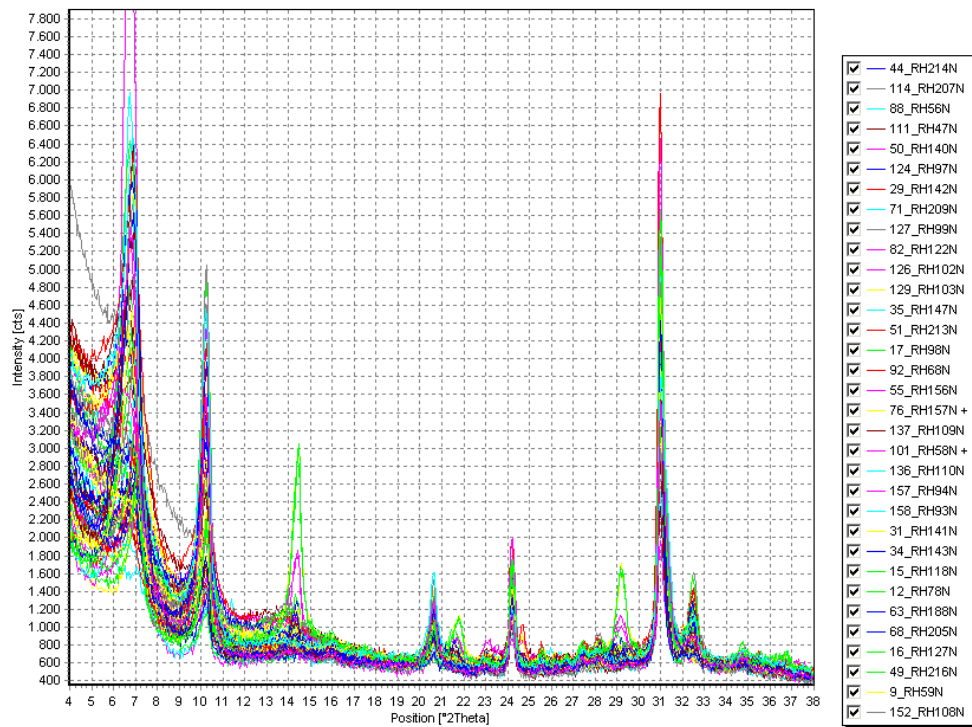


Figura 11 – Amostras agrupadas originando o *Cluster* 1. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

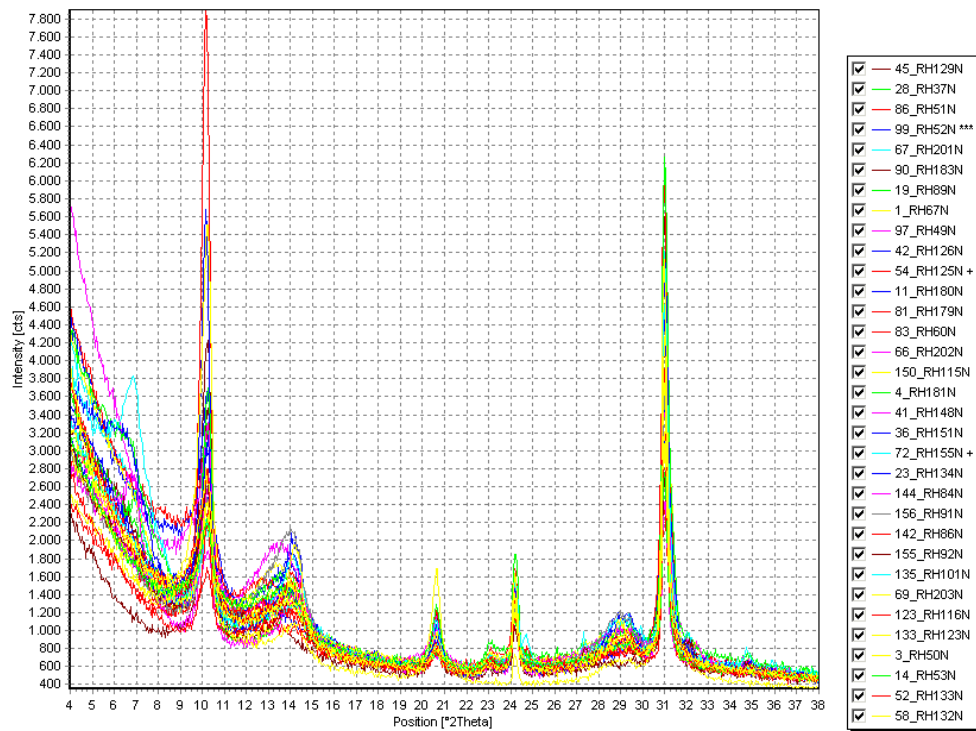


Figura 12 – Amostras agrupadas formando o *Cluster 2*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

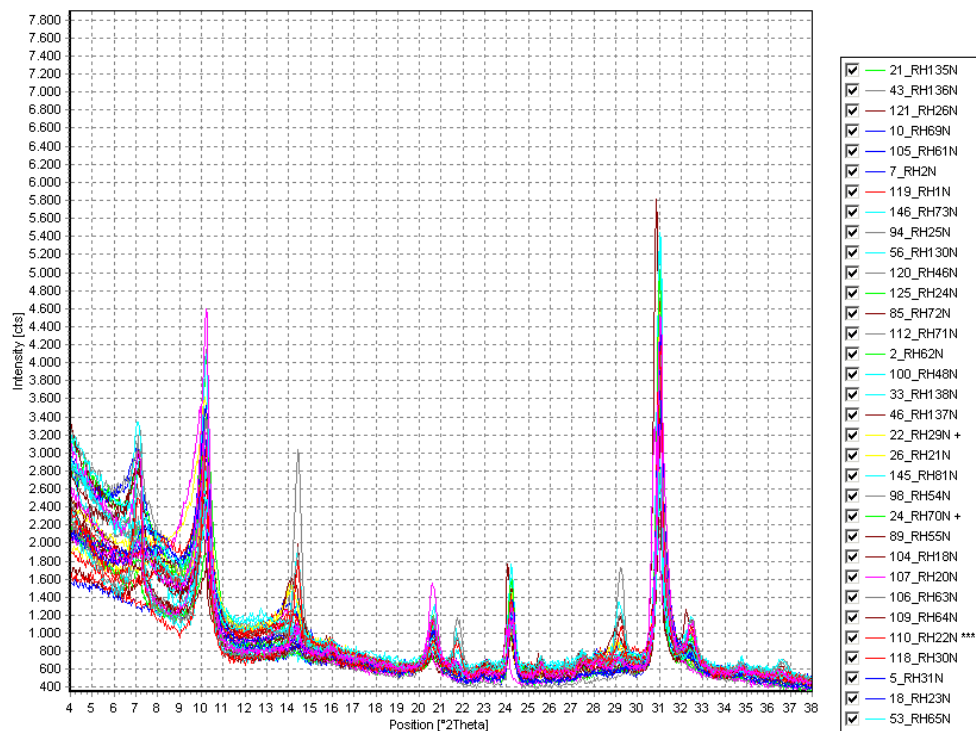


Figura 13 – Amostras agrupadas formando o *Cluster 3*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts)

Fonte: Do autor.

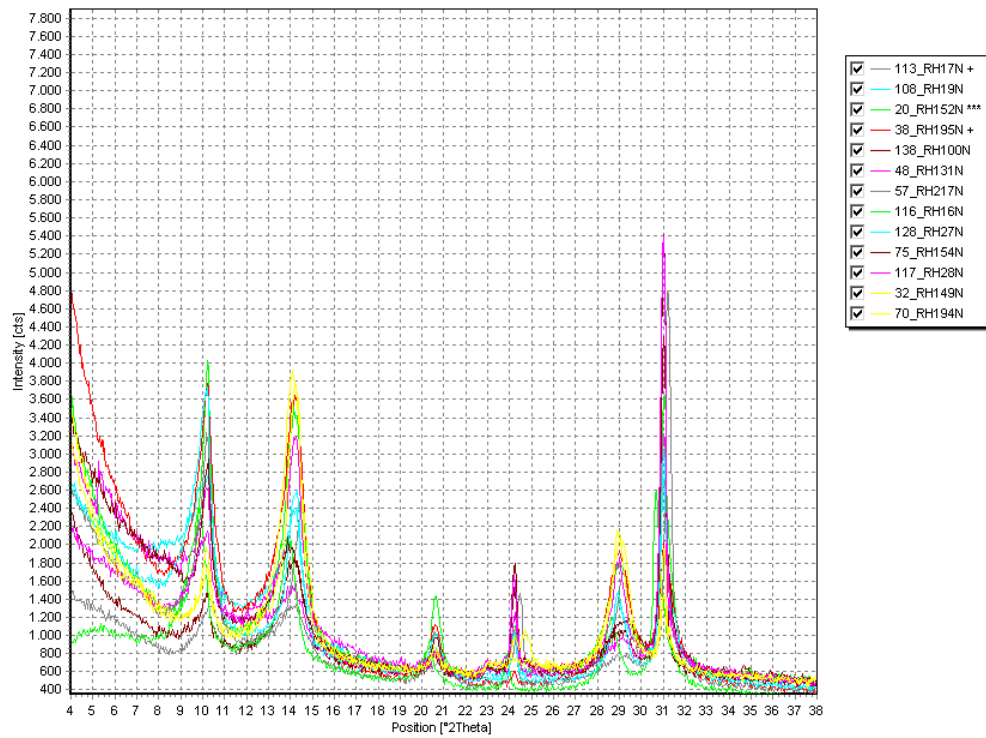


Figura 14 – Amostras agrupadas formando o *Cluster 4*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

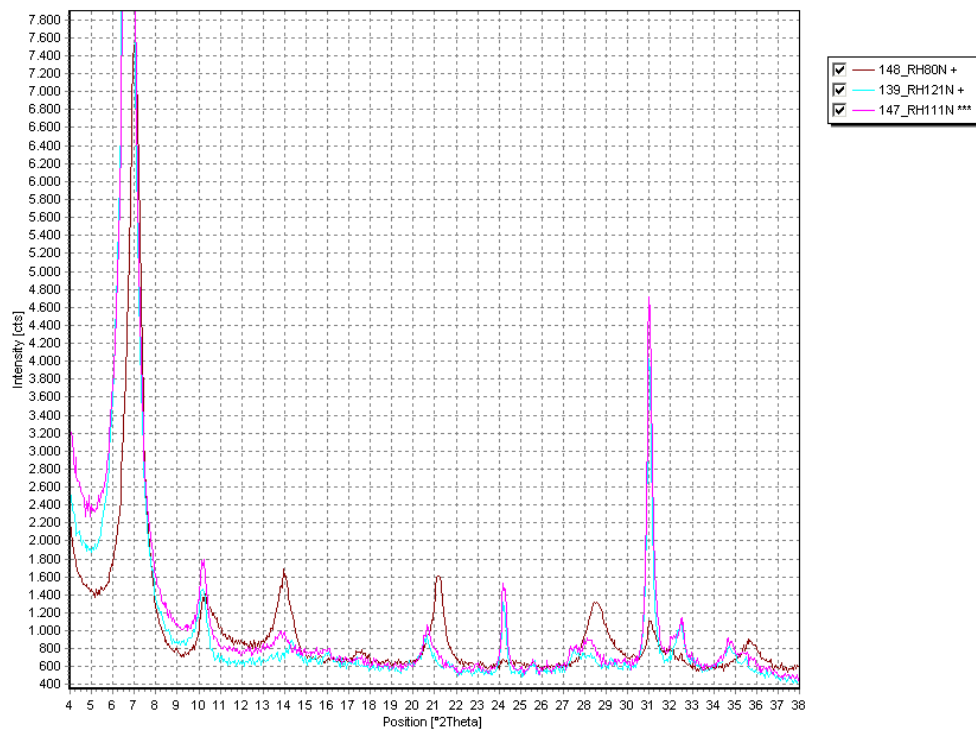


Figura 15 – Amostras agrupadas formando o *Cluster 5*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

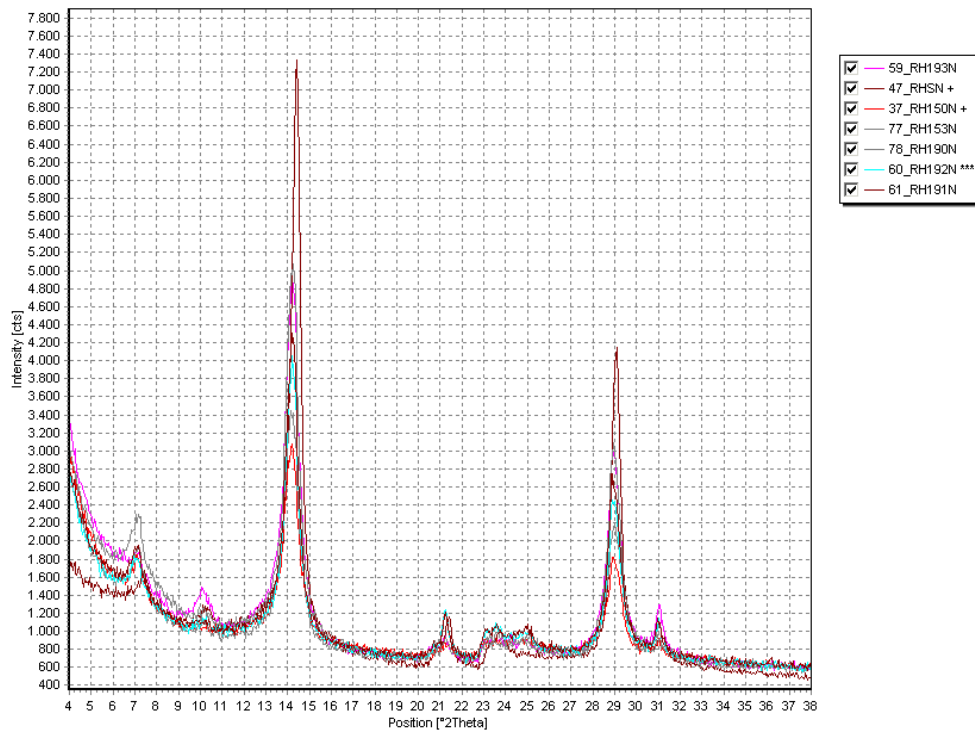


Figura 16 – Amostras agrupadas formando o *Cluster 6*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

4.1.2 Características de amostra representativa do agrupamento

A partir dos agrupamentos, foi possível analisar a amostra média de cada agrupamento, ou amostra representativa, a fim de se observar as características de cada agrupamento.

