

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

RAFAEL CARVALHO ALVES DE MELLO

**Análise do aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do
córrego Assistência, SP: Caso do Polo Cerâmico de Santa
Gertrudes**

Orientador: Prof. Dr. Antenor Zanardo

**Rio Claro (SP)
2015**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

RAFAEL CARVALHO ALVES DE MELLO

**Análise do aporte de sedimentos na bacia hidrográfica
do córrego Assistência, SP: Caso do Polo Cerâmico de
Santa Gertrudes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Antenor Zanardo

Rio Claro (SP)

2015

628.1 Mello, Rafael Carvalho Alves
M527a Análise do aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do
córrego Assistência, SP : caso do Polo Cerâmico de Santa
Gertrudes / Rafael Carvalho Alves Mello. - Rio Claro, 2015
102 f. : il., figs., gráfs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antenor Zanardo

1. Abastecimento de água. 2. Controle da poluição. 3.
Fonte de sedimento. 4. Ilita. 5. Recursos hídricos. 6.
Mineralogia. I. Título.

RAFAEL CARVALHO ALVES DE MELLO

**Análise do aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do
córrego Assistência, SP: Caso do Polo Cerâmico de Santa
Gertrudes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociência e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Antenor Zanardo

Lúcia Vidor de Sousa Reis

Rogers Raphael da Rocha

APROVADO

Rio Claro, SP, 29 de Abril de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Antenor Zanardo pela orientação e generosidade com que acolheu a proposta de pesquisa e por me proporcionar uma nova visão sobre o conhecimento.

Ao Professor Dr. Fabiano Tomazzini da Conceição, que colocou a disposição a infraestrutura de laboratórios e equipamentos e para a realização da pesquisa.

Ao Professor Dr. Sebastião Gomes de Carvalho, articulador que possibilitou os contatos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao laboratório de Geoquímica Ambiental, na figura de Suely, sempre prestativa e solidária me ajudou inúmeras vezes nas rotinas laboratoriais.

Ao laboratório de Difração de Raios X, em especial à Cibele e Fábio que não pouparam esforços em me capacitar no manejo do equipamento e interpretação dos difratogramas.

Aos camaradas Guedes e Flávio que me auxiliaram na produção dos mapas e pelas prazerosas discussões e conversas.

A CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

“A água que você toca dos rios é a última daquela que se foi e a primeira daquela que vem”

(Leonardo Da Vinci, RODRIGUES e MEDIONDO, 2014. p. 47).

RESUMO

No Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, os aspectos da poluição causada pelo setor minerário, referem-se principalmente à emissão de particulados para a atmosfera e o carreamento de sedimento para os corpos hídricos do entorno. O adensamento desses empreendimentos, constituídos por minerações a céu aberto e pátios de secagem, podem alterar o regime natural de descarga sólida dos corpos hídricos ao introduzir grande volume de sedimentos no meio natural. Como efeito, à jusante do empreendimento, pode ocorrer o aumento da turbidez provocada por sedimentos finos em suspensão que em quantidade excessiva geram impactos aos usos múltiplos do recurso hídrico (abastecimento público, recreação, uso industrial e infraestruturas) e constituem um grande estressor do ecossistema aquático, causando efeito sobre as macrófitas e populações de peixes. Frente a esse cenário, durante o ano hidrológico de 2014 que ficou marcado pela estiagem severa que assolou o estado de São Paulo, foi feita uma investigação sobre a interferência das áreas de mineração de argila na qualidade da água do córrego Assistência, utilizando como ferramentas alguns parâmetros físico-químicos, a descarga sólida em suspensão e a mineralogia do sedimento em suspensão coletado no exutório da bacia hidrográfica. As campanhas de campo foram feitas semanalmente e eventualmente na ocorrência de chuva. Ao todo foram realizadas 67 campanhas, sendo que 14 delas registraram turbidez acima de 100 NTU, na campanha, eram coletados dados de hidrometria, feita a leitura “in situ” de uma série de parâmetros físico-químicos e coletado as amostras de água e sedimentos suspensos para análise em laboratório. A partir da análise mineralógica dos solos presentes na bacia hidrográfica, foi possível eleger a caulinita e illita como traçadores mineralógicos. A caulinita é o argilomineral preponderante nos solos da bacia hidrográfica, enquanto a illita é o argilomineral amplamente dominante no minério explorado pelo Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, e como não está presente nos solos ou presente em pequena quantidade, a presença significativa desse argilomineral em ambiente fluvial pode indicar a interferência dos empreendimentos minerários na qualidade da água. A média da descarga sólida em dias de evento de chuva significativa foi de 50 t/dia, dentre os sólidos transportados em suspensão, é constante a presença de quartzo, caulinita, illita e montmorillonita na fração < 53µm. O córrego Assistência mostrou-se bastante influenciado pelo material proveniente da erosão do solo e das áreas de minerações de argila, sendo a caulinita e illita os principais argilominerais transportados pelo córrego.

Palavras chaves: Recursos hídricos. Bacia hidrográfica. Controle da poluição. Fonte de sedimento. Mineralogia. Illita. Polo Cerâmico de Santa Gertrudes.

ABSTRACT

At the ceramic center of Santa Gertrudes, the mining sector's pollution aspects are mainly related to the emission of particulate matter to the atmosphere and the runoff of sediment to the nearby rivers. The growth of these activities, which are composed of open field mining and drying yards, may alter the natural regime of solid waste in the rivers by introducing great sediment volume in the natural environment. Effectively, downstream these minings, there may be an increase in the turbidity occurred by thin suspended sediment, which in a big amount result in impacts to the many uses of the hydric resource (recreational, domestic and industrial use) and cause a big stress in the aquatic ecosystems, affecting the macrophytes and fish populations. In this scenario, throughout the 2014 hydrologic year, an investigation was conducted concerning the interference of the clay mining areas in the quality of the water of the Assistencia river, using as tools several physical and chemical parameters, the solid suspended runoff and the mineralogy of the suspended sediment collected from the basin's sink. The field works were taken weekly and eventually after rainy days. In the total, it took 67 field works, and in 14 of them the turbidity registered was above 100 NTU. In these occasions, data readings on hydrometric and several physical and chemical aspects was collected, as were samples of water with suspended sediments for lab analysis. With the analysis of the basin's soil's mineralogy the kaolinite and the illite were determined as mineral markers. The kaolinite is the most common clay mineral in the basin, and the illite is the dominant clay mineral explored in the Santa Gertrudes' ceramic center, and, since it's not found in the soils, or is in small amounts, its significant presence in the river's water may be due to the interference of the mining activities in the water's qualities. The average solid runoff in rainy days is of 50t/day, and among the solid suspended matter, are always present the quartz, kaolinite, illite and montmorillonite in the fraction of $< 53\mu\text{m}$. The Assistência river was proven to be very affected by the material from soil erosion and from the clay mining activities, being the kaolinite and the illite the main minerals carried by the river.

Key Words: Water resources. River basin. Pollution control. Sediment sources. Mineralogy. Illite. Santa Gertrudes ceramic center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	16
Figura 2: Mapa topográfico da área de estudo.....	17
Figura 3: Alternativas para alteração mineral na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí.....	18
Figura 4: Mapa geológico da bacia hidrográfica do córrego Assistência.....	20
Figura 5: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do córrego Assistência.....	26
Figura 6: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do córrego Assistência.....	29
Figura 7: Cenário atual das atividades minerárias na bacia.....	30
Figura 8: Posto de coleta de dados.....	33
Figura 9: Fluxograma do pré-tratamento da amostra de grande volume.....	35
Figura 10: Coleta de amostras de solo.....	41
Figura 11: Fluxograma do pré-tratamento dado à amostra de solo.....	42
Figura 12: Preparo de lâminas com material coletado no córrego Assistência.....	43
Figura 13: Modelo conceitual das interações sedimento-água em ambiente fluvial.....	46
Figura 14: Área de mineração de argila em 2008.....	49
Figura 15: Difrátogramas do solo coletado no ponto P1.....	53
Figura 16: Difrátogramas do solo coletado no ponto P2.....	54
Figura 17: Difrátogramas do solo coletado no ponto P3.....	55
Figura 18: Difrátogramas do solo coletado no ponto P4.....	55
Figura 19: Planilha de tratamento de dados hidrossedimentológico e de qualidade de água de água.....	61
Figura 20: Floração de macrófita nos meses de estiagem.....	64
Figura 21: Difrátograma típico de eventos de cheia evidenciando quantidade de caulinita pouco superior a de illita, além de quartzo e pequena quantidade de montmorillonita ou interestratificados.....	66
Figura 22: Difrátograma típico de tempo seco mostrando picos de caulinita, illita, montmorillonita e quartzo, com predominância de caulinita sobre os outros argilominerais.....	67
Figura 23: Difrátograma em que a proporção de caulinita e illita é semelhante com participação significativa de montmorillonita/interestratificado e quartzo.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histórico das máximas anuais de cor, turbidez e vazão na captação de Piracicaba no rio Corumbataí - Fonte: SEMAE, 2011	13
Gráfico 2: Porcentagem de uso e cobertura da bacia hidrográfica do córrego da Assistência no mapeamento feito pelo CPLA/IG/SMA, 2013	27
Gráfico 3: Correlação profundidade média vazão.....	56
Gráfico 4: Correlação entre vazões observadas e vazões calculadas	57
Gráfico 5: Correlação entre descarga sólida e vazão	58
Gráfico 6: Correlação entre descarga sólida e CSS.....	58
Gráfico 7: Hidrograma do córrego Assistência em 2014	59
Gráfico 8: Correlação entre turbidez e CSS	60
Gráfico 9: Salinidade no córrego Assistência	62
Gráfico 10: pH no córrego Assistência	63
Gráfico 11: Concentração de oxigênio dissolvido no córrego Assistência	64
Gráfico 12: Turbidez no córrego Assistência.....	65
Gráfico 13: Cor verdadeira no córrego Assistência	65

Sumário

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
1.1	Recursos Hídricos de Superfície na Região do PCSG	13
2.	OBJETIVO	15
2.1	Objetivos Específicos	15
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3.1	Contexto Geológico	19
3.2	Constituição Mineralógica das Unidades Geológicas	22
3.3	Contexto Pedológico	24
3.4	Uso e Cobertura da Área de Estudo	27
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	Revisão Bibliográfica	31
4.2	Monitoramento Hidrossedimentométrico e de Qualidade de Água	31
4.2.1	Seção de Monitoramento	32
4.2.2	Campanha de Campo e Rotina Laboratorial	33
4.2.3	Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão	36
4.2.4	Parâmetros de Interesse	37
4.2.4.1	Parâmetros de Qualidade de Água	37
4.2.4.2	Traçadores Mineralógicos	39
4.3	Amostragem do Solo para Análise Mineralógica	41
4.4	Análise em Difrator de Raios X (DRX)	43
4.5	Tratamento dos Dados	44
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	45
5.1	Dinâmica dos Sedimentos em Bacias Hidrográficas	45
5.2	A Mineração como Fonte de Sedimento	47
5.3	A Gestão de Sedimento em Escala de Bacia Hidrográfica	50
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1	A Composição Mineralógica dos Solos da Área de Estudo	53
6.2	Análise dos Dados de Hidrossedimentologia e de Qualidade de Água	56
6.2.1	Análise da Hidrometria e Descarga Sólida	56
6.2.2	Análise dos Parâmetros de Qualidade de Água	62
6.3	Mineralogia dos Sólidos Suspensos no Córrego Assistência	66
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
8.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	72

APÊNDICE	80
----------------	----

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (PCSG), especializado na produção de pisos e revestimentos, é formado por um expressivo complexo mínero-cerâmico que se estende pelos municípios de Araras, Cordeirópolis, Ipeúna, Iracemápolis, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes. Atualmente, contempla 88 áreas de mineração (lavras e beneficiamento) e 47 indústrias cerâmicas, que respondem por 62% da produção brasileira (OTGM, 2014).

A matéria-prima, proveniente das rochas da Formação Corumbataí, é extraída por minerações a céu aberto que se adensaram na região, às quais se têm associados os pátios de secagem que ocupam áreas maiores que as das minas, além de pilhas de material (estéril, solo e matéria prima) e intenso trânsito de veículos pesados. Os aspectos da poluição do setor de mineração, no Polo Cerâmico em foco, referem-se principalmente à emissão de particulados para a atmosfera e o carreamento de sedimento para os corpos hídricos do entorno (CHRISTOFOLETTI e MORENO, 2011). Este trabalho tem como foco o potencial desses empreendimentos em alterar as características naturais do ambiente fluvial, visto que as diretivas legais de controle da poluição hídrica são pouco efetivas no trato com as fontes difusas de poluição, categoria na qual as áreas de mineração se enquadram.

Segundo CARVALHO (et al., 2000), as minerações podem alterar o regime natural de descarga sólida dos corpos hídricos ao introduzir grande volume de sedimentos no meio natural. Com efeito, à jusante do empreendimento pode ocorrer o aumento da turbidez provocada por sedimentos finos em suspensão, assim como, a poluição causada por substâncias lixiviadas, carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração (MACHI & SANCHES, 2010). Além do mais, a fração fina dos sedimentos tem propensão à adsorção e serve como transporte para uma vasta gama de contaminantes que tem baixa solubilidade e alto potencial de sorção (WHITE & APITZ, 2008), quando em suspensão a velocidade de sedimentação dessas partículas é tão lenta que mesmo correntes com velocidades de 20 cm/s podem transportá-los facilmente por grandes distâncias (PRESS et al., 2006). O excesso de sólidos nos corpos hídricos de superfície pode promover efeitos adversos para a vida aquática e para o uso múltiplo dos recursos hídricos.

As áreas de lavra e beneficiamento argila são fontes potenciais de sedimentos, sobretudo quando em operação, quando a produção de poeira é intensificada pelos processos de manipulação e transporte de material. O particulado grosso, que compõe essa poeira, deposita-se próxima às fontes de emissão e de forma esparsa sobre a bacia hidrográfica. Já os

particulados leves (aerossóis) mantêm-se suspensos no ar por maior tempo e percorrem maiores distâncias, pois são facilmente conduzidos pelo vento podendo até mesmo extrapolar os limites da bacia hidrográfica. Da mesma maneira, os particulados podem chegar aos corpos hídricos do entorno, porém é mais significativo o aporte de sedimentos decorrente de eventos de precipitação e escoamento superficial. A precipitação remove os sedimentos depositados na vegetação e a maior parte deste é levada às drenagens pelo escoamento superficial, juntamente com o material proveniente das minas, pátios de secagem, pilhas de minério e de rejeito, além de solos erodidos e demais fontes de sedimento na bacia hidrográfica.

Para evitar que os sedimentos gerados nas áreas de intensa operação do empreendimento cheguem às coleções hídricas, são exigências do órgão ambiental, a utilização da própria cava e a construção de tanques de decantação para conter o escoamento superficial (CETESB, 1990). No entanto, a ausência de manutenção desses tanques que rapidamente são assoreados, permite que em eventos extremos de precipitação parte do escoamento atinja os corpos hídricos sem tratamento, carregando consigo grande quantidade de material.

Os sedimentos que têm origem nas áreas de mineração de argila diferem quanto à mineralogia dos demais materiais presentes nos solos da mesma unidade geológica das minas (Formação Corumbataí) e das unidades geológicas vizinhas. Trata-se de um material pouco alterado, composto principalmente por illita, que corresponde ao mineral primário predominante nas rochas da Formação Corumbataí. Esse mineral de argila não está presente nos solos ou presente em pequena quantidade, pois sob a ação do intemperismo essa fase mineral altera-se para montmorillonita, argilominerais interestratificados e caulinita (ZARNARDO et al., 2004). Devido à propriedade do sedimento em manter as características mineralógicas de seu local de origem, este trabalho tem como hipótese, que a presença de illita entre os sólidos suspensos transportados pelo corpo d'água do entorno das minerações, pode indicar a interferência dos empreendimentos minerários no ambiente fluvial.

Considerando os aspectos abordados, este trabalho teve como unidade de estudo a bacia hidrográfica do córrego Assistência, área de influência do PCSG, onde foram obtidos dados sobre a descarga sólida e a qualidade de água do córrego em questão, e também sobre a mineralogia os sedimentos transportados em suspensão no exutório da bacia. Dessa forma, foi possível aludir sobre a contribuição desses empreendimentos na alteração da qualidade dos corpos de água.

1.1 Recursos Hídricos de Superfície na Região do PCSG

A presença de importantes mananciais, na área de influência do PCSG, requer do setor de mineração cuidados específicos para manter a quantidade e qualidade das águas fluviais, pois obrigatoriamente, as condições de consumo desses mananciais deverão ser preservadas. O Gráfico 01 mostra o histórico da variação das máximas anuais dos parâmetros turbidez, cor verdadeira e vazão no ponto de captação de água para abastecimento público do município de Piracicaba situado no baixo curso do rio Corumbataí, à jusante do PCSG.