Para cada *cluster*, a amostra média que representa o grupo e seu respectivo difratograma, são:

a) *Cluster 1*: Amostra RH186N com difratograma na Figura 17:

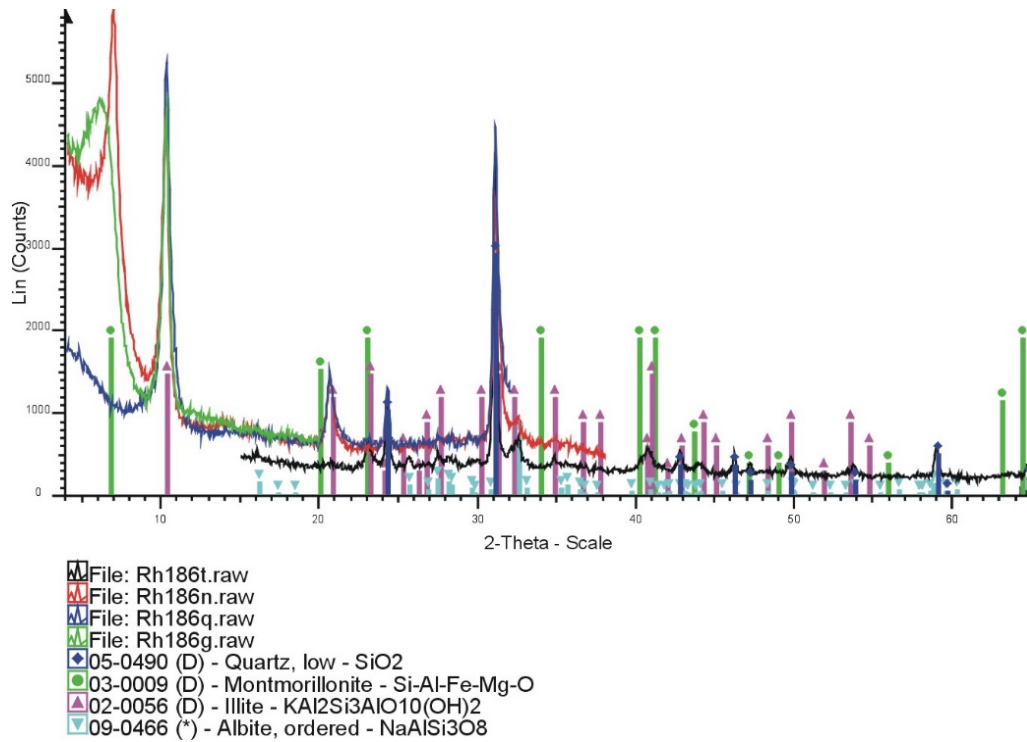


Figura 17 – Difratograma da amostra RH186 – *Cluster 1*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

b) *Cluster 2*: Amostra RH52N com difratograma na Figura 18:

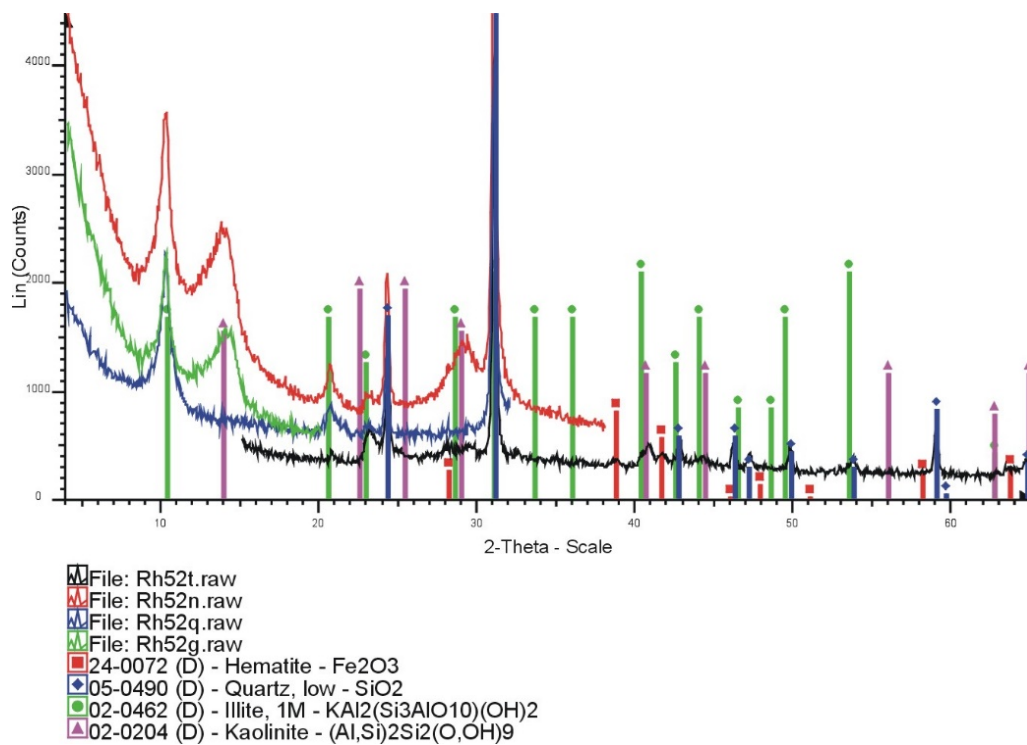


Figura 18 – Difratograma da amostra RH52 – *Cluster 2*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

c) *Cluster 3*: Amostra RH22N com difratograma na Figura 19:

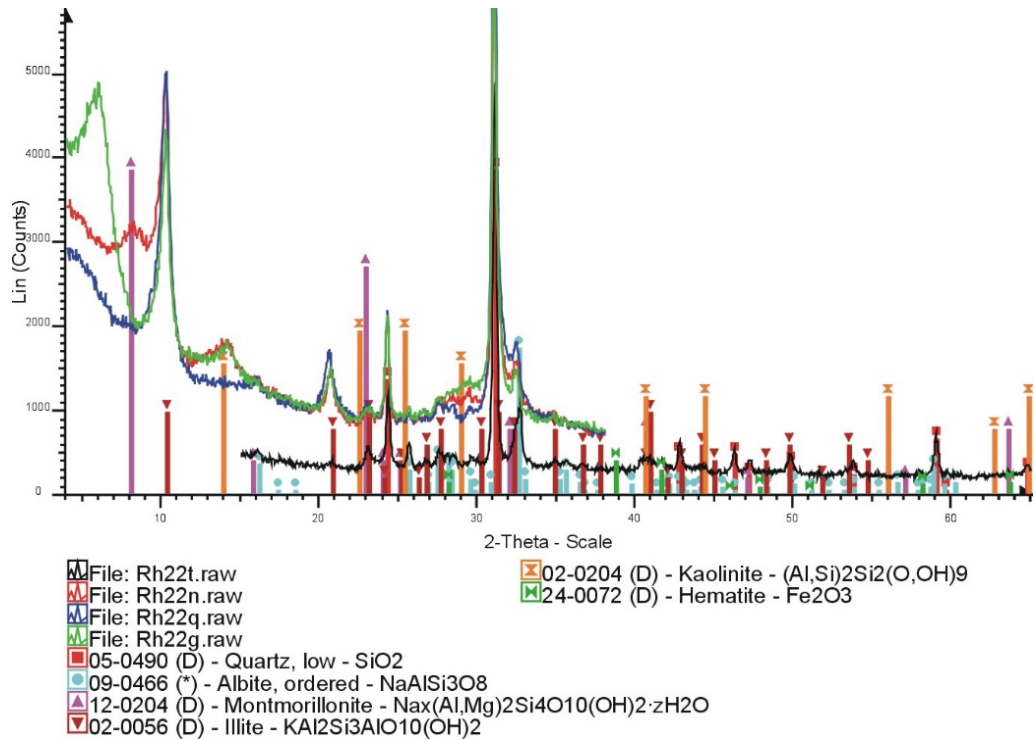


Figura 19 – Difratoograma da amostra RH22N – *Cluster 3*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

d) *Cluster 4*: Amostra RH152N com difratograma na Figura 20:

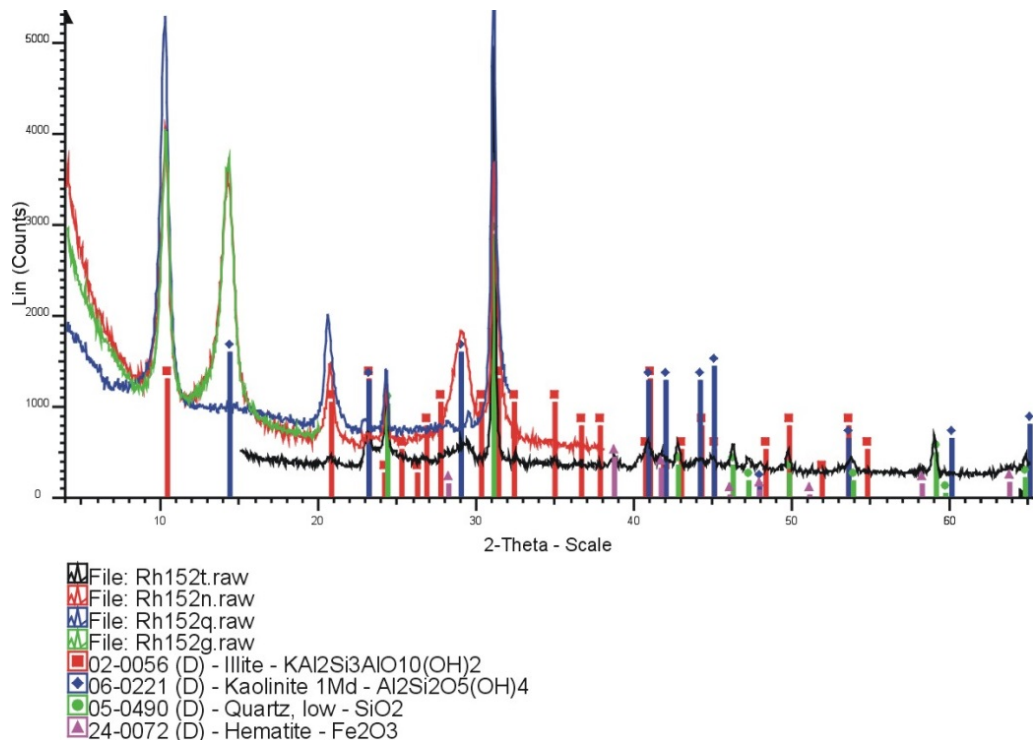


Figura 20 – Difratoograma da amostra RH152 – *Cluster 4*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

e) *Cluster 5*: Amostra RH111N com difratograma na Figura 21:

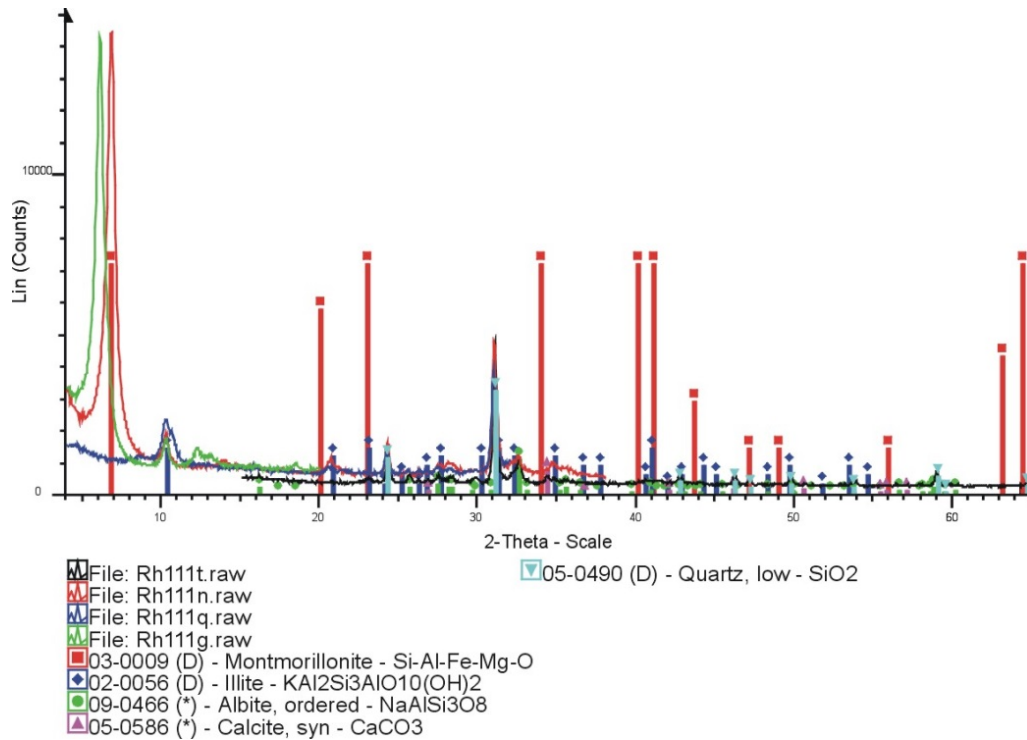


Figura 21 – Difratoograma da amostra RH111 – *Cluster 5*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

f) *Cluster 6*: Amostra RH192N com difratograma na Figura 22:

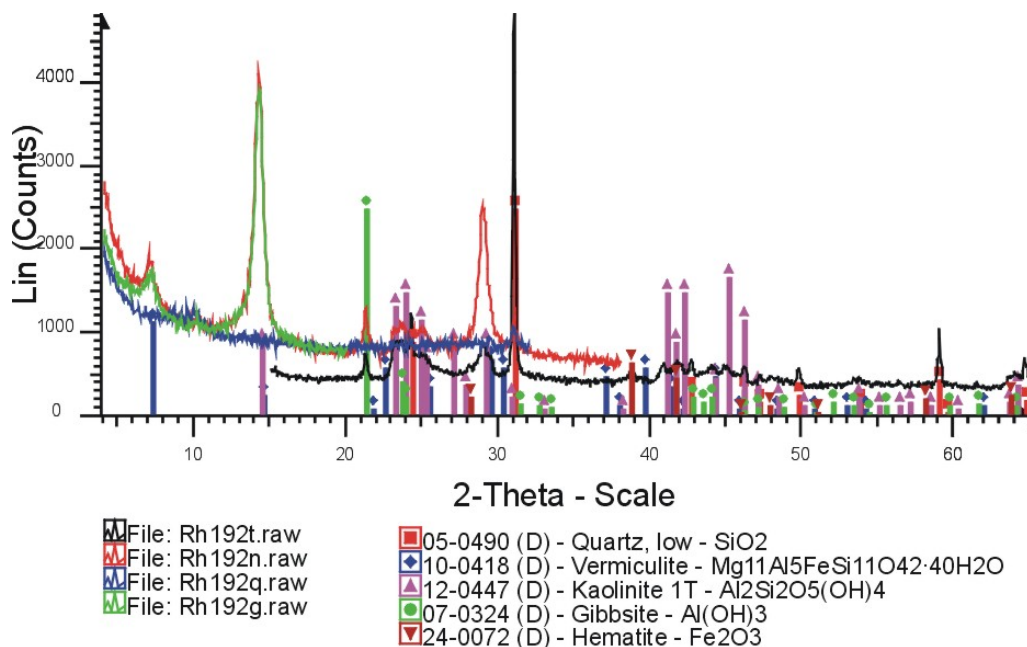


Figura 22 – Difratoograma da amostra RH192 – *Cluster 6*. Tradução: Eixo X: posição $^{\circ}2\theta$ em escala; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Roveri (2010).

Conforme disposto nas figuras anteriores, cada difratograma apresenta mineralogia própria, indicando que há diferenças entre cada amostra e cada

agrupamento, sendo necessário mais ensaios para verificação da diferença entre eles.

A Figura 23 apresenta os difratogramas das amostras representativas de cada *cluster*, sendo possível observar os diferentes conjuntos de picos para cada amostra.

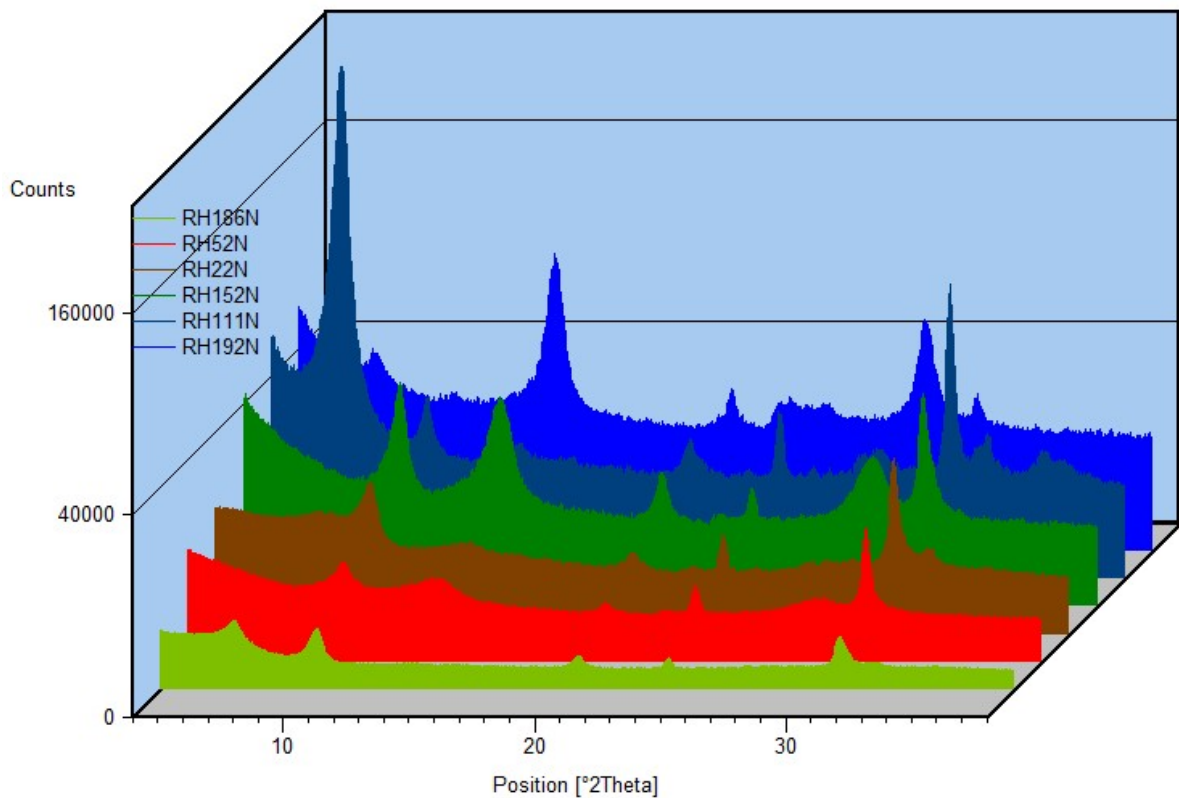


Figura 23 – Representação dos difratogramas. Tradução: Eixo X: posição °2theta; Eixo Y: intensidade (cts).

Fonte: Do autor.

Em um primeiro momento, embora seja quase imperceptível, há diferenças em cada conjunto de picos, conforme mostrado na Tabela 2, evidenciando a mineralogia da amostra média de cada agrupamento.

Tabela 2 – Mineralogia das amostras médias de cada agrupamento.

Mineralogia	
<i>Cluster 1</i>	Quartzo, Montmorillonita, Illita, Albita
<i>Cluster 2</i>	Hematita, Quartzo, Illita, Caulinita
<i>Cluster 3</i>	Quartzo, Albita, Montmorillonita, Illita, Caulinita, Hematita
<i>Cluster 4</i>	Illita, Caulinita, Quartzo, Hematita
<i>Cluster 5</i>	Montmorillonita, Illita, Albita, Calcita
<i>Cluster 6</i>	Quartzo, Vermiculita, Caulinita, Gibbsita, Hematita

Fonte: Cluster do autor e dados de Roveri (2010).

A Tabela 3 mostra os dados de composição química dos elementos em maiores porcentagens de óxidos de cada amostra média dos cluster obtidos.

Tabela 3 – Dados de composição química dos elementos maiores em % de óxidos de amostra média.

	L. O. I.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
<i>Cluster 1</i>	4,29	66,1	15,2	5,21	0,63	0,02	0,49	6,04	1,26	3,62	0,13
<i>Cluster 2</i>	8,52	63,0	18,3	5,46	0,65	0,04	0,07	1,82	0,17	1,93	0,04
<i>Cluster 3</i>	2,21	70,6	15,4	4,02	0,60	0,08	0,41	2,09	2,01	2,58	0,04
<i>Cluster 4</i>	6,52	61,5	20,3	7,17	0,87	0,02	0,01	1,33	0,06	2,17	0,03
<i>Cluster 5</i>	5,29	66,5	11,5	3,79	0,46	0,08	2,48	5,35	2,05	2,36	0,22
<i>Cluster 6</i>	11,8	42,3	30,1	12,9	1,95	0,03	0,16	0,40	0,03	0,45	0,06

Fonte: Cluster do autor e dados de Roveri (2010).

A partir da análise química de elementos em maiores porcentagens de óxidos das amostras médias de cada *cluster*, podem ser feitas suposições que serão corroboradas pelos ensaios discutidos logo abaixo.

A presença de feldspatos na fase de ortoclásio (KAlSi₃O₈), albita (NaAlSi₃O₈) e anortita (CaAl₂Si₂O₈) pode causar diminuição na temperatura de formação de fase vítrea, causando diminuição na porosidade e na absorção das peças cerâmicas, elevando os índices de resistência mecânica. Outro fator que pode ocasionar a fase vítrea é a presença de illitas nas amostras, que atinge o ponto de transição vítrea a 900 °C.

A partir disto, espera-se que as amostras do *cluster 6*, por possuírem baixa presença de Na₂O e K₂O não possuam bons índices de resistência mecânica,

apresentando maior porosidade aparente e absorção de água. Outro fator que aponta para esta possível características é por possuir a menor quantidade de Si_2O e Al_2O_3 em sua composição.

A amostra do *cluster* 5 possui índices que fogem das características ótimas para materiais cerâmicos, possuindo Al_2O_3 abaixo dos padrões, além de CaO , acima. Com essas características, pode-se esperar que a formulação contendo este material seja do tipo monoporosa, porém com características distintas dos outros materiais analisados. Este alto índice de CaO pode ser devido à presença de calcita, sendo que, de acordo com a mineralogia, é a única amostra que possui esta fase com grande presença para detecção. Aliado a isto, devido à presença de magnésio, também pode ser esperada a presença de dolomita, verificado através do difratograma da amostra média.

Amostras dos *clusters* 1, 2, 3 e 4 apresentam certa similaridade na análise química de SiO_2 , com índices entre 63% e 70%.

Amostras dos *clusters* 2 e 4, em comparação com as dos *clusters* 1 e 3, por possuírem maior porcentagem de Al_2O_3 , apresentam menores índices de CaO , MgO , Na_2O e K_2O , podendo indicar relação inversamente proporcional à presença de um elemento (Al_2O_3) ou os outros (CaO , MgO , Na_2O e K_2O) ou que as amostras analisadas sofreram processos de intemperismo, ocasionando mudanças em suas propriedades.

Logo, por serem compostos por minerais diferentes e com isso, índices de óxidos de elementos distintos, cada amostra média representativa dos *clusters* possuem características distintas, como pode ser observado a seguir.

As propriedades a verde de umidade, densidade, retração linear e resistência mecânica à flexão estão mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de amostra média a verde de umidade, densidade, retração linear (RL) e resistência mecânica (RM).

	Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	RL (%)	RM (Kgf/cm ²)
<i>Cluster 1</i>	8,63	1,83	0,28	11,3
<i>Cluster 2</i>	7,47	1,76	0,28	15,3
<i>Cluster 3</i>	9,98	1,75	0,58	15,58
<i>Cluster 4</i>	9,52	1,75	-0,28	7,1
<i>Cluster 5</i>	8,61	1,74	0,00	12,1
<i>Cluster 6</i>	10,8	1,70	0,14	7,8

Fonte: *Cluster* do autor e dados de Roveri (2010).

A partir dos resultados, é possível observar que as matérias primas dos *clusters* 2 e 3 são as que possuem maior resistência mecânica a verde, que é um dos fatores principais para utilização como revestimento cerâmico.

Os índices de retração linear após secagem não se apresentaram significativos para cada amostra média representativa dos *clusters*, com valores abaixo e/ou acima de 0,6%

As propriedades após queimas a 1070 °C e 1120 °C de perda ao fogo, retração linear de queima e total, resistência mecânica estão mostrados, respectivamente, nas Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 – Dados perda ao fogo (PF), retração linear de queima e retração linear total (RLQ e RLT), resistência mecânica (RM) de amostra média após queima a 1070 °C.

	PF (%)	RLQ (%)	RLT (%)	RM (Kgf/cm ²)
Cluster 1	3,58	6,23	6,50	138,0
Cluster 2	6,00	4,66	4,93	173,0
Cluster 3	3,66	3,85	4,29	132,0
Cluster 4	5,92	6,68	6,41	125,0
Cluster 5	4,95	2,04	2,04	42,0
Cluster 6	11,5	3,53	3,67	13,0

Fonte: *Cluster* do autor e dados de Roveri (2010).

Tabela 6 – Dados perda ao fogo (PF), retração linear de queima e retração linear total (RLQ e RLT), resistência mecânica (RM) de amostra média após queima a 1120 °C.

	PF (%)	RLQ (%)	RLT (%)	RM (Kgf/cm ²)
Cluster 1	3,81	5,61	5,88	238,0
Cluster 2	6,71	7,15	7,41	235,0
Cluster 3	3,79	8,27	8,63	275,0
Cluster 4	6,69	10,7	10,5	238,0
Cluster 5	4,84	4,81	4,82	111,0
Cluster 6	10,6	7,77	7,90	16,3

Fonte: *Cluster* do autor e dados de Roveri (2010).

Após as queimas em 1070 °C e 1120 °C foi possível observar que a amostra média do *cluster* 6 foi a que apresentou maior índice de perda ao fogo, possivelmente devido à perda de hidroxila da caulinita. Outros fatores que podem causar alto índice de perda ao fogo são a presença de matéria orgânica e carbonatos de cálcio.