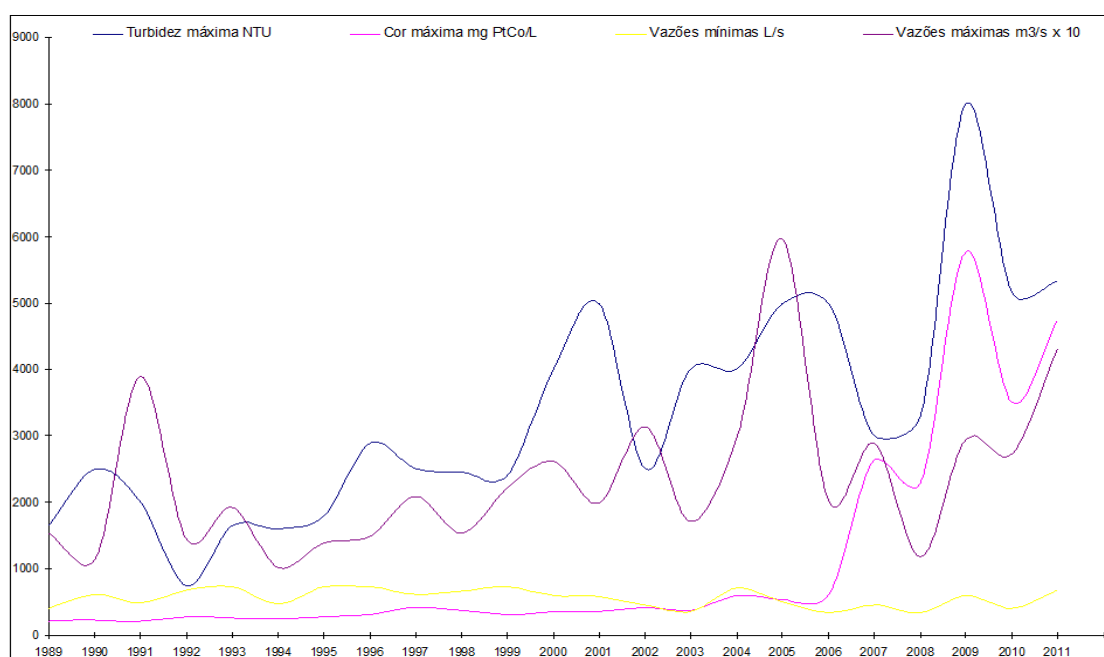


Gráfico 1: Histórico das máximas anuais de cor, turbidez e vazão na captação de Piracicaba no rio Corumbataí - **Fonte:** SEMAE, 2011

O gráfico mostra uma tendência de crescimento da turbidez no decorrer do tempo. O período analisado pelo gráfico, contempla o crescimento vertiginoso PCSG a partir da década de 1990 (IPT, 2012), e também o incremento da monocultura de cana de açúcar, a partir de 2002, quando o etanol consolida-se no programa energético nacional (PASCHOAL et al, 2012). Nota-se, que os maiores valores de turbidez começam a ser identificados justamente a partir de meados da década de 1990, até então os valores conservavam-se abaixo de 3000 NTU, na década seguinte valores de 4000 e 5000 NTU foram mais frequentes, atingindo em 2009 o pico de 8000 NTU. Quanto às máximas do parâmetro cor verdadeira, ocorre um fato curioso, no decorrer da série histórica os valores permanecem abaixo de 1000 mg PtCo/L até

2007, quando ocorre um salto e os valores começam a expressar máximas ainda não registradas.

O ribeirão Santa Gertrudes é outro manancial que tem problema de qualidade de água devido o aumento de sólidos em suspensão. Em 2005 o manancial teve a turbidez alterada após o início da operação de um conjunto de empreendimentos de mineração à montante da captação, causando a paralisação da estação de tratamento de água do município devido à impossibilidade de tratamento. (REIS, 2009; CHRISTOFOLETTI e MORENO, 2011). O estudo desenvolvido por PASCHOAL, et al (2012), utilizou imagens aéreas da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes, para comparar os cenários de uso da terra de 1962 e 2006, as principais transformações notadas na paisagem devido à atividade de mineração, referem-se à descaracterização de um amplo interflúvio, remodelado por meio de patamares para a lavra a céu aberto e o surgimento de várias áreas degradadas, inclusive de reservatórios artificiais.

Os argumentos apresentados tendem a atribuir ao crescimento da atividade de exploração e secagem de argila boa parte da responsabilidade sobre o aumento da turbidez e da descarga sólida dos mananciais, no entanto esta associação deve ser feita com cautela, ainda que seja um fato que mereça atenção. Pois a carência de informação sobre a dinâmica de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, impede que as responsabilidades das partes sejam apontadas. Entretanto, sabe-se que na região do PCSG, ocorrem muitas outras fontes de sedimento que contribuem significativamente para o aumento de turbidez dos mananciais mencionados, com destaque às áreas de agricultura e pastagem que somada à ausência de áreas vegetadas produzem quantidades significativas de sedimento através de processos de erosão do solo, seguido por drenagens de águas pluviais de áreas urbanas, rodovias e vias de acesso, além do lançamento de efluentes pontuais (industrial; doméstico e in natura).

Para que as medidas de controle ambiental sejam efetivas e garantam o aproveitamento múltiplo do recurso hídrico, é necessário entender a dinâmica dos processos ambientais que agem na bacia hidrográfica. E isso somente é possível, quando se dispõe de um conjunto de informações confiáveis, obtidas através de observações do que está ocorrendo no meio (BRAGA, et al, 2006).

2. OBJETIVO

Analisar a interferência das áreas de mineração de argila na qualidade da água do córrego Assistência durante um ano hidrológico, utilizando como instrumentos alguns parâmetros físico-químicos, a descarga sólida e a mineralogia do sedimento em suspensão coletado no exutório da bacia hidrografia.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a área de estudo quanto os aspectos fisiográficos, geológico, pedológico e de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego da Assistência;
- b) Fundamentar e verificar a hipótese;
- c) Estabelecer a descarga de sedimentos em um ano hidrológico.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada no interior do Estado de São Paulo, na região limítrofe entre os municípios de Itacemápolis, Rio Claro e Santa Gertrudes, a bacia hidrográfica do córrego Assistência possui cerca de 38 km² de área, trata-se de uma bacia hidrográfica rural de segunda ordem, localizada no médio curso do rio Corumbataí. Caracteriza-se pelo relevo típico da Depressão Periférica Paulista, com predomínio de colinas médias e interflúvios de topo aplainados, cortado por vales cujo desnível raramente chega a 200m, com predomínio de formas bastante dissecadas (CUNHA, 2007). De acordo com CUNHA (2007), o desnível altimétrico marcante da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, junto à complexidade estrutural sujeita a uma dinâmica quente e úmida, condiciona a predominância de processos denudativos.

As figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, o mapa de localização da área de estudo no Estado de São Paulo e o mapa topográfico com a localização do posto de coleta no exutório da bacia e os pontos de amostragens de solo.

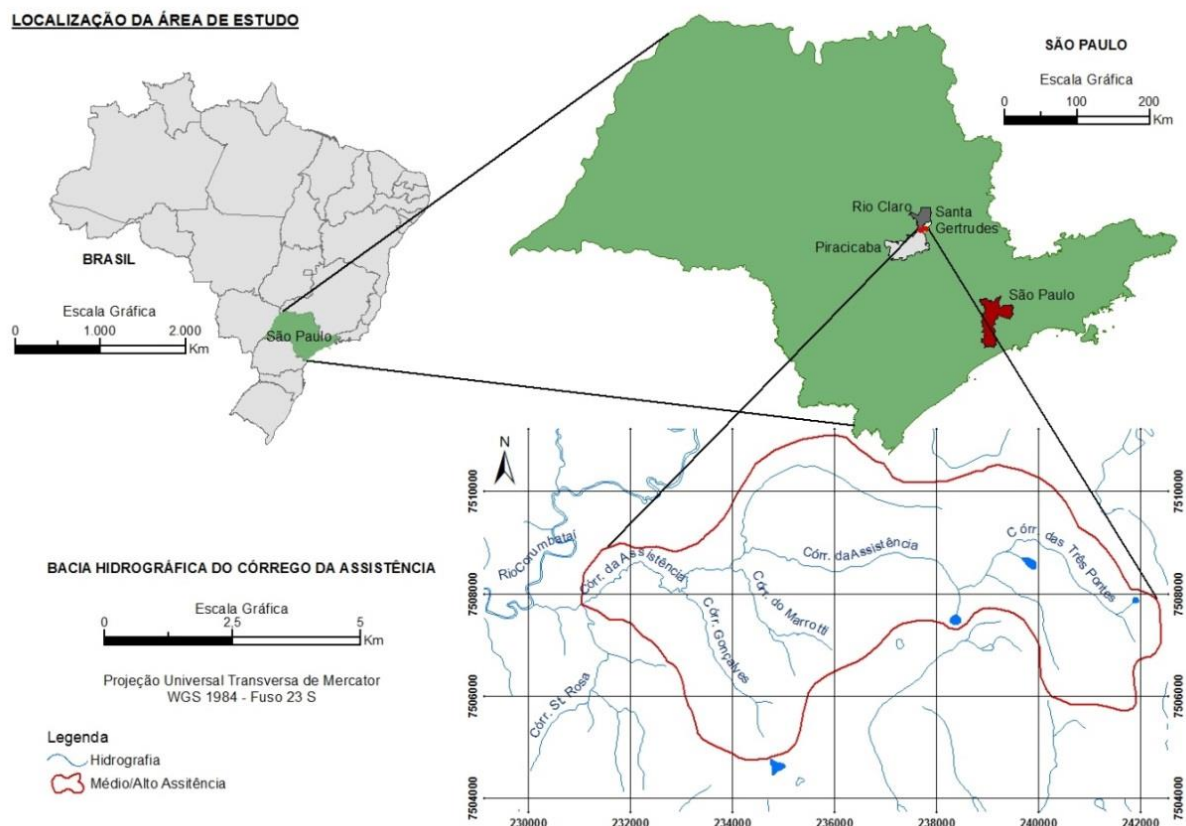
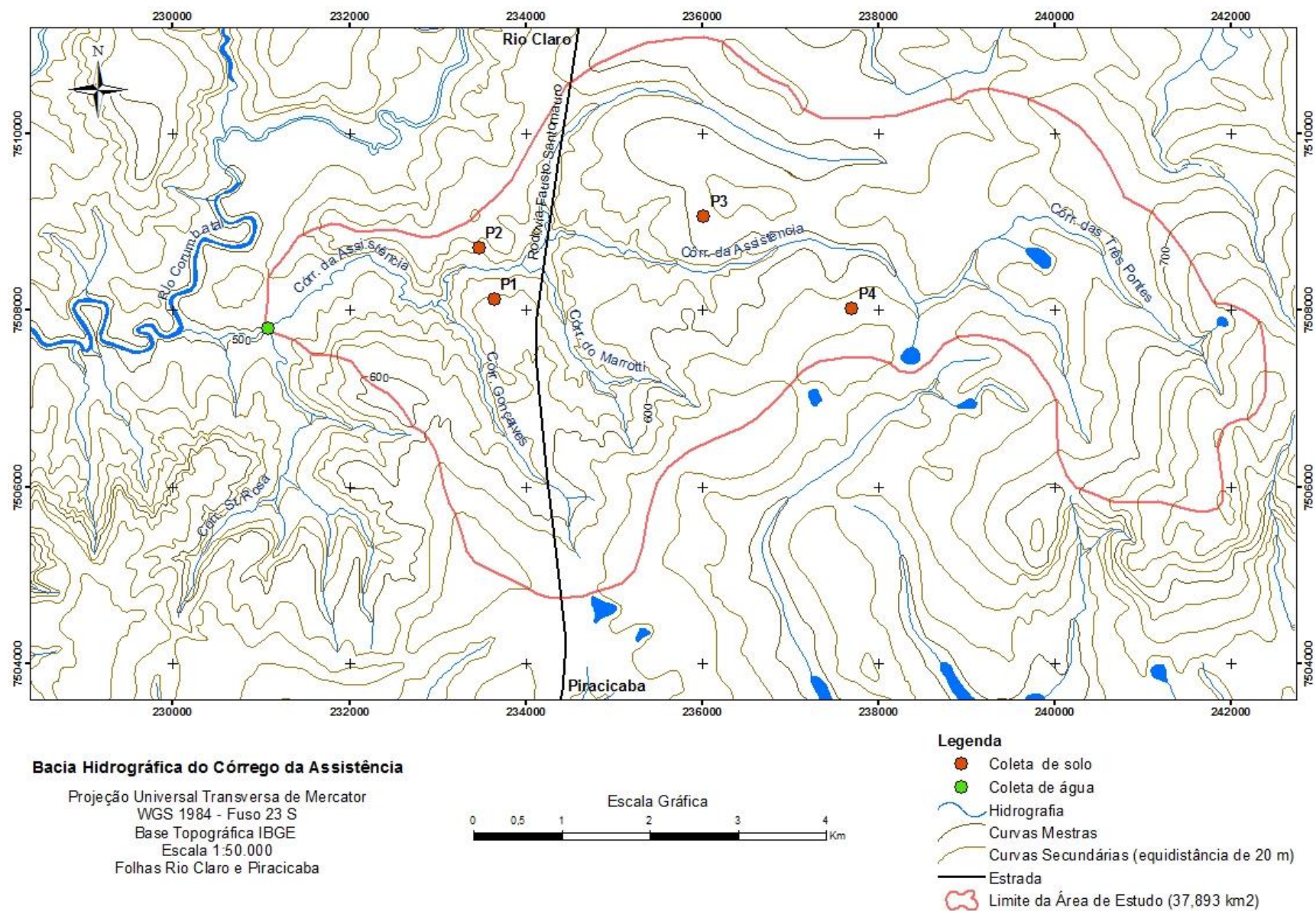


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo



O clima é classificado como tropical alternadamente seco e úmido, com temperatura média de 22°C (MONTEIRO, 1973). O regime de chuvas é distribuído no período seco de abril a setembro, com 15 a 20 dias de chuva, e no período chuvoso de outubro a março, com 55 a 60 dias de chuva. A média pluviométrica anual é cerca de 1400 mm/ano (TAUK-TORNISIELO et al. 2008).

A ação do clima concede uma alteração química moderada sobre as rochas da região, favorecendo a formação de argilominerais tipo caulinita através do processo de monossilificação (CONCEIÇÃO E BONOTTO, 2006). A figura 3 ilustra as modificações mineralógicas que podem ocorrer nas rochas da bacia hidrográfica do rio Corumbataí.

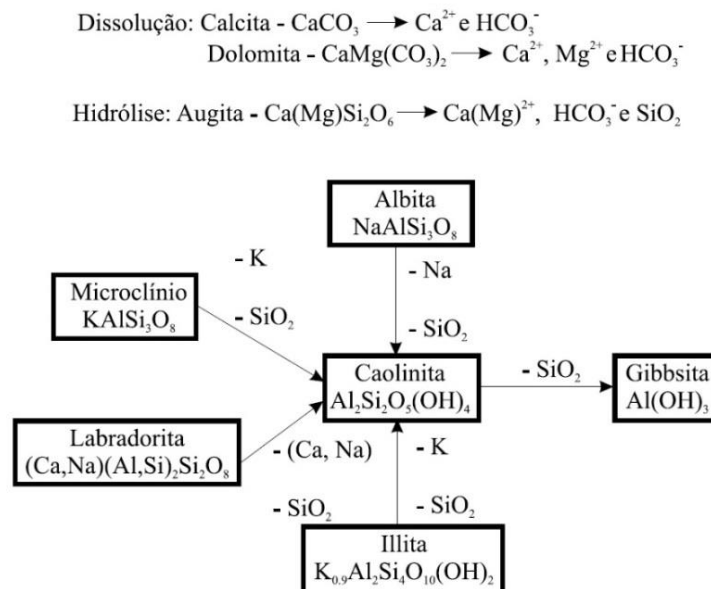


Figura 3: Alternativas para alteração mineral na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí -
Fonte: CONCEIÇÃO & BONOTTO (2006)

Nas regiões onde o intemperismo é mais intenso os solos tendem a ser mais evoluídos com predomínio de minerais secundários como a caulinita e gibbsita (MELLO, 2013). A composição química das águas superficiais também é fortemente influenciada pelo intemperismo químico dos solos e rochas. De acordo com SUGUIO (2006), os íons de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) e silício (Si^{2+}) são, em grande parte, oriundos desse processo.

As características do solo, por sua vez, condicionam o tipo de vegetação nativa. Segundo OLIVEIRA E PRADO (1984), as áreas constituídas basicamente por cerrados possuem

geralmente solos profundos, muito permeáveis e pobres, enquanto a floresta tropical desenvolve-se sobre solos profundos, argilosos e menos pobres em nutrientes.

Atualmente, a vegetação na área de estudo está praticamente toda descaracterizada pela atividade antrópica, a ausência de vegetação promove o aumento da produção de sedimento pela ação do escoamento superficial que se torna mais intensa. Em solos não perturbados, onde a vegetação está presente, os processos de infiltração e escoamento superficial estão em equilíbrio de forma que o escoamento não gera erosão, preservando a qualidade da água (SARI, et al. 2013).

3.1 Contexto Geológico

Na área de estudo afloram rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná. Ao leste da área de estudo, encontra-se o Grupo Itararé e as formações Tatuí e Irati nos vales e áreas de topografia mais baixa. A Formação Corumbataí, unidade de maior abrangência, estende-se pelo centro da bacia hidrográfica. E no extremo oeste, encontram-se corpos intrusivos de magma básicos toleítico (diabásio) alojados em forma de soleira e diques associados. A figura 4 apresenta o mapa geológico da área de estudo.

As rochas mais antigas correspondem ao Grupo Itararé, composta por sedimentos essencialmente arenosos de granulação variada, constituída por arenitos, siltitos, diamictitos, ritmitos e conglomerados. Com sedimentação neocarbonífera a eopermiana depositada em ambientes continentais, marinhos e costeiros, com influência de episódios glaciais (IPT, 2012). Esta unidade tem como argilominerais primários a illita, esmectita e caulinita, que no processo de alteração mineral transformam-se em gibbsita e mais caulinita. Porém a porção aflorante desta unidade está pouco alterada/lixiviada, coberta ou não por solos pouco evoluídos e por sua posição geográfica/topográfica, praticamente, não contribui com sedimentos no posto hidrossedimentométrico. O aquífero presente nesta unidade geológica, geralmente tem baixa produtividade e apresenta águas bicarbonatadas sódicas (OLIVA & KIANG, 2002).

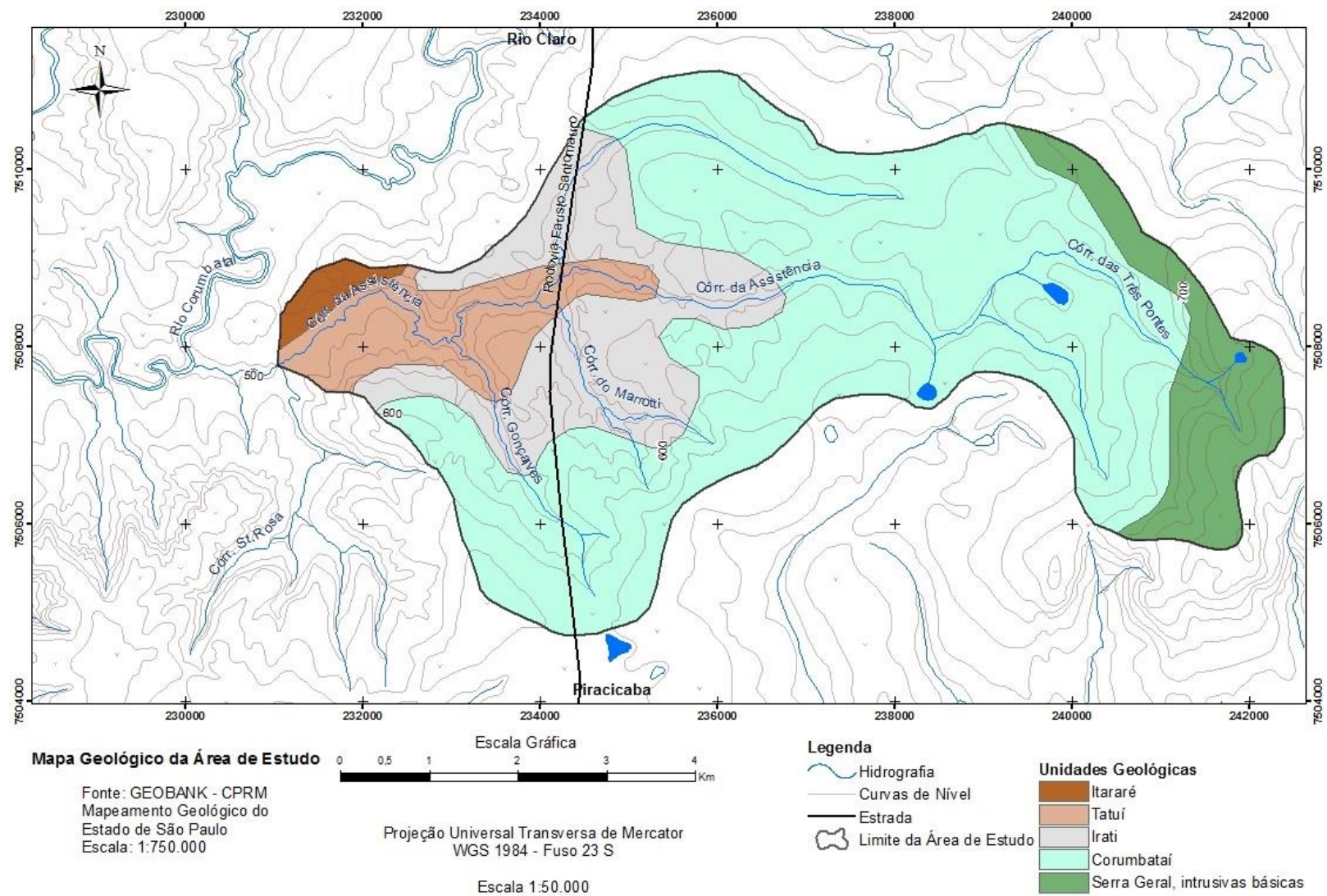


Figura 4: Mapa geológico da bacia hidrográfica do córrego Assistência

A Formação Tatuí cobre o Grupo Itararé e pode variar de 20 a 50m de espessura na região do polo cerâmico. O contato entre elas corresponde a uma discordância generalizada, marcada pela presença de superfície de erosão e por conglomerado basal (GIMENEZ, 1996). Composta por sedimentos de granulação fina, siltitos, lamitos, arenitos finos e camadas de sílex. De idade meso a neopermiana, corresponde a uma sedimentação marinha em ambientes costeiros e plataformais. (IPT, 2012). Como argilominerais primários, esta unidade possui illita (fração dominante) e caulinita, a alteração gera minerais do grupo das esmectita e mais caulinita. Pela posição geográfica e topográfica desta unidade, sua ocorrência interfere muito pouco na composição dos sedimentos presente na drenagem no ponto de coleta.

A Formação Irati é subdividida em dois membros, a porção basal denominada Membro Taquaral, é composta por folhelhos, argilitos e siltitos cinza escuro, não betuminoso, maciço ou com laminações plano-paralelas formando camadas tabulares. A sequência superior, chamada de Membro Assistência, predomina uma peculiar intercalação de folhelhos, folhelhos betuminosos e calcários. Quanto ao ambiente deposicional, os sedimentos indicam uma deposição em ambiente marinho raso, com mudança climática da passagem do Membro inferior para o superior (IPT, 2012). Durante a deposição do Membro Assistência, a incidência de clima mais árido tornou os solos das áreas-fonte menos drenados, favorecendo a formação de esmectita (YAMAMOTO, et al. 2004). Esta unidade estratigráfica, em função da posição geográfica/topográfica, é potencial fornecedora de detritos para as drenagens, tanto por erosão da unidade como das pilhas de rejeitos das atividades de mineração de calcário dolomítico para corretivo de solos, que ocorreram e ainda ocorrem na área da bacia. A potencialidade é ainda maior como fonte de soluto considerando a composição mineralógica desta unidade e o seu posicionamento no perfil do córrego da Assistência.

A Formação Corumbataí, sobrejacente a Formação Irati, corresponde à sequência de sedimentos finos, de idade neopermiana a eotriássica constituída basicamente por siltitos maciços e laminados e intercalações de silito com argilitos, folhelhos e arenitos finos de cores variadas. Na região do polo cerâmico esta unidade pode alcançar cerca de 100 metros de espessura (IPT, 2012). A deposição ocorreu em ambiente marinho de águas rasas, em condições climáticas áridas, com a aridez aumentando para o topo da coluna estratigráfica, e com evidências de exposição subaérea em decorrência dos movimentos de marés, a topografia ondulada, possibilitou a formação de lagoas e ilhas, e possivelmente a deposição de sais (ZANARDO et al., 2004). As rochas dessa unidade, em especial alguns estratos da porção intermediária e principalmente do topo, possuem cimento carbonático, chegando mesmo aparecer delgados leitos de calcário na porção superior da coluna estratigráfica. Em

consequência deste aspecto as águas da Formação Corumbataí/Tatuí são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, são ricas em Ca^{++} e HCO_3^- indicando que a composição das águas é controlada por minerais carbonáticos (OLIVA & KIANG, 2002).

As rochas intrusivas básicas são compostas por diabásio, com variações gabróides, que se alojam em forma de diques e soleiras, estas rochas tem grande importância na caracterização do relevo, sustentando as feições mais elevadas (ZAINÉ, 2000). O aumento de temperatura causado pela colocação das rochas intrusivas básicas causou um metamorfismo de contato na Formação Corumbataí, a impermeabilidade dessa unidade dificultou a dissipação do calor, causando importantes alterações mineralógicas que caracterizam as propriedades cerâmicas da Formação Corumbataí (ROVERI, 2010 apud. IPT, 2012). O solo desenvolvido sobre as rochas basálticas são formadas basicamente por caulinita, hidróxidos e óxidos de ferro, gibbsita, sendo que nas porções menos alteradas ou menos lixiviadas podem aparecer minerais do grupo da esmectita (saponita, nontronita, montmorillonita).

3.2 Constituição Mineralógica das Unidades Geológicas

Na bacia do córrego Assistência a unidade que possui a constituição mineralógica melhor caracterizada é a Formação Corumbataí, essa unidade geológica consiste em uma extensa jazida de minério argiloso que possibilitou a consolidação do maior polo cerâmico das Américas e um dos maiores do mundo. Isto motivou os pesquisadores a estudarem em detalhe a matéria-prima proveniente desta unidade geológica com o intuito de elucidar a razão do sucesso na produção de revestimentos cerâmicos, por via seca, e fornecer elementos técnicos científicos para o aproveitamento racional, melhoria de qualidade do produto e sustentabilidade do processo.

Com base nos trabalhos do Grupo de Pesquisa Qualidade em Cerâmica do IGCE/UNESP (MASSON, 1998; CHRISTOFOLLETI, 2003; ZANARDO, 2003; ZANARDO et al. 2004 e 2009; BERNARDES, 2005; COSTA, 2006, COSTA et al. 2007; ROCHA 2007 e 2012; ROCHA et al. 2008; ROVERI et al. 2007; ROVERI, 2010 entre outros) as rochas da Formação Corumbataí sem alteração são compostas principalmente por argilominerías (illita clorita e interestratificado clorita-esmectita), quartzo detrítico e autógeno, feldspatos detríticos e autógenos, carbonatos, hematita, biotita, muscovita, restos fósseis fosfáticos, silicosos e carbonático e minerais pesados opacos e transparente. Localmente em função da diagênese e/ou metamorfismo de contato forma-se a magnetita e analcima. Com a alteração parcial,

aparecem minerais do grupo da esmectita e argilominerais interestratificados e na alteração mais avançada caulinita. A illita é o mineral de argila predominante, sua dimensão varia entre fração argila muito fina a silte fino e é encontrada em toda a extensão da unidade geológica com exceção dos solos evoluídos e porções mais alteradas da rocha, pois na dependência do ambiente essa fase mineral altera-se para montmorillonita, interestratificados ou caulinita (ZANARDO et al., 2004). Os processos intempéricos que agem no topo desta unidade em horizontes superficiais aflorantes ou subjacente às areias permeáveis promovem a dissolução de carbonatos, a argilização dos feldspatos e transformação dos argilominerais. Esta camada pode variar entre 1 a 10 metros de espessura no PCSG (IPT, 2012).

As rochas sedimentares mineradas na bacia do córrego Assistência também são divididas em três grandes conjuntos denominados de acordo com facilidade de extração (friabilidade) ou grau de alteração em nível mole, intermediário e duro. O nível que aparece abaixo do solo pode conter na fração argila caulinita juntamente com illita (argilomineral dominante) e montmorillonita. O nível intermediário já não tem caulinita, mas pode ter quantidades subordinadas de montmorillonita e clorita. O nível duro raramente possui montmorillonita, no geral é composto basicamente por illita, clorita e micas. O solo desenvolvido sobre a Formação Corumbataí é composto basicamente por caulinita, quartzo e óxidos e hidróxidos de ferro, podendo ter nos casos de menor evolução pequena quantidade de montmorillonita e illita.

Informações sobre a mineralogia das demais formações geológicas presentes na área de estudo são mais raras. DOS ANJOS, et al (2006), analisou a mineralogia dos folhelhos negros da Formação Irati em três localidades em Alto Garças, MT, Montividiu, GO e São Mateus do Sul, PR, os resultados sugerem que na porção norte da bacia sedimentar do Paraná predomina argilominerais magnesianos (esmectita trioctaédrica magnesiana, que pode acompanhar quartzo e traços de illita, dolomita e pirita), enquanto ao sul predomina argilominerais aluminosos (montmorillonita, além de illita, caulinita e quartzo, sendo a pirita um mineral acessório). YAMAMOTO, et al, 2004, ao descrever a composição mineralógica dos pelitos do Membro Assistência (Formação Irati), baseia-se em estudos de RAMOS & FORMOSO (1975) e IPT (1982) para afirmar a presença preponderante de clorita, esmectitas e illita. A caulinita é inexistente ou muito rara aparece apenas no solo junto com óxidos e hidróxidos de ferro.

Os diabásios aflorantes na região são constituídos por labradorita, augita, pigeonita, magnetita, nontronita e secundariamente, calcita, quartzo, sanidina/ortoclásio, calcedônia,

zeólita e apofilita. Na alteração do diabásio aparece gibbsita, caulinita, goethita e hematita (CARVALHO et al. 1988; MONTEIRO & GOMES 1988).

CONCEIÇÃO E BONOTTO (2006) analisaram por difração de raios X a composição mineralógica das litologias aflorantes na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, no estado de São Paulo. Além do quartzo, que aparecem em todas as amostras, o Grupo Itararé (diamictitos e arenitos) apresenta albita, microclínio, caulinita, illita e calcita, a Formação Tatuí (siltitos), apresenta caulinita, dolomita e illita. As rochas calcárias do Membro Assistência (Formação Irati) são compostas por dolomita e calcita, as rochas siltíticas do membro Taquaral (Formação Irati), apresentam illita e caulinita.

3.3 Contexto Pedológico

Os solos são formados pela interação entre os fatores clima, litologia, relevo e organismos sob um longo período de tempo, a variância destas condições geram processos pedogenéticos que darão origem a diferentes solos (MELLO, 2013). Na área de estudo, a distribuição do solo obedece à primeira ordem do Novo Sistema de Classificação de Solos Brasileiros, onde predomina a ocorrência de argissolos, seguido por latossolos e neossolos, conforme o mapa na Figura 5.

O argilossolo tem origem no processo pedogenético denominado lessivagem que transporta minerais de argila do horizonte superficial para o subsuperficial, causando uma diferença entre os horizontes, de forma que o superior torna-se mais arenoso e o subsuperficial mais argilosos. Trata-se de um solo de evolução avançada, virtualmente caulínítica, ou com hidróxido de alumínio entre camadas (EMBRAPA, 2006). Dentre as características deste solo destaca-se a baixa capacidade de infiltração de água, devido o acúmulo de argila no horizonte B apresentam alta produtividade de sedimentos quando comparado com o latossolo (MELLO, 2013).

O latossolo é formado pelo processo de ferralitização, trata-se de um solo de evolução muito avançada, altamente lixiviados, ácidos e pobres em nutrientes, são bem estruturados fisicamente e resistentes à erosão. O ambiente oxidante destes solos favorece a formação de óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibbsita), o silício remanescente pode combinar-se com alumínio formando a caulinita (MELLO, 2013).

O neossolo ocupa uma pequena área na bacia hidrográfica e está associado à presença de argilossolo. Trata-se de solos pouco evoluídos em via de formação, que tem como

característica a ausência de horizonte B diagnóstico, com predomínio de características do material de origem (MELLO, 2013).

De acordo com SARI, et al (2013), os solos derivados de formações calcárias e dolomíticas, como as que ocorre sobre a Formação Irati na área de estudo, são relativamente resistente à erosão, quando comparados àqueles oriundos de rochas ígneas e sedimentares que geralmente são menos resistência.

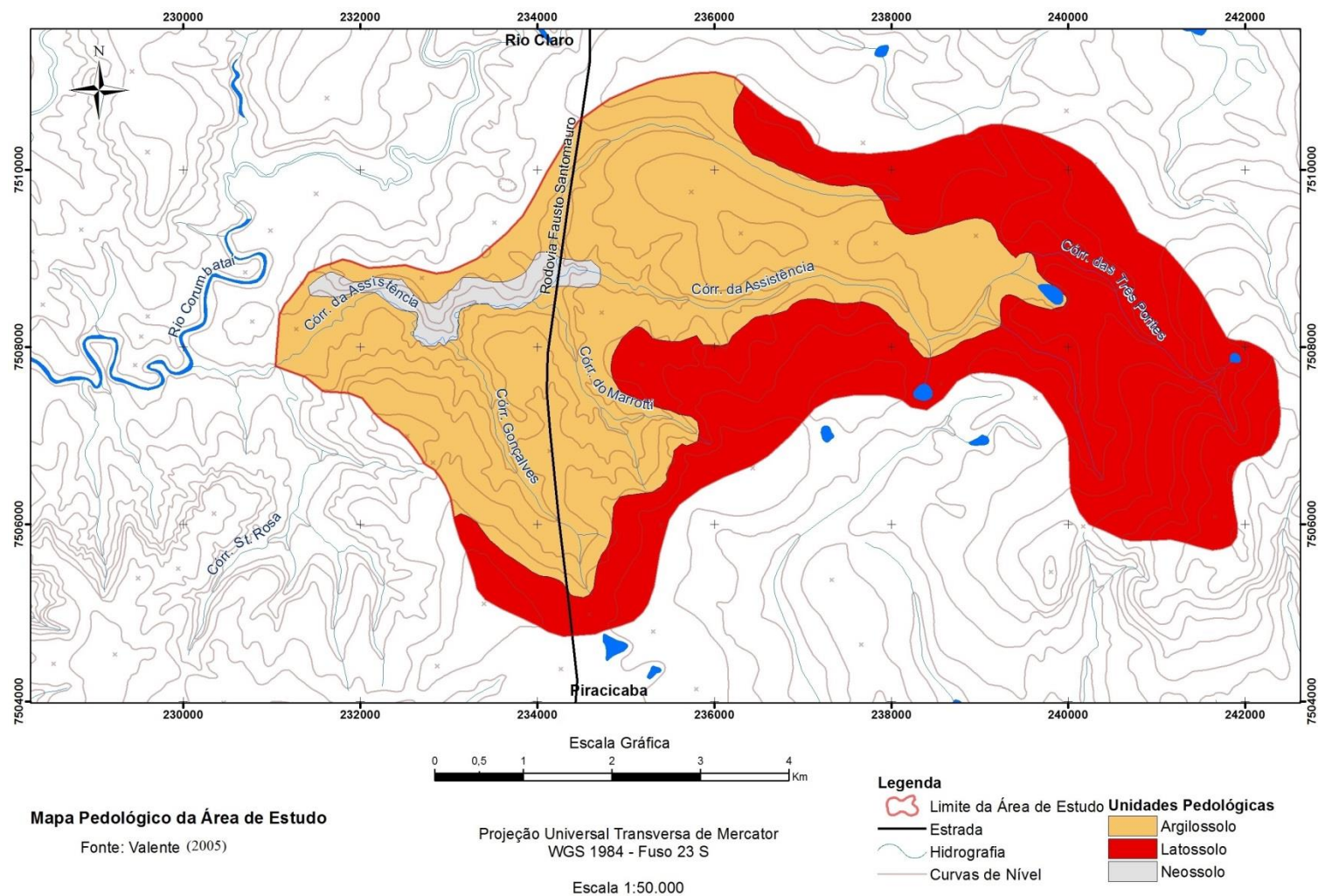


Figura 5: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do córrego Assistência

3.4 Uso e Cobertura da Área de Estudo

Na análise de uso e cobertura do solo, utilizou-se o mapeamento da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos - (UGRHI) 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) que se baseou na interpretação visual de recortes da imagem SPOT, ortorretificados, mosaicados e separados de acordo com o limite das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 1:25.000, com 2,5m de resolução espacial com bandas fusionadas, bem como as cenas no modo multiespectral com resolução espacial de 10m. As datas destas cenas variam entre os anos de 2007 e 2009 (CPLA/IG/SMA, 2013). A figura 6 apresenta o mapa com os usos e cobertura da terra na área de estudo.