Em relação à retração linear de queima, nota-se que todas as peças cerâmicas tiveram maior retração em temperatura de queima mais alta, com destaque para as amostras dos *clusters* 3 e 4 que apresentaram índices de retração acima de 10%.

A retração linear total, para cada amostra analisada, é de extrema importância no cenário industrial, visto que é um índice que permite quantificar a diferença entre o tamanho final e o tamanho inicial da peça, a fim de que a peça inicial seja uniformemente dimensional

Em relação à temperatura de queima, há indícios de sua forte influência, visto que todas as peças tiveram aumentos superiores a 35% de TRF com elevação da temperatura de queima de 1070 °C para 1120 °C, com exceção da peça do *cluster* 6, que possuía baixa TRF mesmo à 1070 °C.

Numa análise preliminar, nota-se que as amostras representativas dos *clusters* 1, 2, 3 e 4 possuem valores de TRF acima de 200 Kgf/cm², sendo as mais indicadas para obtenção de revestimentos cerâmicos com alta resistência mecânica à flexão.

Outro ponto que deve ser considerado é que para o incremento de 50 °C em temperaturas elevadas, o gasto energético e financeiro para esta operação não

representa fatores que melhoram consideravelmente a qualidade final do produto, e assim, seu preço final, o que deve ser considerado industrialmente e não para análises laboratoriais

Após queima à 1070 °C e 1120 °C, os índices de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente estão mostrados, respectivamente, nas Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 – Dados de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) de amostra média após queima a 1070 °C.

	AA (%)	PA (%)	DA (g/cm ³)
<i>Cluster 1</i>	8,23	17,3	2,09
<i>Cluster 2</i>	15,6	28,9	1,85
<i>Cluster 3</i>	14,2	26,0	1,83
<i>Cluster 4</i>	15,8	30,2	1,91
<i>Cluster 5</i>	21,1	35,3	1,67
<i>Cluster 6</i>	27,9	44,8	1,61

Fonte: *Cluster* do autor e dados de Roveri (2010).

Tabela 8 – Dados de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente de amostra média após queima a 1120 °C

	AA (%)	PA (%)	DA (g/cm ³)
<i>Cluster 1</i>	2,00	4,16	2,08
<i>Cluster 2</i>	10,7	21,4	2,01
<i>Cluster 3</i>	7,51	15,1	2,02
<i>Cluster 4</i>	9,27	19,8	2,14
<i>Cluster 5</i>	13,4	25,2	1,89
<i>Cluster 6</i>	19,2	35,4	1,84

Fonte: *Cluster* do autor e dados de Roveri (2010).

Os dados de absorção de água e porosidade aparente mostram que com o incremento da temperatura, há diminuição destes índices, os quais estão correlacionados. Os índices de RLT também ajudam a explicar esta característica, visto que houve minerais que fundiram e se espalharam pelos poros da amostra, diminuindo a porosidade.

Como já observado pelos ensaios a verde, a densidade após queima da peça representativa do *cluster* 6 foi a que apresentou menores índices.

Comparativamente entre as amostras médias de cada *cluster*, nota-se que os valores de absorção de água possuem redução significativa com o incremento de 50°C. Com isso, os valores de porosidade aparente, por estarem correlacionados, também possuem esta redução significativa.

A partir de todos os índices avaliados, considerando-se apenas a RM como fator primordial, devido à resistência mecânica, nota-se que a peça representativa do *cluster* 3 pode ser considerada como a melhor, podendo o grupo ser classificado como de características ótimas para a indústria cerâmica, sendo, porém, necessária a classificação industrial quanto às outras propriedades. Se considerarmos o índice de AA, podemos considerar a amostra do *cluster* 1, pois com a mesma temperatura de queima, apresentou índices mais baixos de AA em relação às outras amostras

4.2 MODELO

Para a representação do modelo tecnológico que será apresentado e discutido abaixo, salienta-se que todas as figuras possuem escalas, que estão em metros, e setas de localização, com a cor verde representando o sentido Norte.

Como o modelamento geológico não foi realizado, sendo sugerido para trabalhos futuros, a área estudada não foi dividida conforme a geologia local.

Com isso, como nem todas as argilas das mais diversas porções da Formação Corumbataí existentes no PCSG são utilizadas no processo produtivo, este trabalho também pode sugerir, conforme os resultados forem apresentados e discutidos, que toda a região tem potencial para ser utilizada.

4.2.1 Modelo tecnológico

Inicialmente, para a criação do modelo tecnológico, com os dados já inseridos no programa, foi feita a inserção dos pontos correspondentes a cada furo de sondagem, aliada a obtenção da topografia do terreno, conforme ilustrado na Figura 24.

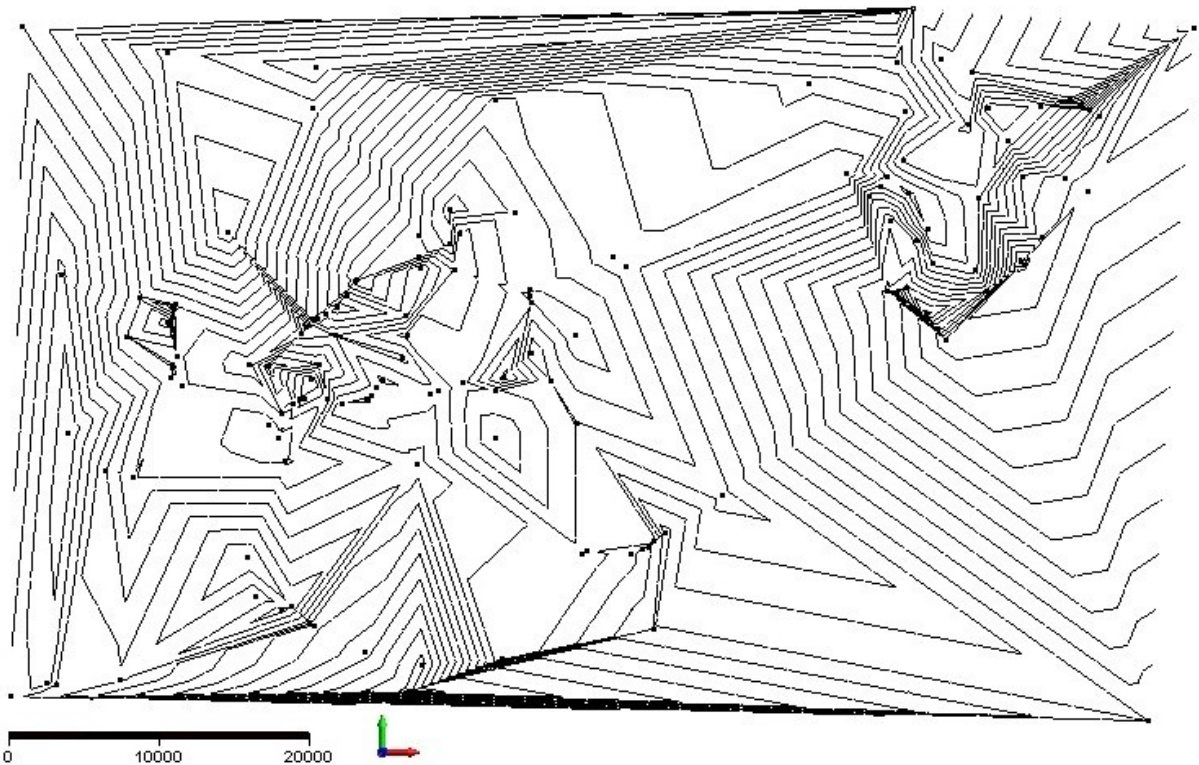


Figura 24 – Pontos de furos de sondagem com topografia do terreno.
Fonte: Do autor.

Como se trata de uma área que possui grande extensão vertical e horizontal, há necessidade de divisão desta área, devido às limitações do programa.

Assim sendo, decidiu-se dividir a área em duas e, para a execução deste trabalho, utilizar-se de apenas uma parte da área total, como pode ser observado na Figura 25.

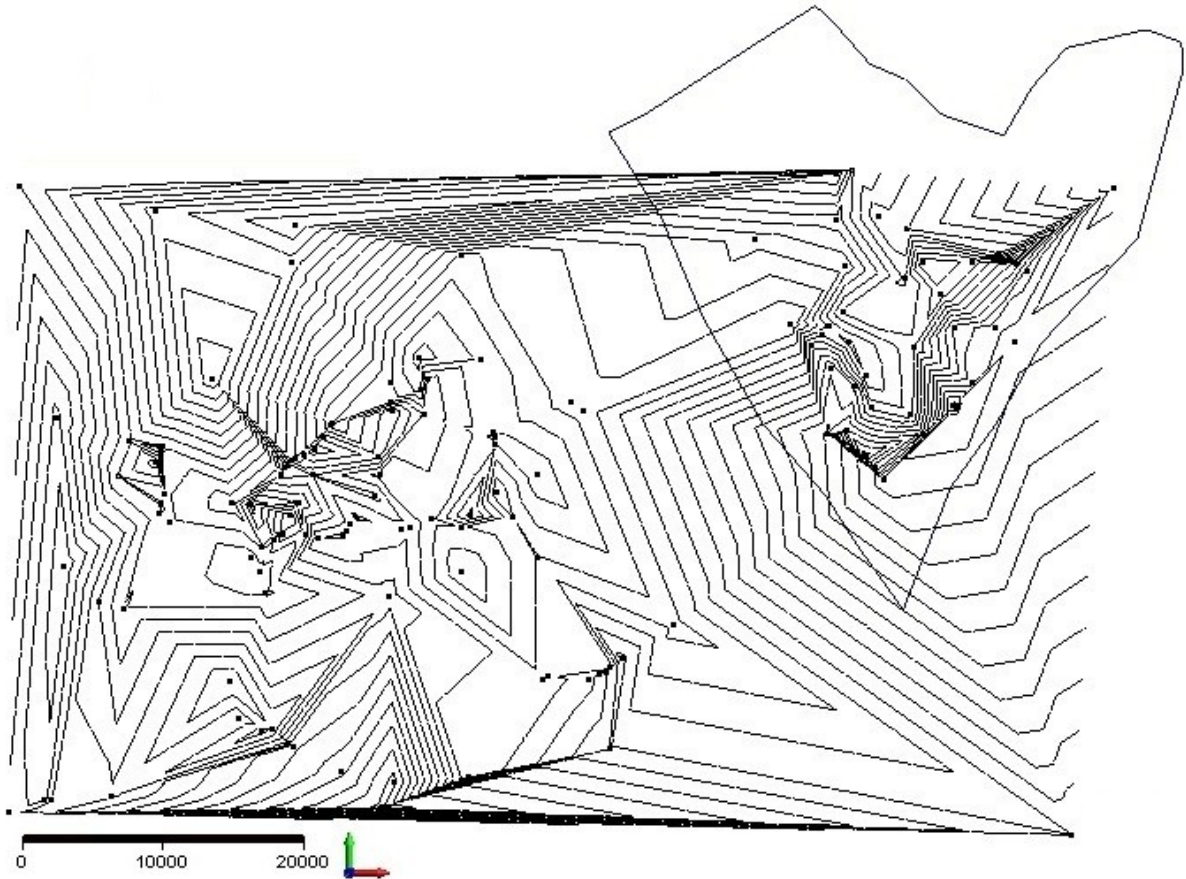


Figura 25 – Representação da área estudada.
Fonte: Do autor.

A delimitação foi realizada de modo com que os pontos da área estivessem presentes e que fossem representativos para a análise. A Figura 26 mostra a identificação dos pontos, indicando quais furos estão representados na área, além de possibilitar a interpretação dos resultados de ensaios que serão utilizados para a modelagem.

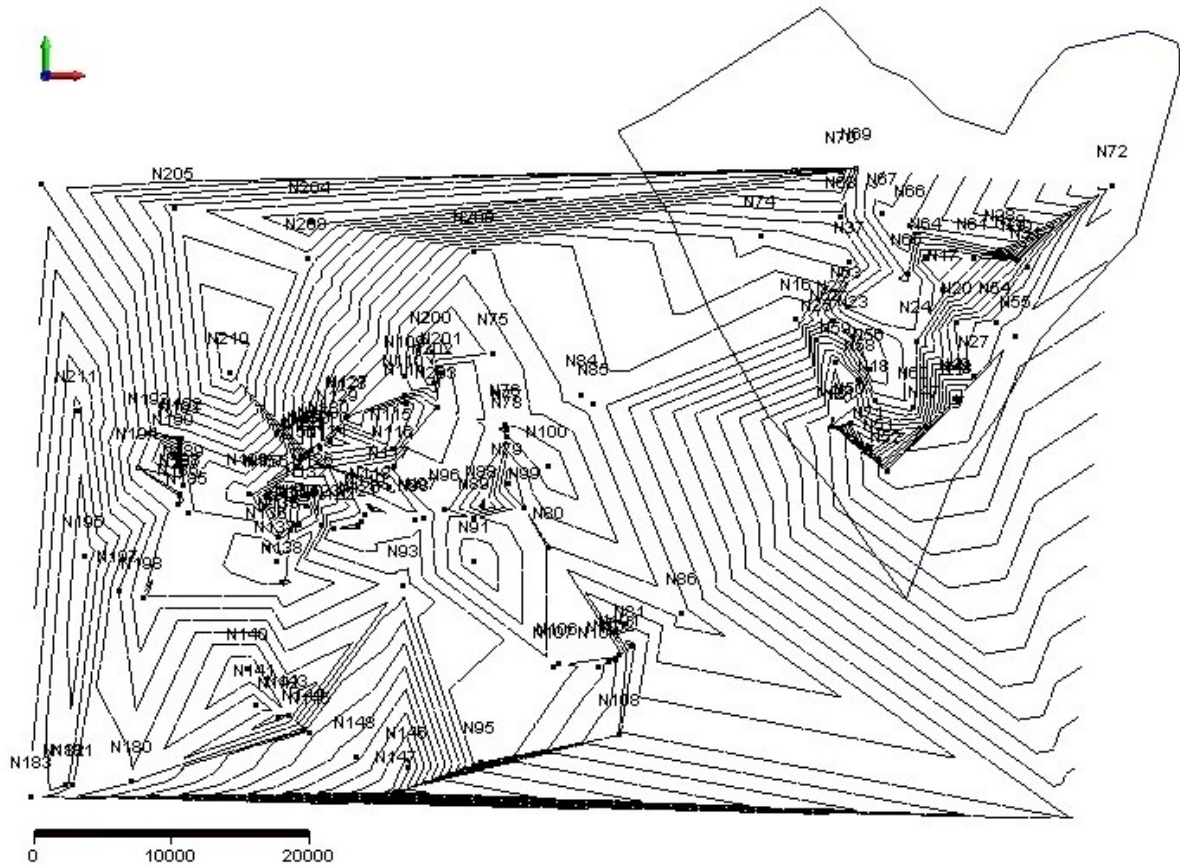


Figura 26 – Pontos com identificação e área estudada.
Fonte: Do autor.