A partir desse levantamento, foi observado que a área de estudo é predominantemente rural e de intensa atividade econômica, com destaque à agricultura, pecuária e atividades de mineração, que ocupam respectivamente 66%, 6,5% e 5,25% da área total. A área destinada à agricultura foi definida através da soma das porcentagens ocupadas pelas categorias, cultura perene e semiperene e solo exposto, conforme mostra o Gráfico 2.

A área verde corresponde a 20,5 % da área total, constituída principalmente pequenos remanescentes de mata, campo natural e reflorestamento de Áreas de Preservação Permanentes (APP).

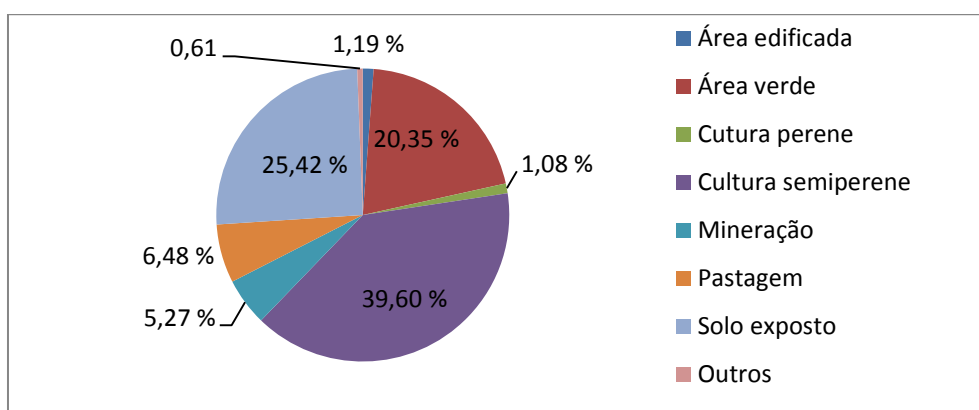


Gráfico 2: Porcentagem de uso e cobertura da bacia hidrográfica do córrego da Assistência no mapeamento feito pelo CPLA/IG/SMA, 2013

Embora recente, o mapeamento de uso e cobertura do solo (figura 06) está defasado quanto ao adensamento de áreas de mineração na bacia. Ao comparar os polígonos de mineração do mapeamento com as imagens atualizadas do Google Earth (figura 07), nota-se que as áreas de mineração tiveram um crescimento significativo, e atualmente podem ocupar certamente mais de 10 % da área da bacia.

A figura 07 apresenta o cenário das principais manchas de atividades minerárias na bacia hidrográfica do córrego Assistência em 2014, os polígonos vermelhos retratam o cenário da mineração no final da década de 2010 (definido pelo mapeamento da UGRHI - 5), enquanto os polígonos em verde destacam a área de expansão da atividade.

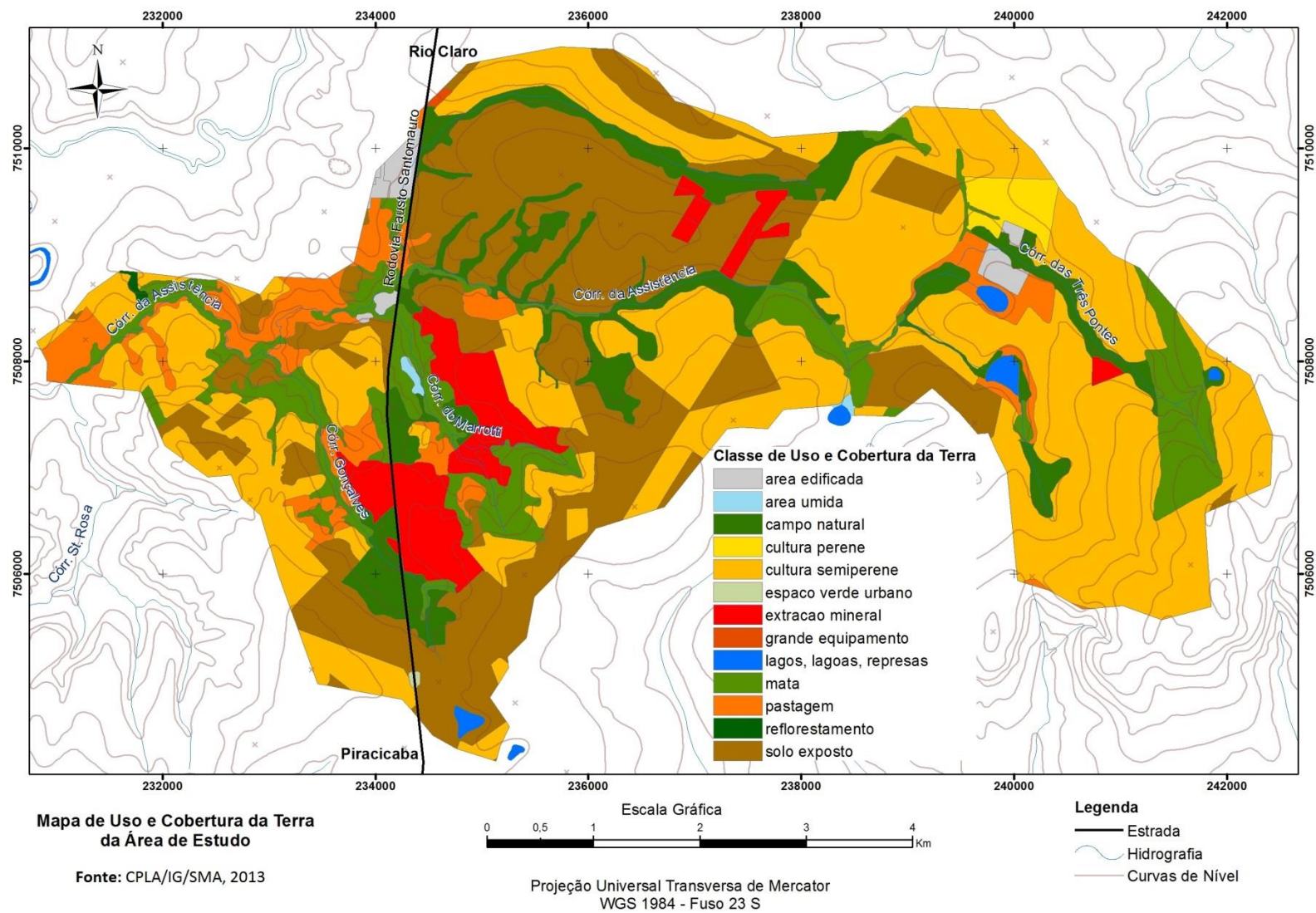


Figura 6: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do córrego Assistência



Área considerada no estudo de uso e cobertura da terra, 2013



Área de expansão da atividade minerária

Figura 7: Cenário atual das atividades minerárias na bacia

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizando a bacia hidrográfica como escala de referência, o estudo empregou conceitos da hidrossedimentologia fluvial para gerar dados sobre a descarga sólida no córrego Assistência. Os aspectos mineralógicos dos sedimentos fluviais foram utilizados para eleger traçadores capazes de discernir as principais fontes de sedimento na bacia hidrográfica.

4.1 Revisão Bibliográfica

Etapa referente à busca de material bibliográfico para fundamentar as informações e dados mencionados no texto, esta etapa acompanhou todo desenvolvimento do projeto. A pesquisa teve como foco três universos, o primeiro, contempla a dinâmica do sedimento na bacia hidrográfica, o segundo, os empreendimentos de mineração como fonte de sedimentos e por último a mineralogia das formações geológicas e respectivos solos da área de estudo visando fundamentar os argilominerais como traçador mineralógico.

Foram consultados livros, artigos, relatórios, periódicos, documentos, legislações e profissionais de ampla experiência no setor. As palavras chave utilizadas foram: *poluição difusa; poluição por mineração; transporte de sedimento; descarga sólida; bacia hidrográfica; mineralogia do solo; Santa Gertrudes; Hidroquímica de Rio Claro; polo cerâmico; poluição e sedimento; traçador mineralógico; fingerprinting approach, gestão de sedimentos; sednet.*

4.2 Monitoramento Hidrossedimentométrico e de Qualidade de Água

O monitoramento foi feito durante o ano hidrológico de 2014, período que ficou marcado pela severa seca que atingiu o estado de São Paulo. Na ocasião, os corpos de água de superfície registraram vazões mínimas que afetaram a quantidade e qualidade dos mananciais, gerando impactos nos usos múltiplos do recurso hídricos em muitas regiões do estado.

O monitoramento hidrossedimentométrico foi realizado no exutório da bacia hidrográfica do córrego Assistência. Neste ponto, estão representados todos os processos que agem na bacia hidrográfica, pois convergem para exutório todas as águas que entram no sistema. (PORTO & PORTO, 2008).

4.2.1 Seção de Monitoramento

A escolha do ponto de monitoramento foi feita observando as condições de acesso e as características necessárias para obter uma boa leitura de vazão (Q) e concentração de sólidos suspensos (CSS), de acordo com as premissas observadas por POLETO (2014) o trecho escolhido deve contemplar alguns requisitos básicos, como:

- a) O trecho do rio deve ser o mais retilíneo possível, cujas margens suficientemente altas para acomodar o escoamento, que seja estáveis e tenha uma seção o mais uniforme possível;*
- b) Haver uma seção controle de jusante, com quedas, cachoeira e corredeiras, para criar uma mudança no regime do escoamento e possibilitar uma relação estável de cota x Q;*
- c) Fácil acesso a estação, especialmente durante os períodos de chuva;*
- d) Evitar locais com efeito de remanso, por estar próxima de represas, lagos ou da foz de rios e oceanos;*
- e) Evitar seções logo à jusante da confluência de rios.*

De acordo com esse autor, como nem sempre é possível atender todos os requisitos, deve-se ao menos buscar a situação mais próxima do ideal. A seção escolhida no córrego Assistência contempla uma ponte, que mantém a largura fixa do canal fluvial com 4 metros, o leito da seção é irregular, contendo entulho da construção civil e outros materiais. Situa-se na coordenada 22°30'54,56" Sul e 47°36'50,91" Oeste a 499 metros de altitude.

As campanhas de campo foram feitas semanalmente e eventualmente na ocorrência de chuva. As tarefas concentravam-se nas leituras da velocidade de escoamento e profundidade média na seção de monitoramento do córrego, na leitura "in situ" de uma série de parâmetros físico-químicos e da coleta de amostras de água e de sedimento suspensos para análise em laboratório. Na ocorrência de chuva, as campanhas de campo foram feitas em resposta aos eventos, buscando obter dados da hidrossedimentologia na ocorrência de ondas de cheias, no entanto não foi possível diferenciar os períodos de subida e recessão da onda, devido à impossibilidade de acompanhar plenamente os eventos.

Informações sobre a intensidade (mm/h) e a ocorrência de chuvas significativas na área de estudo são obtidas através de imagens de precipitação composta pelos radares de Bauru e Presidente Prudente, fornecidos a cada quinze minutos pelo IPMET/UNESP.

A Figura 8 mostra a localização do posto, com destaque para a direção da vazão e a seção de monitoramento

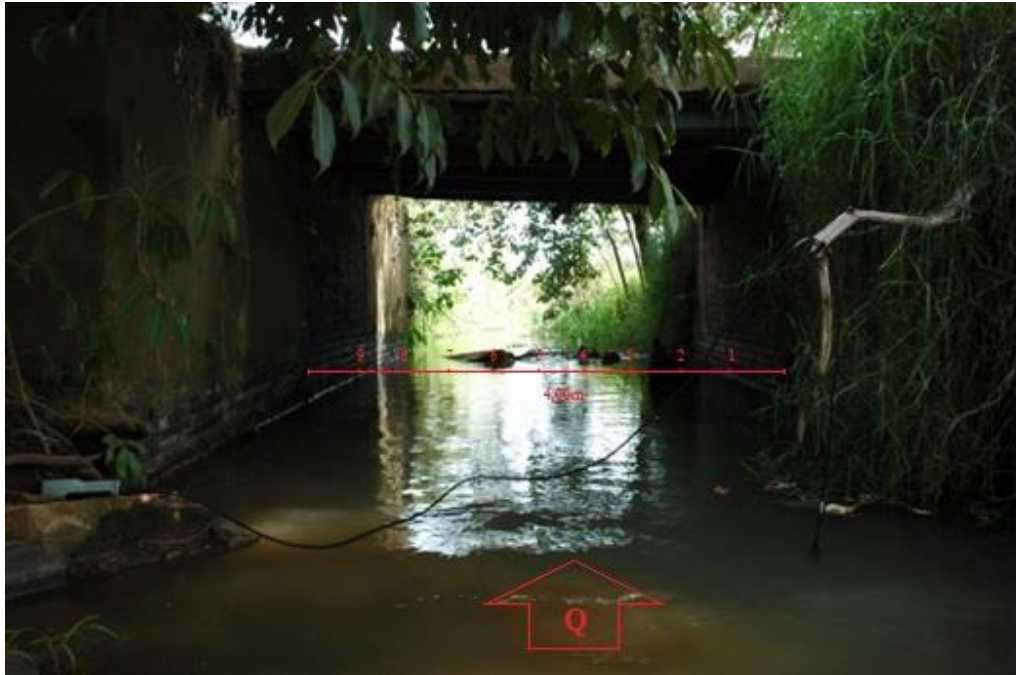


Figura 8: Posto de coleta de dados

4.2.2 Campanha de Campo e Rotina Laboratorial

As técnicas de medição de vazão e coleta de sedimentos suspensos foram eleitas de acordo com as condições, materiais e infraestrutura disponível. Os dados de hidrometria (velocidade de escoamento e profundidade média do corpo d'água na seção de monitoramento) foram obtidos a vau em nove verticais da seção com auxílio do molinete hidrométrico, aparelho constituído por uma hélice e um contador de giros fixado em uma haste. Com posse dos dados de hidrometria, obtém-se a área úmida da seção, através da equação 1, e a vazão média no instante da leitura é obtida através da equação 2.

$$A = H \cdot L \quad (1)$$

Onde:

A= área da seção de controle (m²)

H= profundidade média (m)

L= largura fixa de 4m

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

Onde:

Q= vazão ou descarga líquida (m^3/s)

A= área da seção de controle (m^2)

V= velocidade de escoamento do corpo de água (m/s)

Com auxílio da sonda multiparametro YSI, é feita a leitura “in situ” da temperatura da água (C°), pH, condutividade elétrica ($\mu s/cm$), oxigênio dissolvido (mg/l) e concentração de sólidos dissolvidos (g/l). Na ocasião, também é coletada uma amostra de 500 ml para análises em laboratório e uma amostra de grande volume (20 litros) para obter a fração referente aos sólidos suspensos transportados pelo córrego. Ambas as amostras foram coletadas a vau, no centro do córrego à montante da seção de monitoramento. Para obter a amostra de pequeno volume, mergulhou-se o frasco (500 ml) aproximadamente a 20 cm de profundidade. A amostra de grande volume (20 litros) foi obtida com auxílio de um balde, sua coleta foi feita com cautela para evitar a captura de material ressuspensionado do leito.

No laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) com auxílio dos equipamentos Hach DR 2800 e Hach turbidimeter 2100 P foram feitas as leituras de cor verdadeira (units PtCo), sólidos suspensos totais (mg/L) e turbidez (NTU) respectivamente. Neste mesmo laboratório foi feito o pré-tratamento das amostras de grande volume visando obter as frações sólidas sem alterá-las.

O pré-tratamento das amostras de grande volume foi modificado no decorrer do projeto. Nos primeiros quatro meses de trabalho, a amostra foi submetida ao processo de evaporação sem antes retirar a fração correspondente aos sedimentos, obtendo assim uma mistura de solutos e sedimentos. Na análise mineralógica dessas amostras, os solutos foram interpretados como interferentes, pois se sobressaíam aos minerais não solúveis mascarando a presença das argilas. Visando obter uma boa leitura mineralógica dos sedimentos e eliminar os interferentes, a amostra de grande volume passou a ser submetida a sucessivos processos de decantação e sifonação para obter os sedimentos em lâmina d’água.

Os sedimentos obtidos foram peneirados, por via úmida, em malha de 53 μm e as frações que resultam desse processo, acondicionados em estufa a 60 °C. A fração > 53 μm é retirada depois de seca e acondicionada em sacos plásticos, já a fração < 53 μm , é retirada da estufa

após o processo de decantação, o material em lamina d'água retorna ao frasco plástico e então é encaminhado para a leitura mineralógica em difratômetro de raios X.

A Figura 9 apresenta as etapas do tratamento da amostra de grande volume.

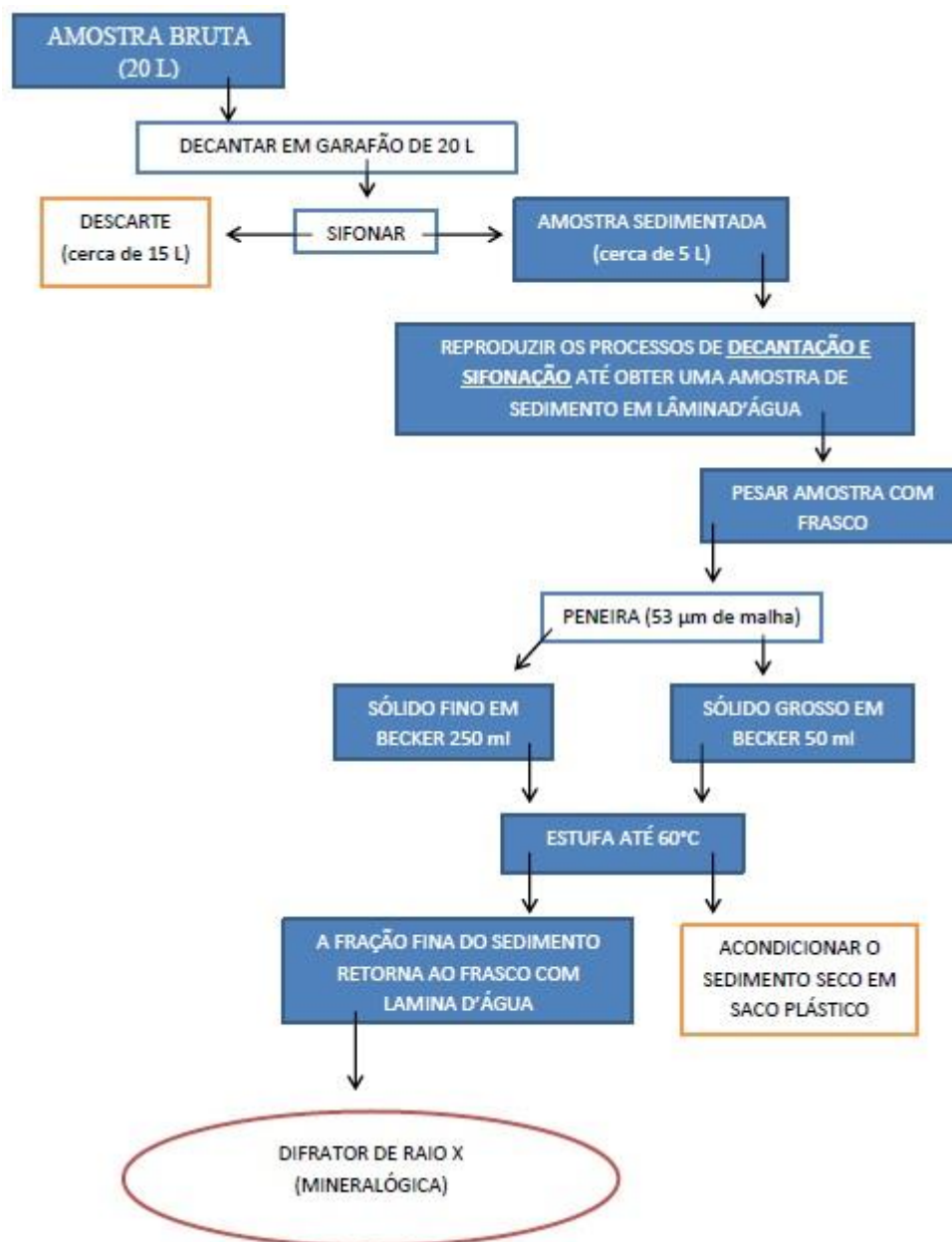


Figura 9: Fluxograma do pré-tratamento da amostra de grande volume

4.2.3 Cálculo da Descarga Sólida em Suspensão

A escolha do melhor método de cálculo de descarga sólida se dá conforme o objetivo do estudo, o porte do corpo de água, concentrações de sedimentos, recursos e estruturas disponíveis entre outros fatores (SILVA, et al. 2003). No córrego Assistência, a descarga de sólidos em suspensão foi obtida através da equação 3. A carga sólida de arrasto foi desprezada, pois trata-se de uma bacia hidrográfica cuja litologia é composta principalmente por argilitos e siltitos, o que caracteriza a predominância de fluxo de sedimentos finos (<65 μm).

$$Q_{SS} = 0,0864 \cdot Q \cdot CSS \quad (3)$$

Onde:

Q_{SS} = descarga sólida medida (t/dia)

CSS = concentração medida de sólidos totais em suspensão (mg/L)

Q = vazão ou descarga líquida (m^3/s)

Cerca de 90% de todo o sedimento é transportado em período de chuva, o que torna os eventos de cheia muito importantes nos estudo sobre da descarga sólida. Geralmente, a quantidade de sedimento transportado pelo curso d'água acompanha os picos de vazão, o mais comum é o pico de sedimento se antecipar ao pico de vazão, caracterizando o fenômeno chamado de “carga de lavagem”, no entanto os picos podem ser simultâneos ou mesmo o pico de sedimento se atrasar ao pico de vazão (CARVALHO, 1994).

Também foi calculada a descarga sólida em $\text{t}/\text{km}^2.\text{ano}$, esta análise é feita para estimar a produção específica de sedimento na bacia hidrográfica. Calculada pela razão da descarga sólida anual (t/ano) e a área de drenagem da bacia (km^2). A partir dessa informação é possível comparar a produção de sedimentos uma bacia hidrográfica com outras. A descarga sólida específica está associada ao uso e ocupação da bacia hidrográfica e às práticas de manejo do solo.

4.2.4 Parâmetros de Interesse

Este tópico apresenta a descrição dos parâmetros e de qualidade de água e dos minerais utilizados como traçadores em potenciais.

4.2.4.1 Parâmetros de Qualidade de Água

Uma série de parâmetros de qualidade de água foi selecionada para o monitoramento do córrego Assistência, além dos parâmetros tradicionais como a condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH e temperatura, foram selecionados aqueles capazes de mensurar a presença de sólidos na água como o parâmetro cor verdadeira, concentração de sólidos suspensos (CSS), concentração de sólidos dissolvidos (CSD) e turbidez.

- **Concentração de Sólidos Dissolvidos (CSD)**

Os sólidos dissolvidos, expressam a concentração de sais diluídos na água que permanecem em solução, mesmo após o processo de filtração com malha de 1µm. Parte dos sais dissolvidos em água é produto do intemperismo químico das rochas. Esse parâmetro é utilizado pela Comunidade de Estados Europeus e pelos Estados Unidos da América do Norte, para a classificação das águas minerais (CPRM, 2012). Além disso, a CSD apresenta uma forte correlação com a condutividade elétrica e é capaz de expressar a salinidade da água.

- **Concentração de Sólidos Suspensos (CSS)**

Este parâmetro expressa a concentração de sólidos na água com dimensões $> 1 \mu\text{m}$. São constituídos principalmente por sedimentos provenientes de solos erodidos e demais fontes de sedimento. Geralmente este parâmetro apresenta uma boa correlação com a turbidez.

- **Condutividade Elétrica (CE)**

Expressa a capacidade da água em conduzir eletricidade, está diretamente relacionada à presença de substâncias dissolvidas na água. Através desse parâmetro podemos quantificar os macronutrientes, obter informações sobre a produção primária (reduz a condutividade) e a decomposição (aumenta a condutividade), identificar as diferenças geoquímicas e determinadas fontes de poluição (TAUK-TORNISIELO & PALMA-SILVA, 1998).

- **Cor Verdadeira**

O parâmetro cor verdadeira, indica a presença de matérias orgânicas ou coloidais. As partículas coloidais normalmente carregadas negativamente permanecem suspensas e necessitam de processos de coagulação-floculação para sedimentar. Devido à dúvida sobre a potabilidade de uma água clorada a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que as águas de abastecimento público obedeçam ao limite aceitável e máximo admissível de respectivamente 5 UC e 50 UC (PEIXOTO, 2007). No Brasil, admite-se que os corpos hídricos de superfície destinados ao abastecimento público obedeçam ao limite máximo de 75 UC. A unidade de cor (UC) foi definida por Hazen como sendo a cor de uma solução com 1mg/L de cloroplatinato (K_2PtCl_6) corresponde a uma unidade de cor. A leitura de absorvância deve ser feita a $\lambda = 455$ nm (entre 385 nm e 470 nm).

- **Oxigênio Dissolvido (OD)**

Dados sobre a concentração de oxigênio dissolvido são de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, este parâmetro reflete o estado de qualidade dos ambientes fluviais, pois é vital para o funcionamento de qualquer ecossistema aquático. Recomenda-se que a concentração mantenha-se acima 5 mg/l para assegurar sobrevivência de muitos seres vivos, especialmente os peixes, cuja maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvidos na água inferiores a 4,0 mg/L (FREIRE & OMENA, 2005). As principais fontes de oxigênio são a atmosfera e a fotossíntese, enquanto as principais reduções deve-se à introdução de matéria orgânica, a respiração dos organismos e oxidação de íons metálicos (ESTEVES, 1988).

- **pH**

O pH é uma das variáveis ambientais fundamentais, mede a atividade dos íons H^+ dissolvidos na água. Possui uma escala logarítmica que varia de 0 a 14, onde o 7 indica a neutralidade, o $pH < 7$ indica a acidez, enquanto $pH > 7$ denota a alcalinidade. Quando o pH baixa, a corrosividade da água aumenta, favorecendo a dissolução de Fe e magnésio, esse estado também favorece a sedimentação dos particulados em suspensão. A faixa de pH entre 6 e 9 é considerada ótima para a proteção da vida aquática. O pH também influencia na disponibilidade e toxicidade de muitas substâncias como o ferro, chumbo, cromo, amoníaco, mercúrio e outros (PEIXOTO, 2007).

- **Temperatura**

A temperatura da água é um dos parâmetros mais importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico nos corpos d'água, pois atua diretamente sobre a velocidade das reações químicas, no metabolismo dos organismos e solubilidade dos gases e sais minerais. A temperatura também exerce influência sobre a densidade, viscosidade, condutividade elétrica e tensão superficial da água.

- **Turbidez**

A turbidez da água é causada por diversos materiais em suspensão, de tamanho e natureza variados, tais como, lamas, areias, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos corados solúveis, plâncton e outros organismos microscópicos (PEIXOTO, 2007). As partículas inferiores a 0,063 milímetros (silte e argila) permanecem suspensas em água corrente, e são em grande parte a causa da turbidez (IDEQ, 2003 apud US EPA, 2003).

4.2.4.2 Traçadores Mineralógicos

Dentre as várias propriedades dos argilominerais, a capacidade de manter as características de seu local de origem, é frequentemente utilizada para traçar as vias e a procedência dos sedimentos na bacia hidrográfica.

- **Grupo da Caulinita**

A caulinita e halloysita são os principais minerais desse grupo. A caulinita é um argilomineral não expansivo, cuja fórmula estrutural pode ser escrita como $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, possui uma carga elétrica praticamente neutra, podendo apresentar uma capacidade de troca variando de 5 a 15 cmolc kg^{-1} . Essa característica pode ser vista como inatividade química, ou seja, a incapacidade de ligar-se a outros elementos e transportá-los para outros ambientes (MELLO, 2013).

A caulinita é o argilomineral mais abundante nos solos tropicais, sua presença indica um estágio intermediário da evolução do solo. No difratograma, os principais picos de caulinita são 7,18 Å e 3,58 Å, quando submetida a temperaturas superiores a 500°C os picos característicos da caulinita desaparecem.

- **Grupo da Illita**

Trata-se de um argilomineral do tipo 2:1, sua estrutura é similar a da muscovita, constituída por duas folhas formadas por tetraedros de sílica, com uma folha central de coordenação octaédrica (SCAPIN, 2003), apresenta Al, Mg e Fe na lâmina octaedral, cuja substituição isomorfa é frequente e parte das cargas geradas é compensada com cátions de potássio, resultando em ausência de expansão, devido a força da ligação (MELLO, 2013), possui ainda uma baixa capacidade de troca iônica em torno de 10 a 15 cmolc kg⁻¹. No difratograma, grupo é caracterizado pelos picos a 10 Å e a 3,35 Å.

A illita não é um mineral estável em ambientes quentes e úmidos, apresenta alta taxa de lixiviação, a presença destes argilominerais em solos brasileiros é pequena, exceto em climas áridos ou semiáridos (pouca umidade e lixiviação), em locais mal drenados (acúmulo de Si e pouca lixiviação), ou em solos em estado inicial de formação (AZEVEDO, 2007).

- **Grupo das Esmectitas**

O principal mineral deste grupo é a montmorillonita. Sua fórmula pode ser escrita como $[M^{+}_{0,5}(Al_{1,5}Mg_{0,5})(Si_4)O_{10}(OH)_2]$, apresentam substituição isomorfa predominantemente na lâmina octaedral, na qual o Mg^{2+} ocupa o lugar do Al^{3+} . Possui elevada capacidade de reter íons e moléculas orgânicas e inorgânicas, sua capacidade de troca catiônica é estimada em 50 a 160 cmolc kg⁻¹. No difratograma, o principal pico do grupo das esmectitas é de 14 Å, quando saturadas de etilglicol o pico desloca-se para 17 Å e quando submetida ao aquecimento a 400°C o pico desloca-se para 10 Å, confundindo-se com o pico de illita.

As esmectitas são os argilominerais com maior capacidade para adsorver herbicidas, fungicidas e inseticidas o que torna as áreas onde predomina esses minerais mais vulneráveis a contaminantes ambientais (MELLO, 2013).

4.3 Amostragem do Solo para Análise Mineralógica

Para obter informações sobre o tipo de material que a erosão do solo carrega para as drenagens, optou-se por fazer análise mineralógica dos solos desenvolvidos sobre as formações Irati e Corumbataí. Essas unidades geológicas foram escolhidas devido à posição geográfica que ocupam na bacia hidrográfica e por considerar que os sedimentos produzidos na erosão desses solos podem contribuir significativamente com a descarga sólida no ponto de monitoramento. Outra razão que levou a busca por maiores informações sobre os minerais presentes nos solos da área de estudo, refere-se à necessidade de gerar fundamentos para eleger a illita como traçador mineralógico das áreas de mineração.

A amostragem do solo foi feita de forma composta. Ao todo foram coletadas quatro amostras com cerca de dois quilos cada. Para cada ponto, foram abertas três trincheiras, visando obter o material de transição para o horizonte B que representa a máxima expressão da gênese do solo (PEJON, et al, 2013). A amostra foi composta por uma pequena quantidade de material retirado do fundo de cada trincheira. Com exceção do ponto P2, que foi coletado em terreno de pastagem com afloramento de rocha, todas as outras amostragens foram realizadas em estradas rurais secundárias, onde o trânsito de veículos pesados é menos intenso. A figura 10 ilustra o método aplicado na coleta de solo. A localização dos pontos de coleta está indicada no mapa topográfico na figura 2 (apresentado no capítulo 3).



Figura 10: Coleta de amostras de solo

As amostras de solo passaram por um pré-tratamento antes de ser submetidas à análise mineralógica em difratômetro de raios X. A preparação consiste em quarterar a amostra e secar a porção escolhida em estufa a 60°C. Após a secagem, é feita a retirada de possíveis interferentes como as raízes de gramíneas e em seguida a amostra é encaminhada para o moinho oscilante PFAFF, onde fica por 20 segundos.

Para obter a fração fina dos sedimentos, a amostra foi submetida ao processo de deflocação, nesse processo, a amostra em meio aquoso recebe uma dose de solução defloculante, formada com 10% de hexametáfosfato de sódio. Após oito horas de reação, as partículas finas ainda em suspensão na coluna d'água são sifonadas para outro frasco, a partir dessa amostra são feitas as laminas para a leitura no DRX. A figura 11 apresenta o fluxograma do pré-tratamento da amostra de solo para a análise mineralógica.