Antes da apresentação dos resultados de cada fator analisado, a Figura 27 mostra a relação entre a área total, a área delimitada para estudo e a área modelada pelo software, que apresentará os resultados.

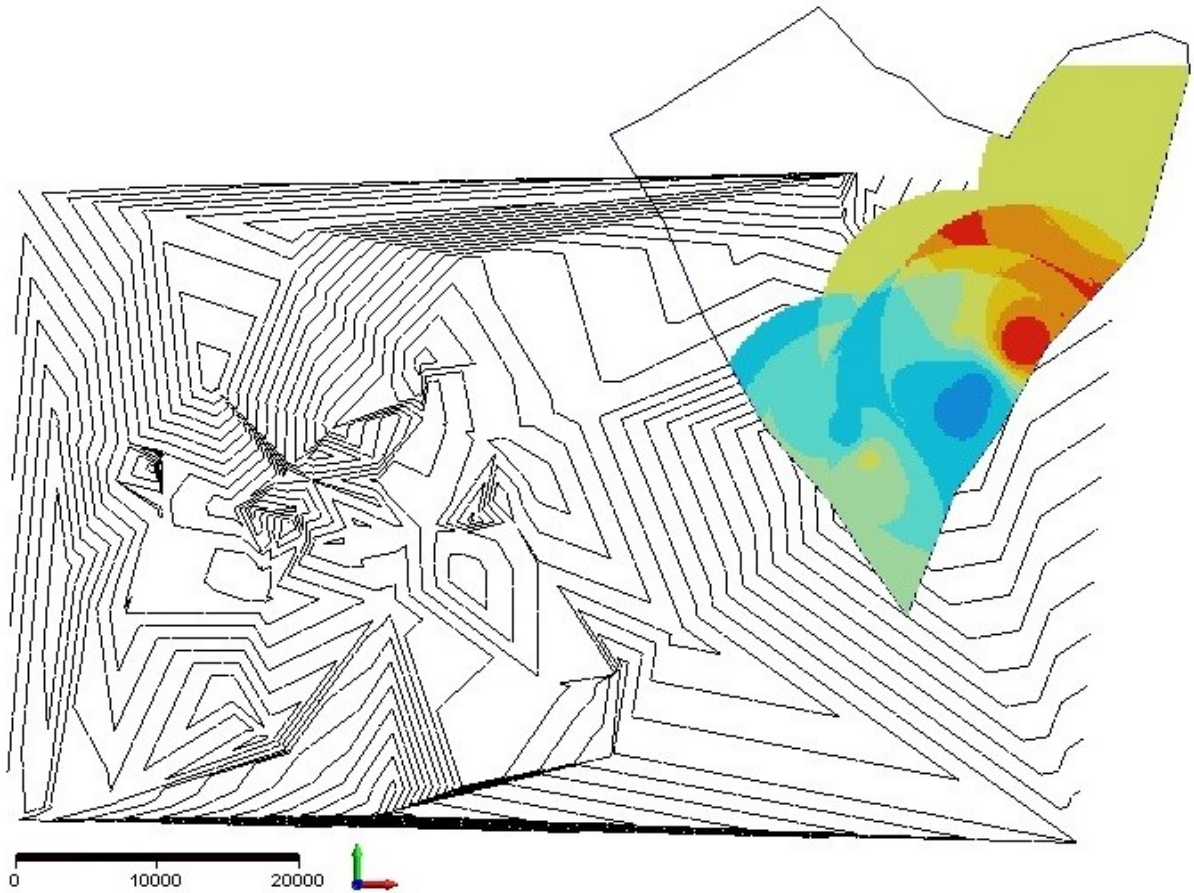


Figura 27 – Relação entre área delimitada e área modelada pelo *Micromine*.
Fonte: Próprio Autor

Com a delimitação de área e se conhecendo a região que a modelagem será realizada, os resultados apresentados estimativas de tensão de resistência mecânica, absorção de água, porcentagem de SiO_2 e Al_2O_3 serão apresentados a seguir nas Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31, respectivamente.

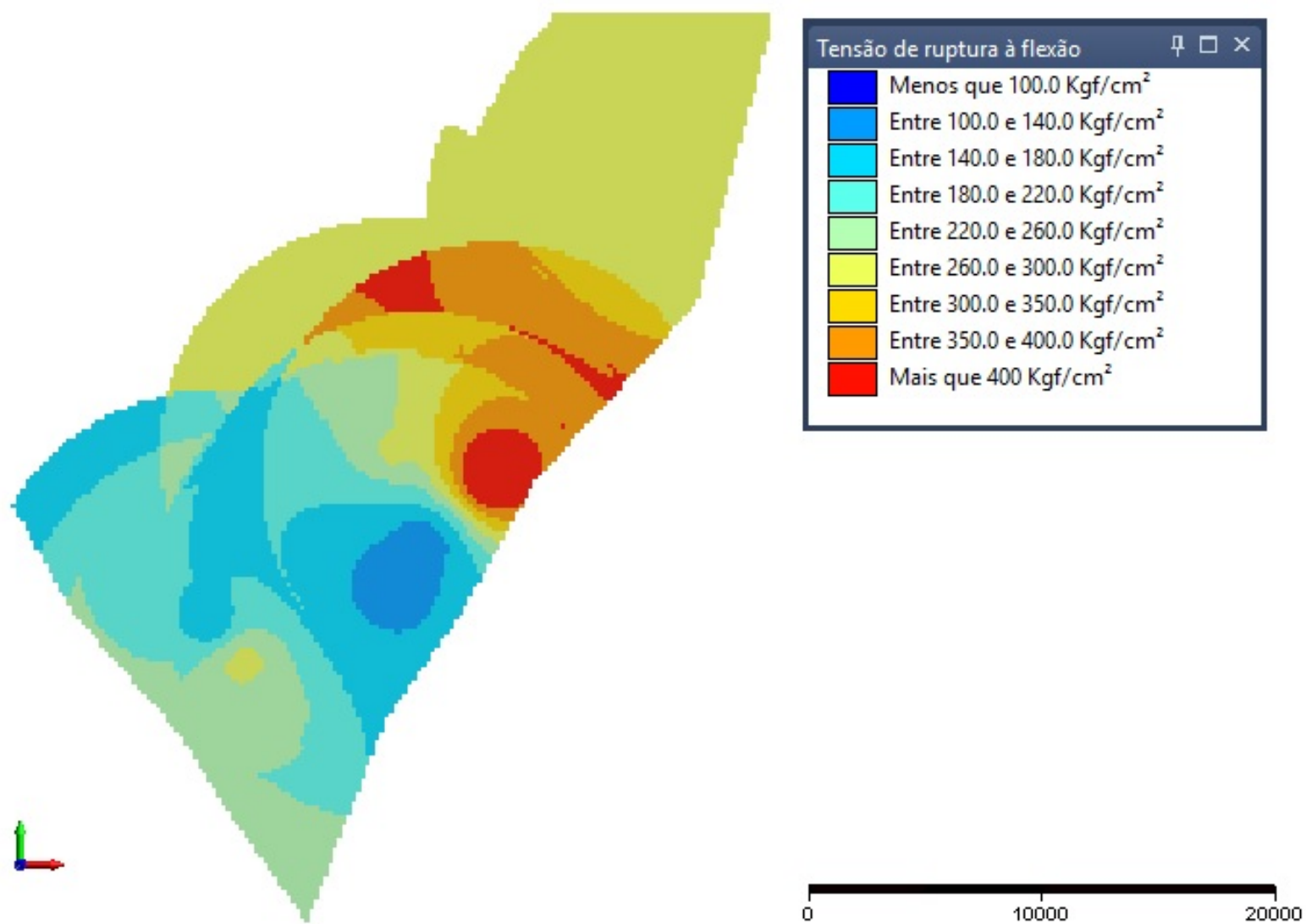


Figura 28 – Modelagem para dados de resistência mecânica.
Fonte: Do autor.

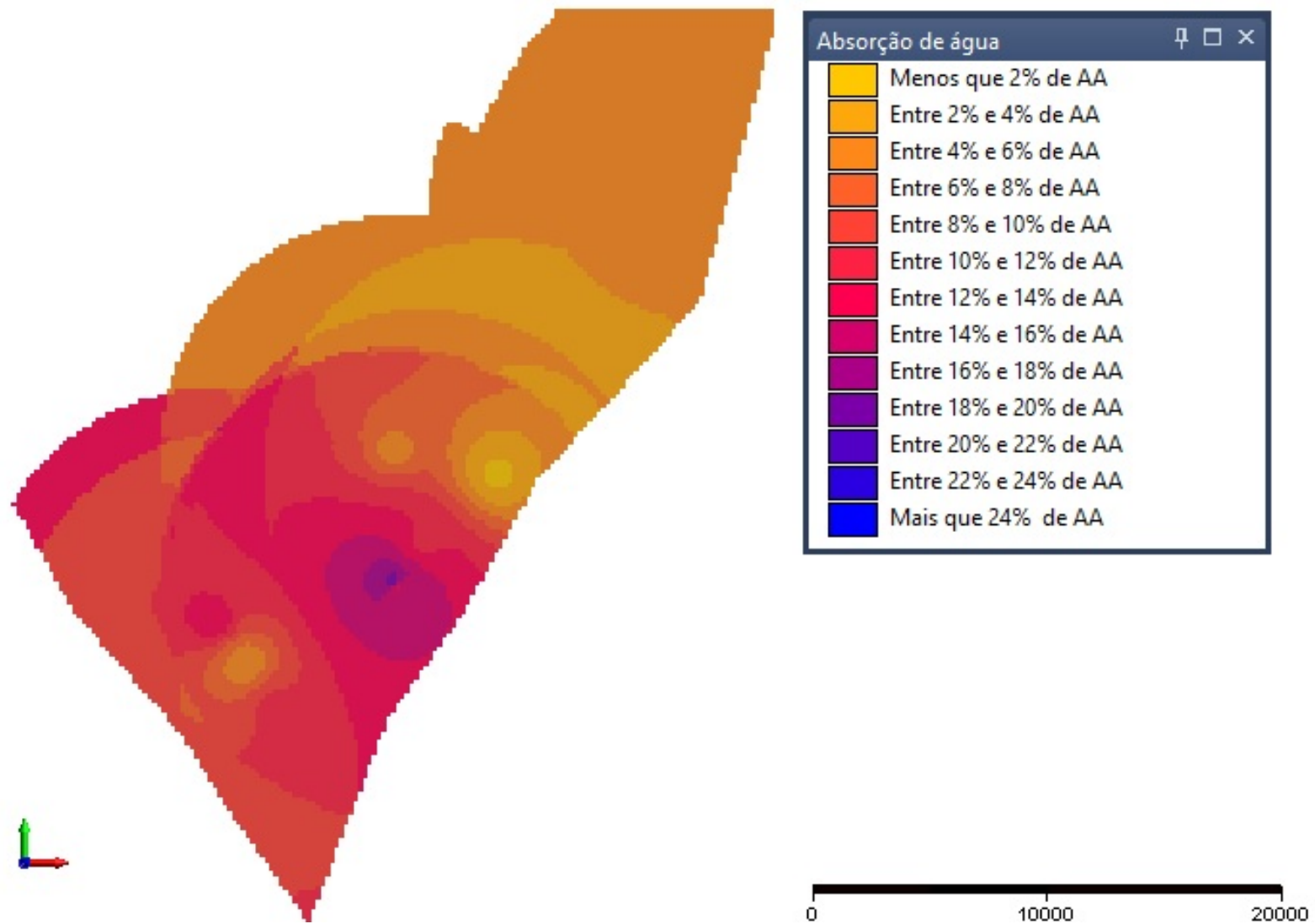


Figura 29 – Modelagem para dados de absorção de água.
Fonte: Do autor.