Figura 11: Fluxograma do pré-tratamento dado à amostra de solo

4.4 Análise em Difratorômetro de Raios X (DRX)

A fração fina dos sedimentos foi analisada no laboratório de difração de raios X do DPM/IGCE/UNESP, pelo equipamento da marca PANalytical EMPYREAN, com medidas realizadas utilizando radiação $\text{CuK}\alpha_1$ ($\text{WL}=1,54056 \text{ \AA}$), e filtro de Ni. O ângulo 2θ de início foi de 3° e de término foi de 67° , com passo de $5''$ e tamanho do passo de $0,02^\circ$. Ao difratômetro foi acoplado módulo acelerador X'Celerator, que reduziu em 40% o tempo de análise. O tempo total de análise foi de $3'08''$, e a corrente empregada de 30mA a uma voltagem de 40kV. Os difratogramas gerados foram interpretados através do *software* X'Pert Highscore Plus, com base de dados ICDD PDF2 com mais de 70.000 compostos cristalinos.

A análise em DRX, é considerada a técnica mais adequada para definir a composição mineral da fração argila, tem como principio caracterizar o espaçamento entre os planos formados pela disposição dos átomos que constituem as diferentes fases cristalinas (estrutura cristalina) e a partir delas identificar os argilominerais e demais minerais presentes na fração argila (SCAPIN 2003; DOS ANJOS, 2008).

Duas lâminas foram preparadas para cada amostra, uma delas passou pela leitura do difratômetro na forma natural, depois, foi deixada em atmosfera de etileno-glicol por 24h para novamente ser analisada, a segunda foi aquecida a 500°C por 2 horas. A figura 12 mostra o preparo das lâminas para serem examinadas em DRX.

Esse procedimento é feito para auxiliar a identificação dos argilominerais, o tratamento térmico propicia o desaparecimento do pico da caulinita, devido à perda da estrutura cristalina do mineral que torna-se amorfa para os raios X. Já o tratamento com etileno-glicol é utilizado para identificar os minerais expansíveis, possibilitando distinguir os minerais que compõe o grupo da esmectitas (SCAPIN, 2003).



Figura 12: Preparo de lâminas com material coletado no córrego Assistência

4.5 Tratamento dos Dados

Os dados coletados no exutório da bacia hidrográfica do córrego Assistência foram organizados de acordo com a natureza das informações, gerando três agrupamentos principais. Um referente aos dados de hidrometria na secção de controle, outro que reúne os parâmetros de qualidade de água de interesse e por último um grupo para a mineralogia dos sólidos suspensos.

Em seguida, esses dados foram novamente segregados, agora quanto à ocorrência de eventos de chuvas significativas, capazes de gerar escoamento superficial e transportar para o curso d'água grande quantidade de sedimento proveniente das vertentes. Como não possuímos os dados de precipitação na área de estudo, este trabalho adotou o padrão de turbidez >100 NTU, como condição para identificar os eventos de cheia e de poluição difusa. Dessa forma foi possível trabalhar com dois cenários distintos, um referente aos eventos de cheia e outro ao tempo seco, cujas contribuições das vertentes são praticamente nulas.

Os dados de hidrometria foram plotados em gráficos, mostrando a relação cota-descarga e a relação da descarga sólida com outros parâmetros. Dessa forma também foi observada a variação da qualidade de água no decorrer do ano hidrológico de 2014.

Já para a análise da interferência das áreas de mineração na qualidade da água, foi adotado um modelo conceitual para as fontes de sedimentos, forjado a partir do levantamento bibliográfico das características mineralógicas da litologia e pedologia local. Dessa forma, foi considerado que as áreas de atividade minerária fornecem às drenagens um material pouco alterado composto basicamente por illita e minerais do grupo da esmectita. Por outro lado, os solos em condição de fornecer sedimento às drenagens, são constituídos basicamente por quartzo, caulinita, óxidos/hidróxidos de ferro e gibbsita. Esse modelo conceitual permite sugerir que a presença de illita entre os sedimentos transportados pelo corpo de d'água pode indicar a influência das atividades de mineração de argila na qualidade do meio fluvial. No entanto, para confirmar essa hipótese, a illita deve estar ausente e/ou indisponível nos solos, portanto, foi feito a análise mineralógica dos principais solos presentes na área para verificar essa questão.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Dinâmica dos Sedimentos em Bacias Hidrográficas

O termo “produção de sedimento” é empregado para se referir à quantidade de sedimentos removidos para fora da bacia hidrográfica. Esse processo tem início com a desagregação das partículas do solo e rochas pela ação da precipitação, o sedimento, então é transportado pelo escoamento superficial e transferido das vertentes para a calha do rio, onde passa por processos de deposição e erosão até chegar ao exutório da bacia hidrográfica (MINELLA & MERTEN, 2011). Contudo, deve-se ressaltar que, apenas uma pequena parcela dos sedimentos mobilizados durante um evento de chuva específico, chega a atingir o exutório da bacia hidrográfica, a maior parte deles permanece alojada na própria bacia, em forma de depósitos permanentes ou temporários, como a base de encostas, valas, planícies de inundação e o próprio canal fluvial (SARI, et al. 2013).

Dentre os fatores que condicionam a dinâmica dos sedimentos na bacia hidrográfica, destaca-se o clima, as características fisiográficas do terreno e o uso e ocupação do solo. Sabe-se, que a maior parte dos sedimentos chega ao corpo d’água através do escoamento superficial gerado em eventos de intensa precipitação (CARVALHO, 1994). Estudos em bacias hidrográficas europeias, apontam que cerca de 95% do total de sedimento produzido durante um ano pode chegar aos rios em apenas poucos dias de chuva (SILVA et al. 2003).

Já as características físicas da bacia, podem influenciar na conectividade entre a vertente e a calha fluvial e também no depósito de sedimentos em fundo de vales e dentro do canal. Enquanto, o uso e ocupação do solo pode afetar em varias ordem de magnitude a produção de sedimentos, tanto para atenuar quanto para agravá-la, podem ainda mudar as características do sedimento fornecido, ou a capacidade do rio em transportá-los (MINELLA & MERTEN, 2011). Diversas atividades antrópicas afetam o aporte e transferência de sedimento na bacia hidrográfica, como os açudes e barragens dentro do sistema fluvial, agricultura, construção civil, mineração, atividade madeireira, esquemas de proteção contra inundações, redução do fluxo do rio e outros (WHITE & APITZ, 2008).

Os sedimentos fluviais são encontrados em diferentes tamanhos, natureza mineralógica e orgânica (POLETO & CASTILHOS, 2008). A granulometria dos sedimentos é determinante quanto à distribuição vertical das partículas no corpo d’água. A carga de fundo corresponde à fração grossa dos sedimentos (areia e cascalho), que é transportada principalmente por arraste e saltação nas zonas próximas do leito. A carga em suspensão transporta essencialmente os

sedimentos na fração fina (silte e argila), sua distribuição vertical no canal fluvial é aproximadamente uniforme (CARVALHO, 1994).

A descarga sólida é composta por uma mistura de materiais provenientes de diferentes áreas fontes, a característica mineralógica dos sedimentos fluviais depende essencialmente da geologia, uso e manejo do solo e a ação antrópica de lançamento ou não de efluentes (POLETO & CASTILHOS, 2008). Segundo TAYLOR, et al (2008), as fontes de sedimentos podem ser classificadas de acordo com sua origem, as *fontes naturais*, são aquelas em que o aporte de sedimento se dá pela deposição de poeira atmosférica, eventos de movimento de massas e erosão hídrica dos solos; *fontes antropogênicas*, são aquelas provenientes de minerações, rede viária urbana e rural, construção civil e lançamentos de efluentes pontuais; e por fim, aquelas provenientes do próprio canal fluvial, através da erosão da margem lateral do canal, dos depósitos de várzea e ressuspensão do sedimento do leito.

A Figura 13 ilustra a dinâmica do transporte de sólidos em corpos hídricos de superfície

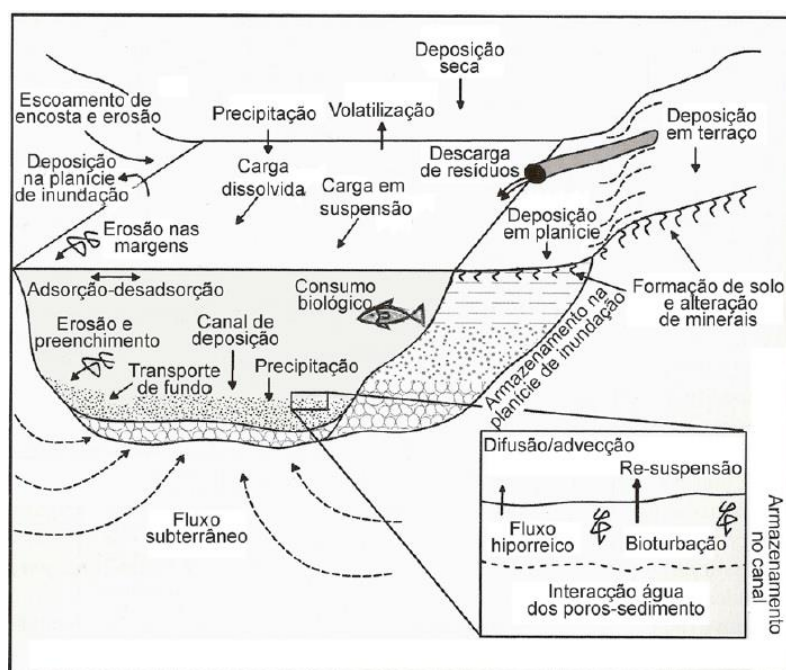


Figura 13: Modelo conceitual das interações sedimento-água em ambiente fluvial

Fonte: MILLER & MILLER, 2007 apud REIS, et al, 2010

A erosão da calha fluvial contribui em menor proporção para a carga sólida em suspensão, pois as partículas grossas do leito do rio são facilmente erodidas quando comparados às mais finas, devido à propriedade coesiva desses pequenos grãos, é necessária uma alta velocidade do escoamento do corpo hídrico para que esse sedimento seja

remobilizado. De acordo com PRESS et al. (2006), a capacidade que um rio tem de erodir seu leito depende da vazão e da declividade do mesmo.

A carga de sólidos dissolvidos representa os minerais solúveis cuja proveniência deve-se em parte, ao processo de intemperismo químico que afetam as rochas e solos. Também contribuem com essa carga os macronutrientes, que são provenientes da degradação da matéria orgânica.

O estudo sobre o sedimento deve abordar ainda, as características quantitativas e qualitativas dos sedimentos transportados pelos corpos d'água, essa análise é de grande importância na perspectiva ambiental, principalmente àqueles estudos voltados a dinâmica das bacias hidrográficas, projetos hidráulicos e gestão dos recursos hídricos.

Utiliza-se da dimensão qualitativa dos sedimentos, para identificar sua origem dentre as diferentes fontes presentes na bacia hidrográfica. Baseada no princípio de que, os sedimentos em suspensão mantêm algumas de suas propriedades geoquímicas adquirida na fonte, sendo as mesmas, utilizadas como traçadores (MINELLA et al, 2009). Os radionucleotídeos são traçadores em potenciais, o Césio-137, o Chumbo-210, o Berílio-07 e Rádio-226 são considerados, provavelmente a mais eficiente propriedade traçadora na distinção entre fonte superficial e sub-superficiais em bacias (ZAPATA, 2002, apud MINELLA & MARTEN, 2011).

De acordo com OLIVEIRA (2001), os minerais de argila são frequentemente utilizados como traçadores para evidenciar as principais linhas de transporte na plataforma continental e sua origem no continente.

5.2 A Mineração como Fonte de Sedimento

A mineração é um empreendimento de caráter degradante do meio ambiente, sua implantação implica na remoção da vegetação, fauna e solo da área requerida, o relevo e topografia sofrem alterações significativas afetando diretamente a paisagem local. Geram ainda, efeitos indesejados à comunidade causando conflitos de uso e ocupação do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano (FARIA, 2002).

O potencial poluidor dessas atividades pode se acentuar dependendo da composição e estabilidade química dos estéreis e rejeitos produzidos pela mineração e a forma como são dispostos no ambiente. Os empreendimentos em operação ou mesmo desativados podem ser

fontes persistentes de poluição. Minerações de chumbo, zinco, prata e carvão produzem grandes volumes de rejeitos quimicamente instáveis que contêm arsênio e sulfetos em forma de pirita e outros minerais, que ao ficarem expostos à água e ao ar, oxidam-se gerando acidez nos corpos de água receptores (FARIA, 2002). Entretanto as minerações de ferro, argila, areia, calcário, granito, bauxita, manganês, cassiterita, diamantes e outros provocam em geral poluição por sedimentos (BONUMÁ, 2006).

Embora essencial para as funções ecológicas, os sedimentos em excesso no corpo hídrico de superfície é tido como poluente, mesmo quando não contaminado por pesticidas, agentes químicos decorrentes do lixo, metais pesados, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas e vírus etc. (CARVALHO et al, 2000; SARI, et al, 2013). O desequilíbrio da carga sólida do corpo hídrico constitui um grande estressor do ecossistema aquático, causando efeito direto e indireto sobre macrofilas e populações de peixes (US EPA, 2003). O bloqueio da luz causado pela turbidez impede o processo fotossintético das plantas submersas responsáveis pela oxigenação da água, favorecendo a ocorrência de plantas flutuantes e emersas que podem gerar eventos de mortandade de peixes (CARVALHO, et al 2005). Para WARD & ELIOT (1995) o sedimento é provavelmente o mais significativo de todos os poluentes, devido sua concentração na água, seus impactos no recurso hídrico e seus efeitos no transporte de poluentes (apud SILVA, et al, 2003). O sedimento, também causam impactos nos usos múltiplos dos recursos hídricos, como o consumo humano, recreação, uso industrial e infra-estruturas a exemplo das hidroelétricas e hidrovias (CARVALHO et al, 2000).

Ao analisar o sedimento como poluente, ele se enquadra no termo “poluente quantitativo”, apresentado por NUVOLARI (2013), trata-se de substâncias naturais, do ambiente, liberados pelo homem em quantidade adicional significativa. Por outro lado, ao analisar as áreas de mineração como fontes de sedimento, nota-se, que as cargas de poluição hídrica ocorrem de forma difusa e intermitente relacionado a eventos de precipitação, o que dificulta sua identificação, medição e controle (LIBOS, et al, 2003 apud RODRIGUES e MEDIONDO, 2013).

Frente à poluição difusa, as medidas tradicionais de controle da poluição hídrica, estabelecidos pelos pelo Decreto Estadual 8468/76 e Resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011, não são adequadas. De acordo com NOVOTNY (1991), é difícil estabelecer padrões de lançamento para essas cargas, pois elas variam com a intensidade e duração dos eventos meteorológicos, a extensão da área de produção naquele evento específico e outros fatores, que torna a correlação entre vazão e carga poluidora, praticamente impossível de ser estabelecida (apud, REIS & BRANDÃO, 2013).

O controle da poluição hídrica de origem difusa deve incluir obrigatoriamente ações diretas na área geradora, agindo sobre a conectividade entre as vertentes e a rede de drenagem. Em mineração é comum o emprego de bacias de decantação, represas de rejeito e utilização da própria cava para conter o escoamento superficial. PORTO (1995) acrescenta que as cargas difusas de poluição podem ser expressas em polutograma, gráfico com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente, entretanto é necessário acompanhar a variação da vazão durante todo o evento, possibilitando a acompanhar o comportamento da concentração do poluente durante a onda de cheia (apud BONUMA et al, 2008).

Diante desse cenário, faz-se necessário uma abordagem em escala de bacia hidrográfica, sob essa nova ótica, deve-se incluir análise fluviométricas e sedimentométricas que junto a dados de qualidade dos sedimentos podem fornecer dados importantes para a análise das bacias que compõe o polo cerâmico, contribuindo para identificar todas ou a maioria das fontes de sedimentos, realizar avaliação de risco, desenvolver modelos com discretização espacial de produção de sedimento, entender a dinâmica dos sedimentos na bacia hidrográfica e ser capaz de introduzir medidas efetivas para o controle da erosão e da poluição difusa (OWENS, 2008; MINELLA & MARTEN, 2011).

A figura 14 mostra uma foto aérea de um empreendimento situado na área de estudo, podem ser notadas na imagem as estruturas de controle da poluição (tanques de decantação) e a vulnerabilidade dos copos de água do entorno.



Figura 14: Área de mineração de argila em 2008

Fonte: Imagem gentilmente cedida por Lúcia Vidor de Sousa Reis

5.3 A Gestão de Sedimento em Escala de Bacia Hidrográfica

As ações de gestão de sedimentos, normalmente são empregadas quando ocorre um desequilíbrio na quantidade e na qualidade dos sedimentos fluviais, que por sua vez acaba gerando impactos no ecossistema aquático e nos usos múltiplos dos recursos hídricos. Embora a escala de bacia hidrográfica seja a melhor abordagem para a gestão de sedimentos, atualmente esse conceito é pouco empregado devido a uma série de dificuldades intrínsecas à operação desse novo modelo, como a dificuldade de amostrar os sedimentos fluviais nos eventos de pico de vazão, a ausência de consenso sobre o fluxo de sedimentos considerado saudável para o recurso hídrico, a ocorrência de múltiplas fontes de sedimentos e contaminantes atuando em diferentes épocas e lugares que inviabiliza a aplicabilidade do princípio “poluidor-pagador” (WHITE & APITZ, 2008).

Nos Estados Unidos da América (EUA), em 1998 foi criado um programa federal para a gestão de sedimentos no rio Illinois, depois de décadas com problemas relacionado com a depreciação da qualidade de água devido à quantidade de sedimentos. Além de medidas de conservação se solo para reduzir o aporte de sedimentos, o programa conta ainda com uma rede de monitoramento e balanço de sedimentos na escala de bacia hidrográfica para identificar as principais fontes e vias de sedimento. O monitoramento em longo prazo tornou-se uma ferramenta fundamental para avaliar o progresso das medidas empregadas (OWENS, 2008).