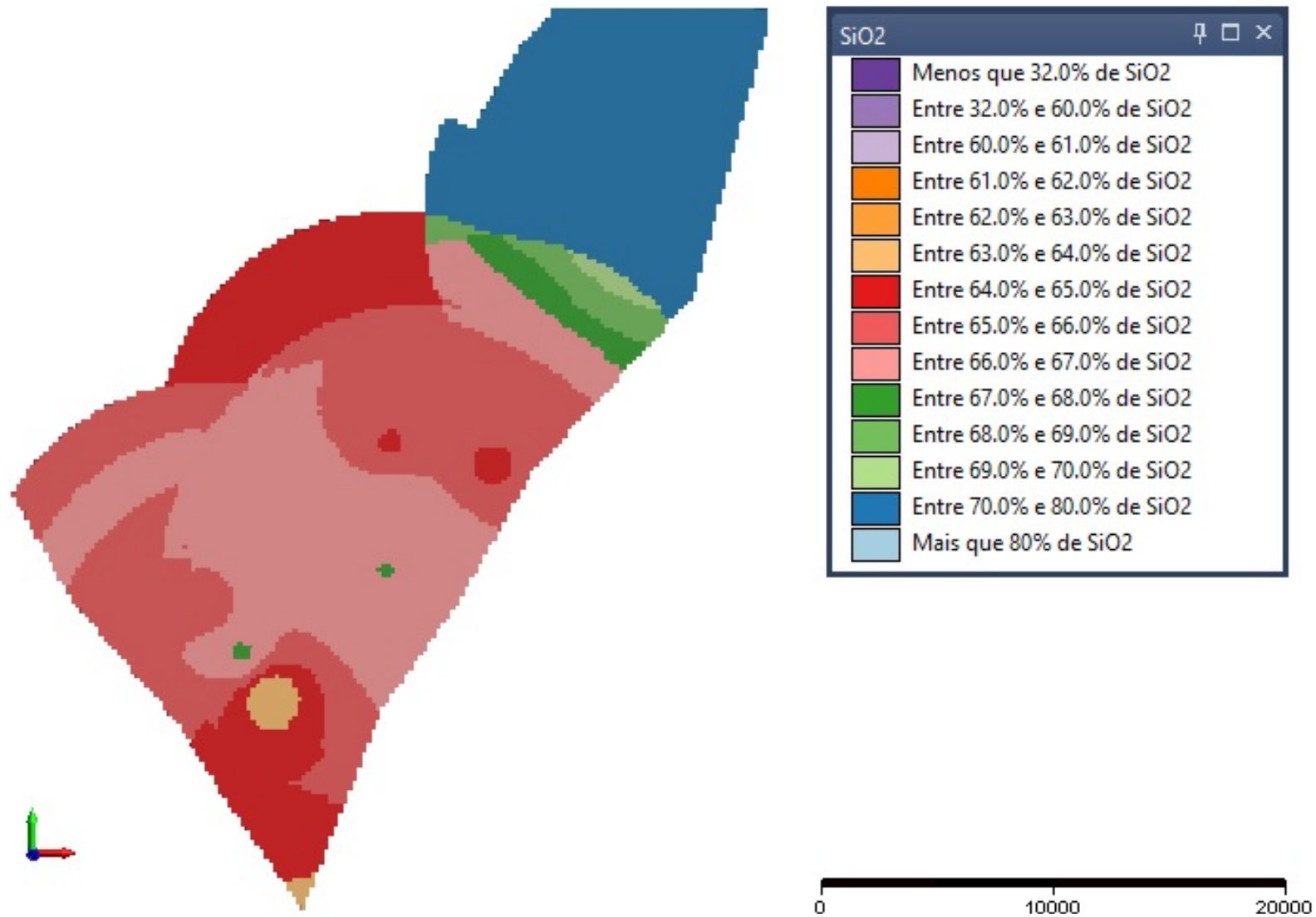


Figura 30 – Modelagem para dados de porcentagem de SiO₂.
Fonte: Do autor.

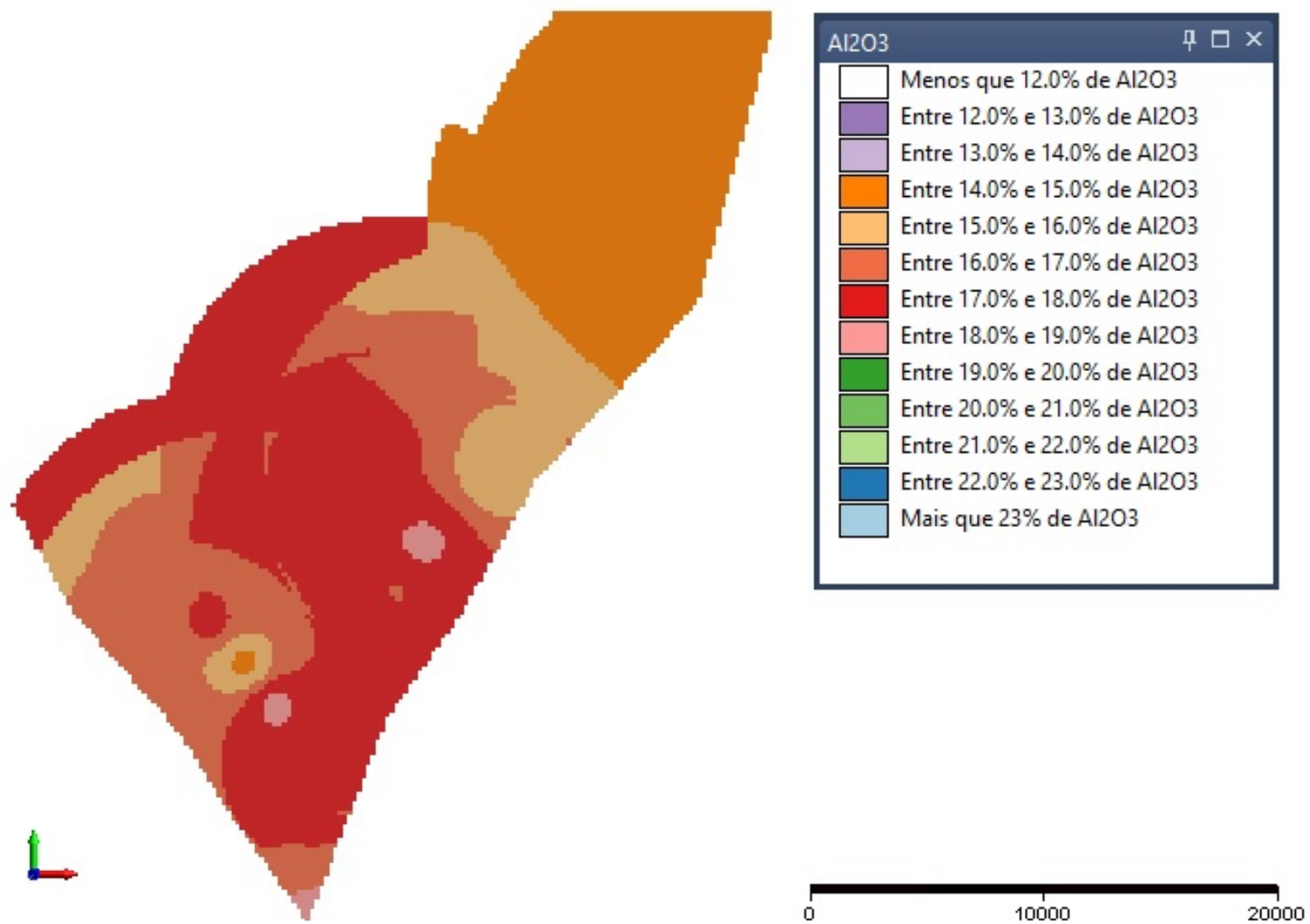


Figura 31 – Modelagem para dados de porcentagem de Al₂O₃.
Fonte: Do autor

Com base na modelagem tecnológica realizada, é possível observar diversas características peculiares em cada setor, de acordo com os resultados.

Nota-se que as porções do extremo norte são as que apresentam maiores porcentagens de SiO_2 e um dos menores índices de Al_2O_3 . Observando esta composição, a região possui um dos menores índices de absorção de água, além de não possuir os maiores índices de TRF.

Para que se obtenha bons índices de TRF, a matéria-prima deve possuir entre 64% e 67% de SiO_2 e entre 15% e 19% de Al_2O_3 . Estes valores podem ser observados nas regiões em vermelho do modelo de TRF, que corroboram estes dados. Aliados a isso, a absorção de água para a região fica abaixo dos 10%.

Pelos modelos também é possível observar regiões que possuem resultados bem característicos, como a região que possui entre 67% e 70% de SiO_2 . Esta região também figura como uma das que possuem maiores índices de TRF e menor absorção de água, contendo de 15% a 17% de Al_2O_3 .

Outra região com dados específicos é a que possui índice de TRF entre 100 Kgf/cm^2 e 140 Kgf/cm^2 . É possível observar que esta região, embora tenha bons teores de SiO_2 e Al_2O_3 , possui alto índice de absorção de água, o que contribui para o baixo índice de TRF, se comparado ao de outras áreas. Estes índices de TRF e AA, embora estejam nos padrões de SiO_2 e Al_2O_3 podem conter outros elementos, não analisados neste trabalho, que causem esta anomalia.

Em um contexto geral da porcentagem de elementos analisados, pode-se observar que uma grande parte da área estudada possui teores de SiO_2 entre 64% e 67% e teores de Al_2O_3 entre 15% e 19%. Dentro desta área descrita vê-se grande variação de índices de AA, de 6% a 20%, quanto de TRF, de 100 Kgf/cm^2 até mais de 400 kgf/cm^2 . Estas variações, em um contexto geral, não podem ser explicadas por este trabalho, visto que há diversos outros elementos presentes nestas argilas que não foram abordadas, como a porcentagem de carbonatos ou óxidos de potássio e magnésio.

Embora o modelo geológico não tenha sido aqui elaborado, é possível elencar diversas características do depósito estudado, comparando-o com Depósitos Estratiformes e *Red Beds*, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo entre região do PCSG, Depósitos Estratiformes e Depósitos *Red Beds*.

	PCSG	Dep. Estrat.	<i>Red Beds</i>
Tipo de formação	Continental/Marinho	Continental	Hidatogênico
Mineralizações associadas	Siltitos, arenitos finos	Carvão mineral, arenitos	Evaporitos
Exemplo	Argilas do PCSG	Bentonitas da Paraíba	White Pine (Cu)

Fonte: Do autor.

5 CONCLUSÕES

A partir da análise por agrupamento (*cluster analysis*) foi possível criar seis grupos distintos a partir dos 140 difratogramas das amostras analisadas. Com isso, pode-se encontrar a amostra que melhor representaria aquele grupo e assim, visando a aplicação industrial, que apenas com o ensaio de difração de Raios-X, seja possível saber quais são as principais características esperadas para determinada amostra estudada.

Dentro deste contexto de análise, pode-se observar que amostras que compõem o *cluster* seis são as que possuem maiores índices de perda ao fogo, possivelmente devido à presença de matéria orgânica e alto teor de caulinita.

Em relação à resistência mecânica as amostras dos *clusters* 1, 2, 3 e 4 são as que possuem índices acima de 200 kgf/cm², sendo as mais indicadas para utilização sem mistura, enquanto as amostras dos clusters 5 e 6 indicam necessidade de mistura (blendagem) com outras amostras, para melhores resultados.

Com a realização de ensaios cerâmicos em duas temperaturas distintas (1070 e 1120 °C), foi possível observar que na temperatura mais elevada encontram-se os melhores resultados, considerando que se busca a menor absorção de água e assim, menor porosidade aparente para as amostras. Porém, deve-se analisar a questão econômica, visto que o incremento de 50°C pode ser significativo em termos de custos de produção, em termos industriais e não apenas laboratoriais.

As diferenças entre qualidades das matérias primas estudadas são evidenciadas pelas diferentes mineralogias encontradas, indicando que apesar de serem argilas encontradas em regiões próximas, devido a variações genéticas locais, metamorfismo de contato e às mais diversas intempéries sofridas, há diferença em cada material analisado.

Em relação à modelagem da área estudada, foi possível observar que há regiões com característica bastante distintas e outras que não apresentam correlações, devido à análise de apenas dois elementos presentes em sua composição. Por vezes, a variação na matéria-prima ocorre mais com influência da mineralogia do que das características químicas.

Mesmo com a variedade litológica observada na região (verificada pelos mapas consultados), foi possível concluir que o potencial para uso de todas as

argilas de diferentes pacotes no âmbito da Formação Corumbataí e outras unidades observadas no PCSG é realmente grande.

O modelamento tecnológico preliminar, aliado à revisão bibliográfica e banco de dados utilizado, mostram que o tipo de depósito mineral observado no PCSG não se enquadra em nenhuma das possibilidades de modelos genéticos observados na literatura. Ele seria uma mistura entre os modelos genéticos de *red beds* e depósitos estratiformes, com características peculiares relacionada ao metamorfismo de contato e hidrotermalismo que ocorrem em função da presença dos corpos magmáticos na região.

É esperado que, especialmente na região do extremo norte da área modelada, que se forem realizados ensaios cerâmicos com amostra desta região, os resultados encontrados estejam de acordo com o analisado, com alto grau de confiabilidade.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para corroborar os dados apresentados nesta dissertação, são sugeridas diversas frentes, para serem analisadas em trabalhos futuros, a fim de fomentar a pesquisa e contribuir para uma melhoria contínua nos processos de fabricação do PCSG.

Inicialmente, sugere-se aumentar número de furos analisados e que contenham informações por toda a extensão do furo, a fim de se melhorar a qualidade dos resultados já existentes e possibilitar a criação do modelo geológico da área, assim como uma possível cubagem das matérias-primas do PCSG.

Em relação à modelagem, pode-se mudar parâmetros, como raio de busca e número de setores de análise, a fim de observar novos resultados. Como o método do IQD necessita de, no mínimo, quatro setores que contenham dois pontos em cada setor, pode-se buscar novos métodos de modelagem ou analisar a possibilidade de redução e/ou aumento dos setores, além do próprio raio de busca.

Sobre a área estudada, é possível realizar nova delimitação de área visando novos e/ou melhores resultados para comparação com a área atual.

Também pode-se trocar o método de estimativa a fim de comparar com o método utilizado neste trabalho. Aliado a estes fatores, também é interessante a busca por informações sobre outros softwares e sua aplicação para modelagens de corpos argilosos, além do que já exposto neste trabalho.

Por fim, com todas as informações obtidas e questionamentos resolvidos, pode-se realizar uma análise e aperfeiçoamento do plano de lavra existente de toda a área do PCSG, com finalidade de otimizar o processo e redução de custo.

REFERÊNCIAS

- ANTONIASSI, J. L.; CONTESSOTTO, R.; KAHN, H. Classificação de domínios mineralógicos em depósito de níquel por DRX Cluster Analysis em apoio à geometalurgia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 26, 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, v. 1, p. 773-781, out. 2015.
- ANNELS, A. E. **Mineral deposit evaluation: a practical approach**. London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman & Hall, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC). **Informações Técnicas**, 2015. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4>>. Acesso em: 31 out. 2015.
- ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. L.; CARNEIRO, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botocatu. In: NETO, V. M. et al. (Coord.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 77-92.
- AZZI, A. A.; CURTOLO, M. Z.; ZANARDO, A. Sensibilidade à secagem da matéria-prima cerâmica da Formação Corumbataí na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, SP. **Cerâmica**, [s.l.], v. 61, n. 358, p.236-243, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/0366-69132015613581874.
- BARTOLOMEU, D.; MORENO, M. M. T.; ROCHA, R. R. Efeitos da composição mineralógica e distribuição de partículas na formulação de massas: pólo cerâmico de Santa Gertrudes. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 1, n. 1, p. 063-068, jan/mar 2011.
- BERNARDES, E. S. **Diagênese da Formação Corumbataí na mina Partezani, Rio Claro-SP**. 2005. 127 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2005.
- BIONDI, J. C. **Processos metalogênicos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de textos, 2003.
- CAVA, S. S. **Otimização do processo de queima de revestimentos cerâmicos por meio do controle da atmosfera do forno**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2000.
- CERÂMICA. **Cerâmicas geram 9,5 empregos diretos na região**. 2016. Disponível em: <<http://www.aspacer.com.br/2016/05/10/ceramicas-geram-95-mil-empregos-diretos-na-regiao/>>. Acesso em: 04 jan. 2017.
- CHRISTOFOLETTI, S. R.; THOMAZELLA, H. R.; MORENO, M. M. T.; MASSON, M. R. Utilização da análise estatística multivariada no tratamento de dados aplicados a matérias-primas cerâmicas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 26, p. 19-29, 2005.

CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M. T.; MOTTA, J.F.M. La Formación Corumbataí y su importancia en la industria cerámica del estado de São Paulo - Brasil. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p.705-715, 2009. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1517-70762009000100005.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T. Características das rochas da Formação Corumbataí utilizadas na indústria de revestimento cerâmico. **Geociências**, São Paulo, v. 23, n. 1, p.79-88, jan. 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106764/ISSN1980-900X-2004-23-1-79-88.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

DICIONÁRIO MICHAELIS. Termo: modelo. 2016. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>>. Acesso em: 21 out. 2016.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. **Applied Clay Science**, [s.l.], v. 96, p.91-109, jul. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.clay.2014.01.013. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0169131714000283?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 08 jan. 2016.

HighScore Plus. **Software da PANalytical**. Disponível em: <<http://www.panalytical.com/Xray-diffraction-software/HighScore-with-Plus-option.htm>> Acesso em: 25 jan. 2016.

LANDIM, P. M. B. **O Grupo Passa Dois na Bacia do Rio Corumbataí**. DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia, v. 252, p. 103, 1970.

MAGALHÃES, R. **Precisava escrever**. Editora Vieira, 2014

MASSON, M.R. **Caracterização de jazidas visando a garantia de qualidade de matérias primas para a indústria cerâmica de revestimentos**. 2002. 267 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2002.

MASSON, M. R. et al. Análise estatística multivariada aplicada à caracterização de jazidas de matérias-primas para revestimentos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **ANAIS...** São Pedro, v. 1, p. 06801-06814, 2000.

MASSON, M. R. et. al. Mapeamento e Caracterização Geológica/Tecnológica da Formação Corumbataí com vistas ao seu Emprego na Indústria de Revestimentos Cerâmicos Parte I - Geologia e correlação entre as minas e jazidas estudadas. **Cerâmica Industrial**, v.5, n.6, p.24-33, nov/dez 2000.

MARQUES, R. S. et al. Modeling and planning of bentonite clay mining: a case study at Bañado de Medina, Melo, Uruguay. **REM: Revista Escola de Minas**, [s.l.], v. 66, n. 4, p.521-528, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0370-44672013000400018>.

MELCHIADES, F. G.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. A curva de gresificação: Parte 1. **Cerâmica Industrial**, v.1, p. 30-31, ago/dez 1996.

MOTTA, J.F.M. et al. Características do polo de revestimentos cerâmicos de Santa Gertrudes – SP, com ênfase na produção de argilas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.9, n.1, p.7-13, jan/fev 2004.

NEUMANN, R.; SCHNEIDER, C. L.; NETO, A. A. **Caracterização tecnológica de minérios: Parte II**. Cetem, 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

PERINOTTO, J. A. J. et al. Diques Clásticos Na Formação Corumbataí (P) No Nordeste Da Bacia Do Paraná, SP: Análise Sistemática E Significações Estratigráficas, Sedimentológicas E Tectônicas. **Geociências**. São Paulo, v. 27, n. 4, out. 2008. Disponível em: <http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822008000400004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 31 out. 2015.

PORPHIRIO, N. H.; BARBOSA, M. I.; BERTOLINO, L. C. **Caracterização mineralógica de minérios: Parte I**. Cetem, 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

PRADO, A. C. A. et al. Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha. **Cerâmica**, v. 54, p. 466-471, 2008.

RAMOS, N. A.; FORMOSO, M. L. L. Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. **Petrobrás/CENPES/DINEP Série Científica-Técnica-Petróleo**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 12, 1975.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. 2. ed. New York: Wiley-Interscience, 1995.

ROCHA, R. R. **Propriedades químico-mineralógicas e cerâmicas de rochas da Formação Corumbataí: aplicação na diversificação de produtos**. 2012. 203 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2012.

ROCHA, R. R.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T. Estudo do comportamento reológico de barbotinas preparadas com argilas da Formação Corumbataí utilizadas no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes (SP). **Cerâmica**, v. 54, p. 332-337, 2008

RODOVALHO, E. C. **Notas de aula: Aula 2 – Métodos convencionais de estimativa**. Poços de Caldas: Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), 2016.

ROVERI, C. D.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T. Variação da cor e propriedades cerâmicas com o aumento da temperatura de queima de uma argila proveniente da formação Corumbataí, região de Piracicaba (SP). **Cerâmica**, v. 53, p. 436-441, 2007.

ROVERI, C. D. **Petrologia aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro - SP) e Produtos Cerâmicos**. 2010. 203 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2010.

SHIMIZU, V. K. et al. Copper ore type definition from Sossego Mine using X-ray diffraction and cluster analysis technique. **REM: Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 53, p. 561-566, out/dez 2012.

TAIOLI, F. Recursos Energéticos. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, 140p.

THOMAZELLA, H. R. et al. Utilização da Formação Corumbataí em processo de fabricação cerâmica via úmida. IN: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 44, 2000, São Pedro. **Anais...** São Pedro, v. 1, 2000.

ZANARDO, A. **Pesquisa geológica e de matérias-primas cerâmicas do centro nordeste do estado de São Paulo e vizinhanças**. Livre Docência – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro, 2003.

APÊNDICES

Apêndice A - Arquivo Assay

BHID	FROM	TO	TRF	AA	SiO2	Al2O3
N16	1,00	8,00	116,0	12,1	67,2	18,1
N17	1,20	9,00	180,0	21,5	73,5	17,0
N18	2,30	8,40	20,0	20,6	76,5	13,0
N20	1,80	7,00	269,0	4,69	64,8	17,3
N21	2,30	9,00	224,0	10,0	58,3	14,5
N22	1,30	12,0	275,0	7,5	70,6	15,4
N23	2,40	15,0	289,0	3,60	78,9	16,3
N24	5,70	15,2	199,0	4,92	68,6	15,8
N25	0,50	11,0	212,0	5,25	69,0	15,3
N27	2,30	25,0	112,0	11,5	67,0	18,4
N28	4,50	38,0	151,0	21,8	72,5	17,0
N29	3,10	24,0	267,0	6,30	56,2	15,9
N30	15,0	35,0	230,0	6,26	71,8	14,6
N31	27,0	38,0	191,0	4,29	69,4	15,1
N37	22,0	34,3	274,0	6,18	62,0	15,8
N46	21,0	36,0	255,0	4,43	64,2	16,6
N47	24,0	28,0	45,0	23,9	71,2	14,4
N48	15,0	40,0	126,0	13,7	66,6	16,7
N49	37,0	55,0	128,0	20,4	67,3	18,0
N50	15,0	63,0	146,0	13,8	65,6	17,4
N51	34,0	55,0	89,0	22,3	65,0	15,6
N52	27,0	65,0	235,0	10,7	63,0	18,3
N54	33,0	63,0	188,0	9,44	67,4	15,2
N55	12,0	42,0	485,0	1,44	64,9	15,0
N56	8,00	25,0	53,0	21,4	78,1	10,8
N58	15,5	22,0	300,0	2,2	64,8	16,4
N59	15,0	26,0	145,0	12,2	68,1	13,9
N60	33,0	35,0	101,0	18,5	62,4	19,6
N61	31,0	37,0	224,0	0,30	65,5	14,4
N62	54,0	66,0	209,0	2,06	65,7	14,7
N63	37,0	52,0	231,0	1,11	64,9	14,7
N64	30,0	45,0	263,0	2,02	65,1	14,6
N65	36,0	40,0	173,0	11,3	65,6	16,9
N66	49,0	56,0	196,0	6,54	67,0	14,8
N67	22,0	50,0	289,0	9,88	61,2	20,4
N68	34,2	45,0	375,0	2,76	59,7	12,9
N69	38,9	47,8	286,0	2,28	68,3	13,2
N70	43,0	55,0	148,0	11,5	73,2	12,1
N71	18,0	32,0	276,0	4,03	67,2	14,7

N72	4,00	12,0	285,0	4,69	70,1	14,3
N74	15,2	42,0	339,0	0,89	65,8	14,5
N75	42,9	57,4	418,0	0,47	66,1	13,4
N76	5,70	22,3	337,0	1,63	62,2	13,6
N77	6,50	18,9	328,0	4,05	63,9	13,9
N78	14,4	32,1	211,0	8,88	60,0	12,2
N79	15,8	32,2	223,0	5,38	67,8	14,4
N80	27,0	38,0	399,0	6,92	32,2	9,8
N81	8,00	27,5	292,0	3,65	67,8	13,9
N84	5,50	15,5	216,0	12,2	59,0	22,4
N85	12,0	27,5	244,0	5,25	69,2	14,6
N86	65,0	72,0	200,0	10,7	63,2	19,1
N88	27,0	75,0	223,6	6,81	65,6	16,3
N89	35,0	55,0	104,6	16,9	63,5	20,0
N91	27,0	45,0	135,0	15,2	64,9	18,1
N93	32,0	40,0	135,0	13,0	62,7	10,7
N95	15,0	42,0	318,0	1,4	65,9	12,4
N96	27,0	38,0	0,00	0,00	68,4	13,8
N97	8,00	15,0	290,0	2,64	65,6	14,2
N98	4,00	7,00	259,0	4,47	62,8	13,7
N99	4,00	10,0	190,0	13,7	63,8	12,7
N100	11,0	18,0	52,0	23,6	69,4	14,7
N101	15,0	27,0	167,5	13,4	66,4	17,3
N102	38,0	40,0	118,0	18,5	67,7	16,9
N103	31,0	55,0	174,2	13,2	69,3	15,0
N104	2,00	13,0	311,0	3,90	66,0	14,9
N106	0,50	5,00	116,0	16,4	69,8	12,0
N107	28,0	36,0	119,0	13,4	55,7	9,2
N108	15,0	55,0	198,0	7,77	72,5	11,9
N109	9,00	20,0	304,0	1,50	67,6	14,4
N110	7,00	21,5	218,0	5,5	70,0	12,9
N111	30,0	50,0	111,0	13,4	66,5	11,5
N115	41,0	45,0	142,0	11,9	63,8	17,2
N116	15,0	70,0	56,0	20,6	66,4	19,2
N117	14,0	29,0	207,0	3,92	68,3	12,1
N118	12,0	24,5	200,0	5,82	66,1	11,5
N119	7,00	15,0	288,0	0,18	69,1	12,4
N120	8,00	18,0	186,0	6,37	66,6	12,0
N121	19,0	25,0	140,0	12,3	61,9	10,7
N122	40,0	62,0	114,0	15,1	56,1	10,2
N123	5,00	18,0	239,0	7,66	63,9	16,6
N125	27,0	33,0	226,0	8,24	63,2	17,0
N126	16,0	42,0	345,0	4,68	65,1	17,1
N127	27,0	44,0	240,0	9,82	67,3	13,7