Na União Europeia (EU) a Diretiva Quatro da Água (DQA) introduziu a gestão integrada em escala de bacia hidrográfica que considera além do recurso hídrico, o ecossistema aquático e terrestre associados. Nessa abordagem, a importância ecológica dos sedimentos fluviais é reconhecida, assim como sua contaminação que podem causar efeitos adversos sobre a biota aquática. Neste âmbito, foi criado em 2002 o European Sediment Research Network (SedNet) onde cientistas europeus, entidades gestoras de sedimento e responsáveis pelo desenvolvimento e implementação de legislação relacionada com sedimentos tem desenvolvidos estudos sobre a monitoração de sedimentos. Dessa forma, os sedimentos passaram a ser monitorados quanto à quantidade e qualidade em um plano de gestão de sedimentos (REIS, et al, 2010).

No Brasil, o principal esforço voltado ao estudo dos sedimentos fluviais em escala de bacia hidrográfica concentra-se nas universidades. MINELLA et al, (2008) fez o monitoramento da bacia hidrográfica Arvorezinha, no Rio Grande do Sul, visando identificar as alterações na produção de sedimento devido à introdução de práticas de manejo do solo.

No estudo, foram analisados cinquenta eventos de precipitação que ocorreram entre maio de 2002 a março 2006. As avaliações hidrossedimentométricas baseou-se nos dados de medição da precipitação, volume de escoamento superficial, vazão máxima e produção de sedimento dos eventos. Os resultados mostraram uma redução significativa do escoamento superficial e da vazão máxima após a implementação de práticas conservacionistas, a produção do sedimento reduziu aproximadamente 80% em eventos de baixa magnitude e de 40 % em eventos de média magnitude. Quanto à análise das áreas fontes, os resultados mostraram uma redução da contribuição dos sedimentos provenientes das áreas agrícolas e estradas e um aumento da contribuição de sedimentos provenientes da própria calha fluvial. As contribuições das áreas de agricultura e estradas não pavimentadas passaram de 63% e 36% para 54% e 24%, respectivamente, após a implantação das práticas de manejo, enquanto a contribuição dos canais passou de 2% para 22%.

Atualmente, a rede de qualidade de água superficial do estado de São Paulo, conta com 27 pontos de monitoramento de qualidade do sedimento fluvial, que são coletados nas margens deposicionais dos rios e na zona de fundo dos reservatórios. As análises dos sedimentos são feitas a partir de ensaios da contaminação química, do estado da comunidade bentônica e através da ecotoxicidade. Os dados individuais são convertidos em critérios de qualidade de sedimento que variam de péssimo a ótimo (CETESB, 2014). Essa abordagem concede uma avaliação essencial, porém generalizada dos sedimentos, pois não contempla os eventos de cheia, de extrema importância para os estudos quantitativos e qualitativos dos sedimentos, uma vez que quase 90 % do fluxo de sedimentos/nutrientes e poluentes são transportados neste período (POLETO, 2014).

A iniciativa governamental para regulamentar a gestão de sedimentos no país ainda é tímida. Apesar da bacia hidrográfica já ser abordada como unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos, os estudos relacionados ao sedimento, ainda não foram integrados totalmente nesta escala. A ausência de diretrizes legais, somado à dificuldade intrínseca de estabelecer o monitoramento hidrossedimentométrico, acaba por inibir o estudo em longo prazo da dinâmica dos sedimentos nas bacias hidrográficas. Contudo, se faz necessário eleger determinadas bacias cuja problemática relacionada aos sedimentos esteja em evidência, como no caso do PCSG, que devido à vocação regional para o desenvolvimento de atividade minerária, atualmente está sendo alvo do Ordenamento Territorial Geomineiro no Estado de São Paulo (OTGM).

O OTGM consiste em um instrumento de planejamento e gestão territorial, que visa inserir a mineração no cenário de desenvolvimento regional, harmonizando a atividade com

os demais usos e ocupação do solo, a preservação ambiental e as políticas de Estado. Trata-se efetivamente de um zoneamento minerário, que utiliza da compartimentação do espaço físico em áreas com diferentes potencialidades de aptidão para receberem ou não atividades de extração mineral (OTGM, 2014). Neste âmbito, já foram destacadas pelo projeto de OTGM dentre os fatores críticos ambientais relacionados ao setor de mineração, a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos e os problemas relacionados à qualidade do ar. Contudo, esse cenário apresenta-se favorável à implantação do monitoramento e controle das fontes de sedimento através um programa de gestão das bacias que compõe o PCSG.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de verificar a influência dos empreendimentos de argila na qualidade da água, primeiramente é apresentada a discussão sobre a mineralogia dos solos amostrados, visando verificar a hipótese em pauta. Em seguida será apresentada a discussão referente aos dados obtidos no ambiente fluvial.

6.1 A Composição Mineralógica dos Solos da Área de Estudo

Para apresentar os minerais que constituem o solo da área de estudo, os difratogramas obtidos na forma normal, glicolada e queimada foram agrupados em uma única imagem, a fim de facilitar a exposição dos resultados. A figura 15 revela a mineralogia do solo amostrado no ponto P1 (solo 01), neste local o solo tem como minerais preponderantes, a caulinita, montmorillonita e hematita. A ausência de illita neste solo indica sua evolução pedogenética.

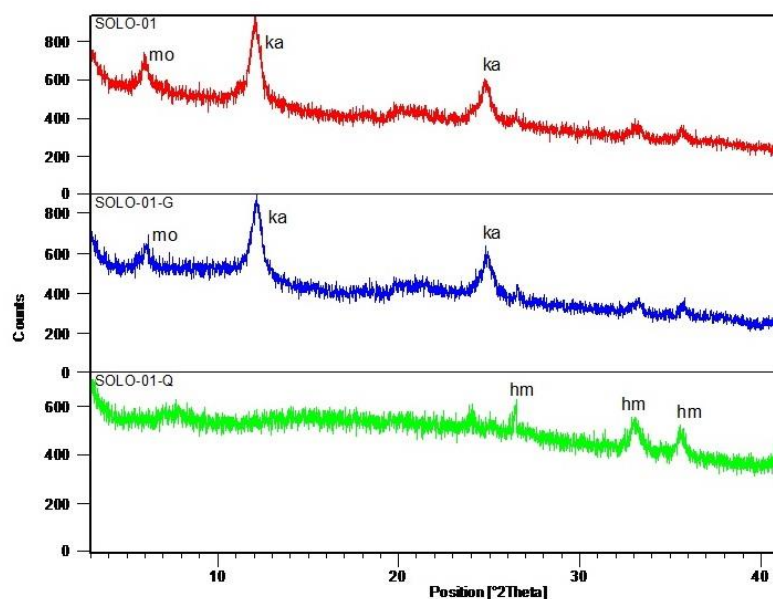


Figura 15: Difrátogramas do solo coletado no ponto P1
Legenda: hm = Hematita; ka = Caulinita; mo = Montmorillonita

A figura 16 mostra os difratogramas do material coletado no ponto P2 (solo 02), os resultados sugerem que o solo coletado neste ponto é pouco evoluído, pois mantém as características de rocha alterada, com predomínio de montmorillonita, quartzo e traços de caulinita e illita. Este solo foi amostrado em uma área de pastagem com topografia

acidentada, onde notou-se a ocorrência de um solo pouco profundo com afloramento das rochas da Formação Irati e/ou Tatuí.

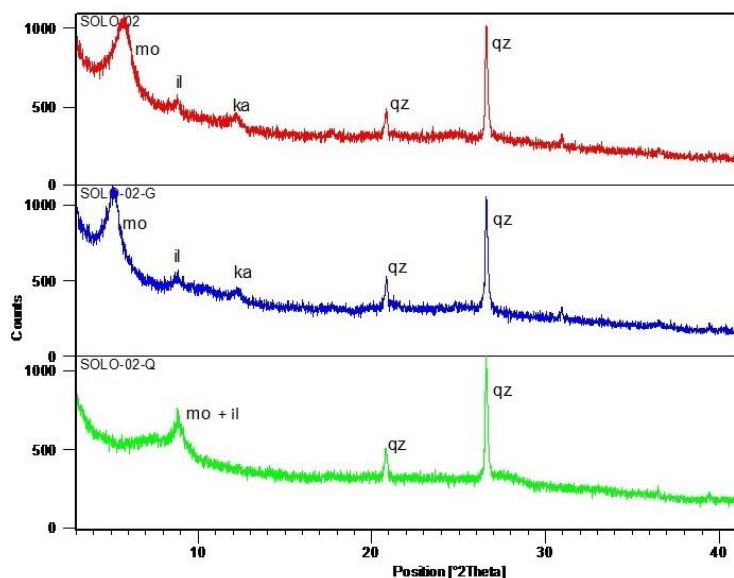


Figura 16: Difratoformas do solo coletado no ponto P2

Legenda: il= Illita; ka= Caulinita; mo= Montmorillonita; qz= Quartzo

A amostra referente ao ponto P3 (solo 03) tem a caulinita como argilomineral preponderante. No entanto, também ocorrem quantidades subordinadas de illita e montmorillonita. Já a amostra correspondente ao ponto P4 (solo 04), trata-se de um solo evoluído com características típicas de um latossolo, nele, a illita e montmorillonita estão ausentes predominando a caulinita, gibbsita e hematita. As figuras 17 e 18 mostram, respectivamente, os difratogramas correspondentes ao solo 03 e 04.

Os resultados mostraram solos em diferentes estágios de evolução. Os solos 02 e 03, considerados os menos evoluídos, apresentam quantidades relativamente pequenas de illita, no primeiro, prevalece a montmorillonita que caracteriza o horizonte de alteração de rocha, e no segundo, prevalece a caulinita indicando a evolução pedogenética do solo. Os solos evoluídos por sua vez, aqui representados pelos solos 01 e 04 são abundantes em minerais característicos de alterações mais intensas e já não apresentam illita.

A partir dos resultados da mineralogia dos solos, a hipótese é confirmada, pois sendo a illita pouco expressiva nos solos amostrados na área de estudo, a presença de illita entre os sólidos suspensos no córrego Assistência é justificada pelo aporte de sedimento proveniente das áreas de minerações de argila (minas e pátios de secagem), estradas rurais cascalhadas com material das minas e a deposição seca da poeira produzida na operação desses

empreendimentos. A caulinita tem origem, principalmente, na erosão laminar dos solos expostos, como as áreas de agricultura e pastagem, enquanto a montmorillonita, argilomineral de grande importância ambiental, também pode estar associada às minerações e estradas, assim como de áreas de afloramento de rochas e processos erosivos profundos.

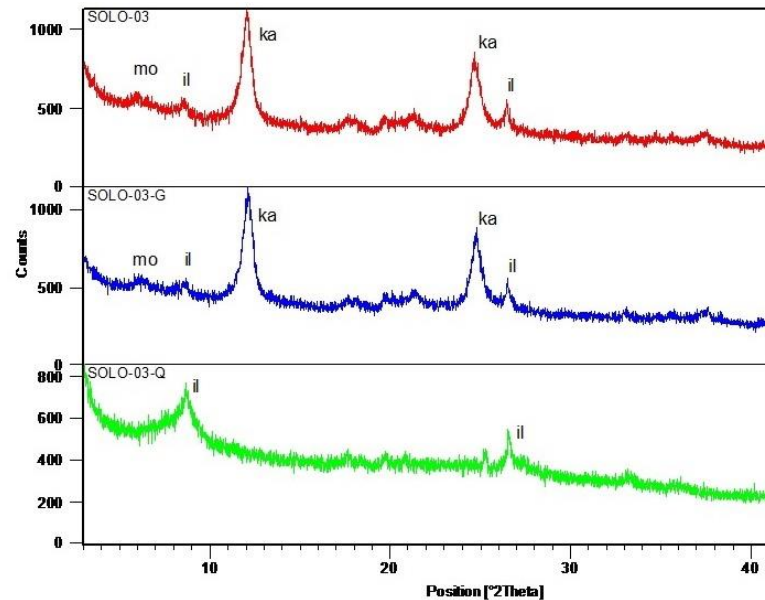


Figura 17: Difrátogramas do solo coletado no ponto P3
Legenda: il= Illita; ka= Caulinita; mo= Montmorillonita

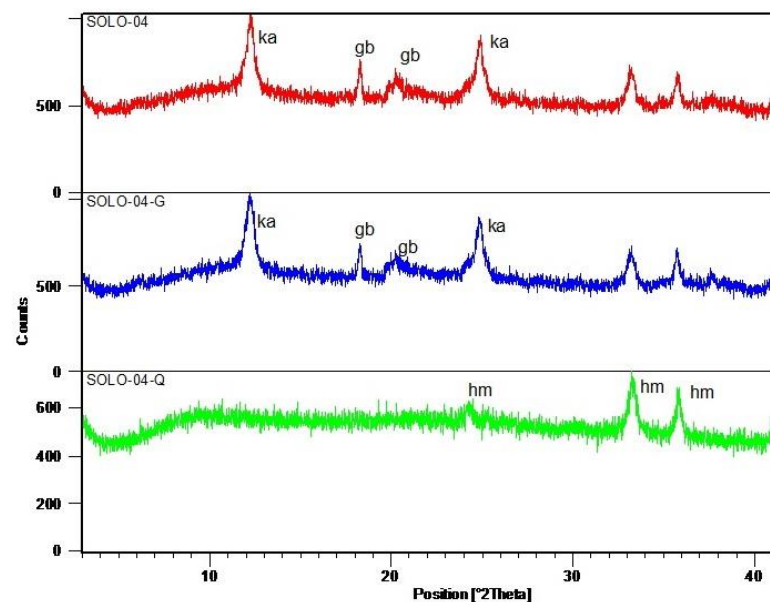


Figura 18: Difrátogramas do solo coletado no ponto P4
Legenda: gb= Gibbsita; hm= Hematita; ka= Caulinita

6.2 Análise dos Dados de Hidrossedimentologia e de Qualidade de Água

As informações obtidas em um ano atípico como o de 2014, que assistiu a pior seca já registrada desde o começo dos registros meteorológicos no Sudeste brasileiro, há mais de oitenta anos (NOBRE, 2015), podem ser expressivas para a gestão dos sedimentos e dos recursos hídricos, visto que a dinâmica hidrossedimentológica é totalmente dependente do ciclo hidrológico. Os dados obtidos durante a pesquisa foram organizados em forma de tabelas e gráficos. Ao todo foram realizadas sessenta e sete campanhas de campo, sendo que quatorze delas foram enquadradas em eventos de cheia, as quais registraram turbidez acima de 100 NTU, o restante foi considerado pertencente ao tempo seco. A figura 19 apresenta a planilha com os dados hidrossedimentológicos e qualidade de água.

6.2.1 Análise da Hidrometria e Descarga Sólida

Considerando os dados de vazão e profundidade média, foi feita a interpolação dos pares de cota-descarga e gerada uma curva de ajuste a partir de uma expressão exponencial. O gráfico 3 e a equação 4 apresentam, respectivamente, a relação entre cota-vazão e a expressão matemática que representa a curva.

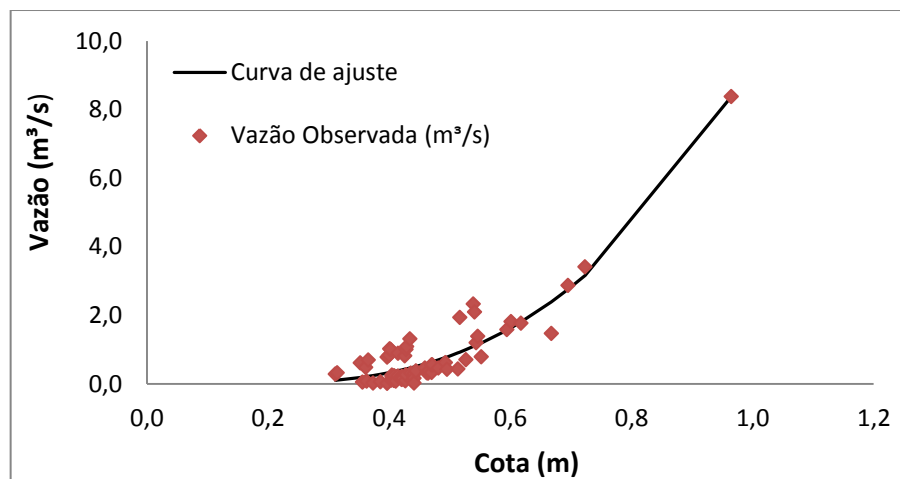


Gráfico 3: Correlação profundidade média vazão

$$Q = 14,45 \cdot (H - 0,14)^{2,8} \quad (4)$$

O método adotado para medir a vazão mostrou-se suscetível a erros. A técnica empregada na obtenção da cota, baseada na profundidade média da seção de monitoramento no instante da amostragem, foi deficiente em detectar as pequenas variações, obtendo diferentes vazões para a mesma cota. Também contribuiu com os erros, a geometria irregular da calha fluvial na seção de monitoramento, que durante o período de estudo variou consideravelmente.

O gráfico 4, mostra os erros embutido na obtenção da vazão. Quanto mais a linha de tendência se aproximar da linha de ajuste perfeito mais confiáveis serão os dados. Contudo, foi possível estabelecer uma boa correlação entre cota-vazão, os erros embutidos podem ser corrigidos com a melhoria do posto de coleta e dos equipamentos de monitoramento, pois uma simples régua linimétrica, ou linígrafo devidamente referenciados a uma cota conhecida e materializada no terreno, poderiam diminuir sensivelmente os erros.