N128	39,0	52,0	304,0	4,28	66,1	15,6
N129	27,0	35,0	171,0	11,9	69,7	15,5
N130	32,0	45,0	222,0	6,07	68,8	14,1
N131	25,0	37,0	225,0	8,49	68,1	15,3
N132	26,0	35,0	136,0	17,3	64,6	19,1
N133	26,0	33,0	273,0	9,43	65,3	18,1
N134	12,0	34,5	303,0	5,47	65,3	17,8
N135	14,0	18,0	317,0	7,40	66,4	16,6
N136	3,50	9,70	348,0	4,32	65,8	16,2
N137	2,50	5,80	251,0	3,54	70,4	12,8
N138	35,6	50,0	243,0	4,35	70,3	12,9
N140	38,5	48,9	235,0	3,71	68,2	14,2
N141	58,0	66,0	335,0	0,12	66,7	14,7
N142	39,0	47,0	180,0	9,46	61,8	12,3
N143	36,5	41,0	243,0	0,24	68,4	14,2
N144	26,5	39,0	199,0	6,96	69,3	13,0
N145	11,0	27,5	227,0	2,87	68,8	14,1
N146	26,0	35,0	248,0	2,47	67,6	14,4
N147	21,0	32,0	254,0	4,43	68,3	15,0
N148	7,00	13,0	365,0	3,35	67,4	15,9
N150	15,0	22,5	24,0	17,8	40,8	27,8
N151	8,50	25,0	342,0	4,40	65,3	17,0
N152	10,2	15,5	238,0	9,27	61,5	20,3
N153	27,0	40,0	16,8	18,8	39,1	28,2
N154	33,0	35,0	359,0	1,47	66,5	16,1
N155	24,5	35,5	396,0	1,98	63,9	15,9
N156	22,0	34,0	116,0	10,9	72,6	10,8
N157	17,0	32,4	186,0	5,52	70,4	12,2
N180	21,0	39,0	345,0	3,80	62,5	18,5
N181	19,5	40,5	153,0	9,23	67,4	14,4
N182	38,0	42,0	328,0	6,40	63,2	17,7
N183	44,0	50,0	332,0	2,76	66,3	15,7
N185	26,5	35,2	234,0	0,18	65,5	15,0
N186	39,0	44,0	238,0	2,00	66,1	15,2
N187	37,5	45,0	215,0	2,14	66,0	14,7
N188	25,0	33,0	213,0	5,10	70,4	14,0
N189	36,5	42,5	282,0	0,41	66,2	15,4
N190	33,9	47,5	35,6	22,0	43,6	28,5
N191	39,0	42,0	13,1	18,1	42,5	31,9
N192	15,0	31,0	16,3	19,2	42,3	30,1
N193	27,5	37,5	42,1	14,9	46,7	29,9
N194	17,0	33,0	32,0	17,8	51,5	26,9
N195	18,0	36,0	243,0	8,52	58,1	22,2
N197	19,0	27,0	334,0	0,26	68,8	14,0

N198	44,0	56,0	252,0	5,76	69,7	14,3
N199	39,0	42,0	259,0	0,34	67,8	14,3
N200	36,0	45,0	338,0	0,41	67,8	14,4
N201	5,00	13,0	130,0	22,0	71,1	15,8
N202	9,00	18,0	291,0	8,56	67,6	16,2
N203	37,0	40,0	185,0	13,4	69,4	15,8
N204	28,5	42,0	328,0	0,14	67,2	15,2
N205	15,0	39,0	351,0	0,23	72,3	12,9
N208	17,0	25,0	225,0	0,11	65,2	13,5
N209	14,0	32,0	275,0	0,57	68,1	13,6
N210	27,0	35,0	218,0	0,09	61,8	13,0
N211	38,5	42,0	277,0	0,11	67,6	13,8

Apêndice B - Arquivo Collar

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
N16	228153,0	7510759,0	510,7
N17	230378,0	7521508,0	562,6
N18	222234,0	7516514,0	576,6
N20	227978,0	7522476,0	633,1
N21	220208,0	7513946,0	590,0
N22	227985,0	7513458,0	552,1
N23	226858,0	7514902,0	548,1
N24	226577,0	7519511,0	577,9
N25	226612,0	7512293,0	576,2
N27	223982,0	7523740,0	646,1
N28	233217,0	7525634,0	600,1
N29	232797,0	7526412,0	561,5
N30	232418,0	7526889,0	606,1
N31	231958,0	7527580,0	633,4
N37	232278,0	7514678,0	543,2
N46	220305,0	7513408,0	622,2
N47	220401,0	7520124,0	617,9
N48	222126,0	7522564,0	671,4
N49	222343,0	7522409,0	685,2
N50	220599,0	7514727,0	631,7
N51	217896,0	7516803,0	610,6
N52	217068,0	7517367,0	655,4
N54	227881,0	7525310,0	646,9
N55	226948,0	7526802,0	656,9
N56	224498,0	7516119,0	550,5
N58	223701,0	7515413,0	597,9
N59	225072,0	7513629,0	608,4
N60	221716,0	7519306,0	574,2
N61	232649,0	7523694,0	562,1
N62	227365,0	7512956,0	560,5
N63	229089,0	7514503,0	582,1
N64	232570,0	7520200,0	552,9
N65	231450,0	7518870,0	591,5
N66	234950,0	7519100,0	609,9
N67	235850,0	7517080,0	609,4
N68	235600,0	7514050,0	565,5
N69	239200,0	7515200,0	579,6
N70	238950,0	7514050,0	610,3
N71	218850,0	7516100,0	653,3
N72	237900,0	7533850,0	674,8
N74	234171,0	7508182,0	543,6
N75	225619,0	7488645,0	491,8

N76	220428,0	7489573,0	492,1
N77	220034,0	7489656,0	486,1
N78	219560,0	7489710,0	491,4
N79	216219,0	7489760,0	518,1
N80	211531,0	7492710,0	510,6
N81	204265,0	7498686,0	553,2
N84	222669,0	7495102,0	515,8
N85	221946,0	7496006,0	514,3
N86	206751,0	7502411,0	516,2
N88	214538,0	7487860,0	466,9
N89	213678,0	7487298,0	499,0
N91	210539,0	7487269,0	480,4
N93	208801,0	7482121,0	534,6
N95	195864,0	7487717,0	510,0
N96	214259,0	7485166,0	503,3
N97	213701,0	7483545,0	516,7
N98	213506,0	7482938,0	515,3
N99	214360,0	7490970,0	509,9
N100	217468,0	7492642,0	482,1
N101	203737,0	7497915,0	515,6
N102	203308,0	7497575,0	538,5
N103	203177,0	7497059,0	527,3
N104	202795,0	7496395,0	526,5
N106	203013,0	7493408,0	517,8
N107	202854,0	7493117,0	512,8
N108	197846,0	7497886,0	550,8
N109	224051,0	7482258,0	500,0
N110	222676,0	7482175,0	505,8
N111	221928,0	7482317,0	547,4
N115	218737,0	7481308,0	543,7
N116	217428,0	7481432,0	506,4
N117	215926,0	7481078,0	533,0
N118	214372,0	7479800,0	507,3
N119	213964,0	7479368,0	515,9
N120	213435,0	7479005,0	512,0
N121	213180,0	7478745,0	508,4
N122	212843,0	7477056,0	510,5
N123	213218,0	7476109,0	546,0
N125	213127,0	7474540,0	533,7
N126	215488,0	7475605,0	559,6
N127	221085,0	7478085,0	509,7
N128	221001,0	7477933,0	515,0
N129	220096,0	7477401,0	546,8
N130	219243,0	7476741,0	567,5

N131	217390,0	7476621,0	530,3
N132	214485,0	7475034,0	519,0
N133	213194,0	7474277,0	530,7
N134	212830,0	7473873,0	547,8
N135	212217,0	7473049,0	548,9
N136	211484,0	7472227,0	565,8
N137	210560,0	7472815,0	565,3
N138	209050,0	7473297,0	561,8
N140	202648,0	7470738,0	490,1
N141	200000,0	7471308,0	518,7
N142	199108,0	7473011,0	495,8
N143	199325,0	7473744,0	501,7
N144	198292,0	7474861,0	532,1
N145	198058,0	7475281,0	558,2
N146	195458,0	7482410,0	614,2
N147	193713,0	7481584,0	613,1
N148	196251,0	7478636,0	576,4
N150	218807,0	7476013,0	554,0
N151	218557,0	7475419,0	554,8
N152	218512,0	7475169,0	553,2
N153	218088,0	7474912,0	525,0
N154	217945,0	7474684,0	503,7
N155	217498,0	7474356,0	524,4
N156	215307,0	7472240,0	575,8
N157	215359,0	7472092,0	565,4
N180	194506,0	7462282,0	518,0
N181	194175,0	7458034,0	509,8
N182	194255,0	7457422,0	494,1
N183	193314,0	7455003,0	506,9
N185	214050,0	7466406,0	551,8
N186	214609,0	7465694,0	557,3
N187	215265,0	7465827,0	564,5
N188	215431,0	7465825,0	560,8
N189	216037,0	7466064,0	551,9
N190	218270,0	7465411,0	585,1
N191	219228,0	7465819,0	536,2
N192	219496,0	7465977,0	561,3
N193	219884,0	7463548,0	558,2
N194	217338,0	7462729,0	560,0
N195	210935,0	7458849,0	481,6
N197	208384,0	7461364,0	530,0
N198	207901,0	7463153,0	549,5
N199	215418,0	7470847,0	533,5
N200	225784,0	7484225,0	475,3

N201	224207,0	7484912,0	514,0
N202	223557,0	7484297,0	485,9
N203	221793,0	7484602,0	518,2
N204	235274,0	7475343,0	628,8
N205	236292,0	7465394,0	604,3
N208	232561,0	7475103,0	605,9
N209	233099,0	7487301,0	507,7
N210	224318,0	7469457,0	638,1
N211	221425,0	7458360,0	496,5

Apêndice C - Arquivo Geology

BHID	FROM	TO	ROCK
N16	1,00	8,00	6
N17	1,20	9,00	13
N18	2,30	8,40	13
N20	1,80	7,00	13
N21	2,30	9,00	13
N22	1,30	12,0	14
N23	2,40	15,0	14
N24	5,70	15,2	13
N25	0,50	11,0	6
N27	2,30	25,0	6
N28	4,50	38,0	13
N29	3,10	24,0	13
N30	15,0	35,0	13
N31	27,0	38,0	13
N37	22,0	34,3	13
N46	21,0	36,0	13
N47	24,0	28,0	13
N48	15,0	40,0	13
N49	37,0	55,0	13
N50	15,0	63,0	13
N51	34,0	55,0	6
N52	27,0	65,0	13
N54	33,0	63,0	6
N55	12,0	42,0	6
N56	8,00	25,0	6
N58	15,5	22,0	13
N59	15,0	26,0	13
N60	33,0	35,0	6
N61	31,0	37,0	3
N62	54,0	66,0	13
N63	37,0	52,0	13
N64	30,0	45,0	13
N65	36,0	40,0	13
N66	49,0	56,0	13
N67	22,0	50,0	13
N68	34,2	45,0	13
N69	38,9	47,8	13
N70	43,0	55,0	13
N71	18,0	32,0	13
N72	4,00	12,0	13
N74	15,2	42,0	15
N75	42,9	57,4	15

N76	5,70	22,3	13
N77	6,50	18,9	13
N78	14,4	32,1	13
N79	15,8	32,2	13
N80	27,0	38,0	13
N81	8,00	27,5	13
N84	5,50	15,5	13
N85	12,0	27,5	13
N86	65,0	72,0	13
N88	27,0	75,0	12
N89	35,0	55,0	6
N91	27,0	45,0	15
N93	32,0	40,0	13
N95	15,0	42,0	13
N96	27,0	38,0	6
N97	8,00	15,0	6
N98	4,00	7,00	13
N99	4,00	10,0	6
N100	11,0	18,0	6
N101	15,0	27,0	6
N102	38,0	40,0	6
N103	31,0	55,0	6
N104	2,00	13,0	11
N106	0,50	5,00	6
N107	28,0	36,0	11
N108	15,0	55,0	11
N109	9,00	20,0	11
N110	7,00	21,5	6
N111	30,0	50,0	13
N115	41,0	45,0	9
N116	15,0	70,0	1
N117	14,0	29,0	6
N118	12,0	24,5	6
N119	7,00	15,0	6
N120	8,00	18,0	6
N121	19,0	25,0	5
N122	40,0	62,0	12
N123	5,00	18,0	15
N125	27,0	33,0	15
N126	16,0	42,0	4
N127	27,0	44,0	6
N128	39,0	52,0	12
N129	27,0	35,0	15
N130	32,0	45,0	8

N131	25,0	37,0	7
N132	26,0	35,0	14
N133	26,0	33,0	2
N134	12,0	34,5	6
N135	14,0	18,0	6
N136	3,50	9,70	6
N137	2,50	5,80	6
N138	35,6	50,0	6
N140	38,5	48,9	6
N141	58,0	66,0	13
N142	39,0	47,0	13
N143	36,5	41,0	13
N144	26,5	39,0	6
N145	11,0	27,5	6
N146	26,0	35,0	13
N147	21,0	32,0	13
N148	7,00	13,0	13
N150	15,0	22,5	11
N151	8,50	25,0	15
N152	10,2	15,5	11
N153	27,0	40,0	6
N154	33,0	35,0	6
N155	24,5	35,5	14
N156	22,0	34,0	6
N157	17,0	32,4	6
N180	21,0	39,0	6
N181	19,5	40,5	14
N182	38,0	42,0	14
N183	44,0	50,0	10
N185	26,5	35,2	6
N186	39,0	44,0	6
N187	37,5	45,0	13
N188	25,0	33,0	14
N189	36,5	42,5	6
N190	33,9	47,5	6
N191	39,0	42,0	14
N192	15,0	31,0	6
N193	27,5	37,5	14
N194	17,0	33,0	6
N195	18,0	36,0	13
N197	19,0	27,0	13
N198	44,0	56,0	6
N199	39,0	42,0	6
N200	36,0	45,0	13

N201	5,00	13,0	6
N202	9,00	18,0	6
N203	37,0	40,0	6
N204	28,5	42,0	8
N205	15,0	39,0	13
N208	17,0	25,0	13
N209	14,0	32,0	13
N210	27,0	35,0	13
N211	38,5	42,0	6