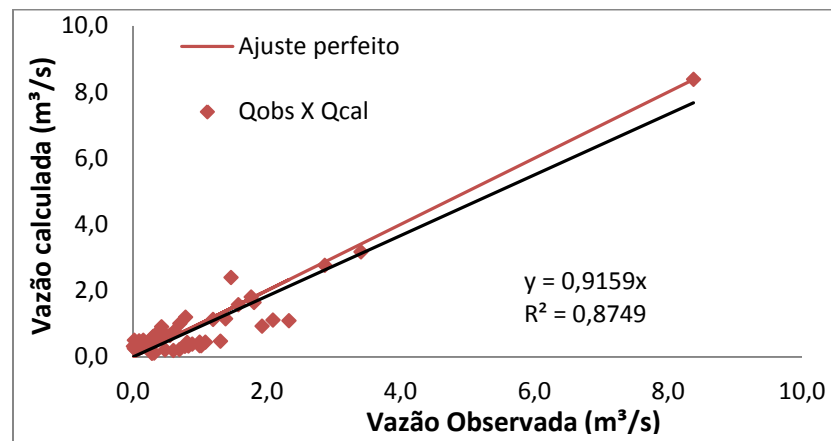


Gráfico 4: Correlação entre vazões observadas e vazões calculadas

Quanto à sedimentologia fluvial, geralmente a análise do transporte de sedimentos se dá observando o comportamento da descarga sólida com relação à vazão, conforme demonstra o gráfico 5. No entanto, outras variáveis do estudo sedimentológico também podem ser utilizadas, como o tempo, cota, velocidade, turbidez, e outras. O gráfico 6 correlaciona a descarga sólida com a concentração sólidos suspensos (CSS).

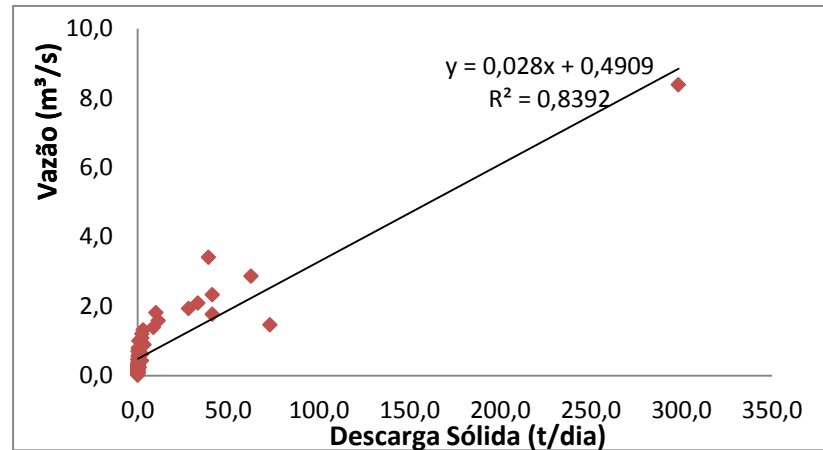


Gráfico 5: Correlação entre descarga sólida e vazão

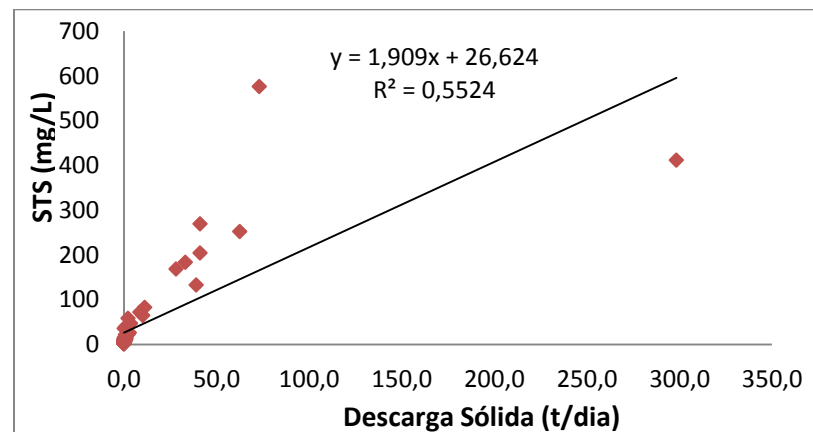


Gráfico 6: Correlação entre descarga sólida e CSS

A média da descarga sólida em suspensão nos eventos de cheia foi de 50,17 t/dia, enquanto a média para o tempo seco foi de 0,4 t/dia. O maior fluxo de sedimento registrado foi de 298,3 t/dia, ocorreu no dia 23 de dezembro quando também foi registrado o maior pico de vazão de 8,3 m³/s. A média anual da descarga de sólidos em suspensão foi de cerca de 3.680 t/ano. Com relação à produção específica de sólidos em suspensão, verificou-se que em média 98,18 t/km².ano de material é mobilizado da bacia hidrográfica do córrego Assistência para o rio Corumbataí.

LATRUBESSE et al (2005), ao apresentar as características dos grandes sistemas fluviais dos trópicos, destaca que o rio Brahmaputra em Bangladesh apresenta os valores mais elevados de produção específica, em torno de 852,4 t/km².ano, seguido pelo rio Meta na Venezuela, com 759 t/km².ano. O rio Amazonas, apesar de sua dimensão, apresenta uma produção específica em torno de 167 t/km².ano, enquanto o rio Paraná na Argentina apresenta 47 t/km².ano. CONTE E LEOPOLDO (2001), em estudo realizado na bacia experimental do

rio Pardo, afluente do rio Paranapanema, no estado de São Paulo, verificou a produção específica de 22,78 t/km².ano. CARVALHO & CUNHA (1998), observam que os maiores valores de produção específica estão associados a bacias hidrográficas densamente populosas, onde é grande a degradação da cobertura vegetal e as práticas agrícolas não conservacionistas.

A bacia hidrográfica do córrego Assistência apresentou uma produção específica moderada, este fato deve-se em parte ao desenvolvimento de atividades econômicas que expõe o terreno aos processos erosivos, como as práticas de agropecuária e as áreas de mineração e beneficiamento de argila, que juntos ocupam cerca de 70 % da área.

O gráfico 7 mostra os dados de turbidez associado ao hidrograma do córrego Assistência no ano de 2014, o gráfico confirma a correlação deste parâmetro com o ciclo hidrológico. Nota-se que os picos de turbidez obedecem ao mesmo padrão demonstrado pela vazão.

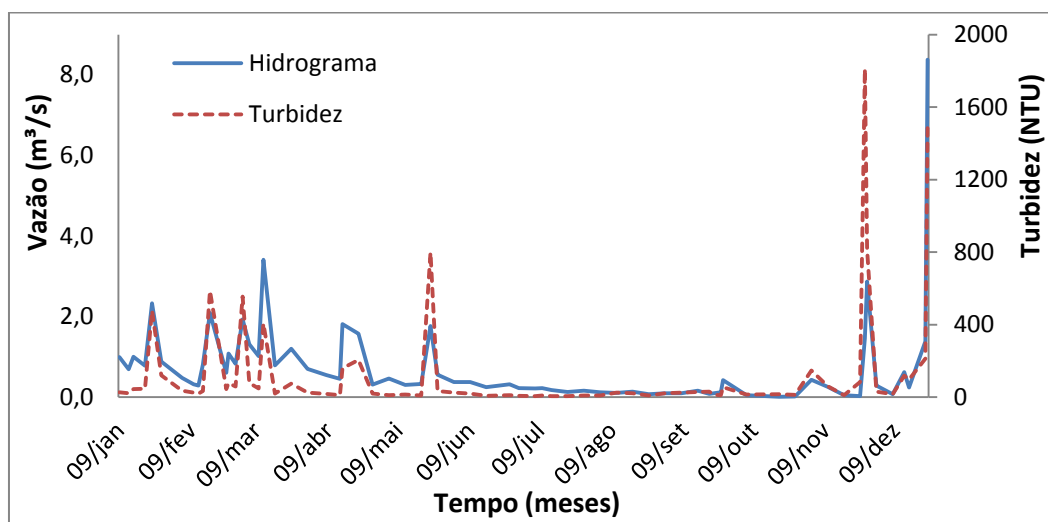


Gráfico 7: Hidrograma do córrego Assistência em 2014

Esta análise não permite verificar se o pico de sedimento ocorre antes ou depois do pico de vazão, para fazer essa afirmação é necessário acompanhar todo o evento de cheia. Contudo, deve-se ressaltar que os picos de vazão e sedimentos, caracterizam o processo de poluição difusa, que em áreas rurais está associada ao aporte de sedimentos, nutrientes, defensivos agrícolas e resíduos de criação animal.

Por fim, o gráfico 8, mostra a correlação entre a turbidez a concentração de sólido suspensos (CSS). A ótima correlação entre os parâmetros indica a viabilidade de se determinar indiretamente a descarga sólida, através de dados de turbidez.

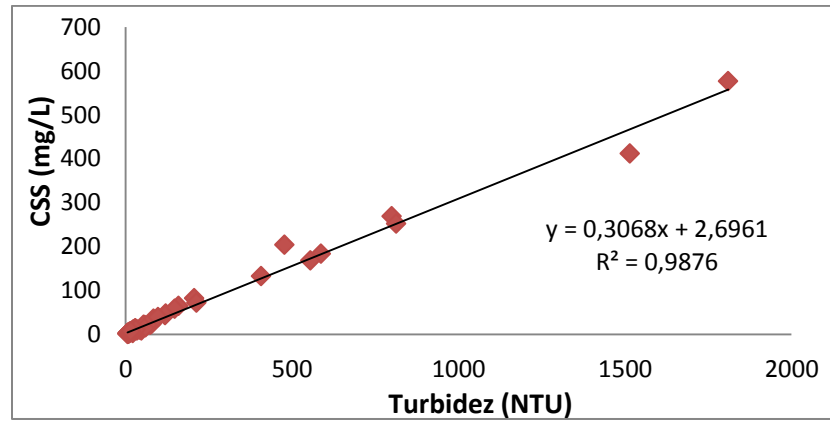


Gráfico 8: Correlação entre turbidez e CSS

Figura 19: Planilha de tratamento de dados hidrossedimentológico e de qualidade de água

CAMPANHAS DE MONITORAMENTO EM 2014	HIDROMETRIA				PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA									MINERAIS	
	profundidade média (m)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m³/s)	Descarga de Sólidos em Suspensão (t/dia)	Temperatura da Água (°C)	Cond. Elétrica (µS/cm)	STD (mg/L)	STS (mg/L)	ST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Cor verdadeira (units pTCo)	OD (mg/L)	pH	Mineralogia	
09/jan	0,40	0,621	0,999	0,777	23,1	208	140	9	149	27,8	58	7,11	6,81	Quartzo e Calcita	
13/jan	0,37	0,476	0,696	0,180	23,1	221	149	3	152	22,1	49	7,48	6,49	-	
15/jan	0,43	0,585	1,000	0,951	22,7	188	128	11	139	44,1	110	7,16	6,61	-	
20/jan	0,40	0,492	0,780	0,607	22,6	196	134	9	143	47,2	94	7,37	7,33	Quartzo e Calcita	
23/jan	0,54	1,082	2,332	41,103	23,7	135	90	204	294	477,5	1222,5	6,77	7,19	Quartzo, Illita e Caulinita	
27/jan	0,41	0,536	0,888	3,605	22,8	194	131	47	178	120,5	339,5	6,88	7,23	Quartzo, Calcita, Caulinita e Dolomita	
05/fev	0,36	0,333	0,481	0,416	22,9	211	143	10	153	36	99,5	6,84	7,4	Quartzo, Calcita e Gipso	
10/fev	0,31	0,254	0,319	0,221	23,1	233	157	8	165	24,6	65	6,23	7,2	Quartzo, Calcita, Dolomita e Gipso	
12/fev	0,31	0,229	0,285	0,123	23,9	242	160	5	165	19,7	52,5	5,39	7,29	Gipso e Calcite	
14/fev	0,43	0,477	0,812	0,772	23,1	223	150	11	161	34,3	99	5,56	7,32	Gipso, Epsomita, Dolomita e Calcita	
17/fev	0,54	0,967	2,092	33,175	22,3	201	138	183,5	321,5	587	1395	6	7,26	Quartzo, Illita, Caulinita e Gipso	
24/fev	0,35	0,430	0,605	0,575	23,3	218	146	11	157	44	118,5	6,27	7,33	Gibbita e Calcita	
25/fev	0,43	0,632	1,084	2,248	22,4	159	108	24	132	78,8	197	5,67	7,16	Quatzo e Gipso	
28/fev	0,40	0,520	0,832	1,510	23	207	140	21	161	58,6	184	5,02	7,34	Quartzo e illita	
03/mar	0,52	0,935	1,931	28,116	22,24	170	117	168,5	285,5	555	1595	5,56	7,21	Quartzo, Illita, Caulinita e dolomita	
06/mar	0,43	0,755	1,312	2,947	22,32	266	182	26	208	78,85	222,5	5,08	7,35	Calcita e Dolomita	
10/mar	0,40	0,638	1,023	1,238	22,55	288	196	14	210	47,7	122	4,71	7,26	Quartzo e Calcita	
12/mar	0,72	1,178	3,410	39,033	22,3	208	143	132,5	275,5	407,5	975	4,91	7,1	Quartzo, Illita, Caulinita, dolomita e gipso	
17/mar	0,55	0,358	0,790	0,410	23,45	316	212	6	218	19,35	55	5,69	7,33	Quartzo, Dolomita e Calcita	
24/mar	0,54	0,553	1,201	2,283	22,33	226	154	22	176	74,1	186	3,57	7	-	
31/mar	0,53	0,333	0,702	0,546	22,57	227	189	9	198	25,75	69	3,28	7,16	-	
08/abr	0,47	0,294	0,553	0,335	19,86	223	160	7	167	18,65	51	5,98	7,03	-	
14/abr	0,48	0,236	0,455	0,157	22,43	256	175	4	179	11	51,5	3,93	7,37	Calcita e Gipso	
15/abr	0,60	0,753	1,811	10,091	20,54	234	167	64,5	231,5	159,5	417,5	3,78	7,32	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
22/abr	0,59	0,664	1,579	11,256	20,9	225	159	82,5	241,5	206	510	5,97	7,16	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
28/abr	0,44	0,178	0,311	0,174	17,34	188	143	6,5	149,5	19,1	60	5,45	7,11	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
05/mai	0,46	0,250	0,459	0,159	17,37	187	142	4	146	10,35	31,5	5,95	7,04	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
12/mai	0,46	0,165	0,307	0,106	17,09	185	142	4	146	14,6	47	7,13	7,1	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
19/mai	0,47	0,174	0,328	0,085	17,16	190	145	3	148	8,6	31	7,07	6,99	Quartzo	
23/mai	0,62	0,715	1,767	41,074	18,98	189	139	269	408	799	1960	7,15	6,92	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
26/mai	0,47	0,295	0,555	0,408	18,8	191	141	8,5	149,5	34	95,5	6,38	7,03	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
02/jun	0,44	0,210	0,374	0,307	17,8	218	164	9,5	173,5	24,8	69,5	6,15	7,13	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
09/jun	0,47	0,203	0,378	0,261	17,79	180	135	8	143	19,6	75,5	5,18	6,78	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
16/jun	0,40	0,156	0,252	0,043	16,75	219	169	2	171	7,82	29	5,28	7,02	Quatzo e Caulinita	
26/jun	0,46	0,174	0,323	0,056	14,26	160	131	2	133	10,75	31,5	5,92	6,73	Quatzo e Caulinita	
30/jun	0,42	0,131	0,221	0,038	16,23	205	160	2	162	7,22	29,5	5,65	6,92	Quatzo	
07/jul	0,40	0,133	0,215	0,046	15,05	216	173	2,5	175,5	6,5	25	6,95	6,74	Quartzo, Illita e Caulinita	
10/jul	0,41	0,137	0,226	0,039	17,01	235	-	2	-	9,5	74,5	3,24	7,09	Quartzo, Illita e Caulinita	
14/jul	0,42	0,104	0,175	0,030	14,03	210	173	2	175	6,5	28,5	3,83	6,92	-	
21/jul	0,41	0,080	0,130	0,011	11,84	192	167	1	168	6	22	5,12	6,95	Quartzo e Caulinita	
28/jul	0,42	0,095	0,161	0,042	14,91	223	179	3	182	8,5	30	4,77	7,21	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
04/ago	0,41	0,074	0,121	0,026	14,47	210	171	2,5	173,5	9,7	36,5	4,6	6,08	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
11/ago	0,40	0,063	0,101	0,101	14,45	238	193	11,5	204,5	24,8	72,5	4,44	6,56	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
18/ago	0,42	0,082	0,137	0,089	16,59	258	200	7,5	207,5	22,5	68,5	4,93	6,71	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
25/ago	0,41	0,044	0,072	0,028	15,3	228	182	4,5	186,5	9,2	28	4,64	6,65	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
01/set	0,44	0,053	0,094	0,081	17,8	283	213	10	223	22,4	77,5	1,91	7,01	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
08/set	0,41	0,059	0,096	0,087	19,1	252	185	10,5	195,5	25	81,5	2,47	7,02	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
15/set	0,44	0,089	0,158	0,177	18,74	276	204	13	217	29	92	2,76	6,64	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
20/set	0,43	0,048	0,082	0,095	20,7	240	170	13,5	183,5	29,6	107	2,06	6,89	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
22/set	0,41	0,057	0,094	0,049	18,68	348	257	6	263	13,5	51	2,9	7,02	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
25/set	0,42	0,072	0,122	0,053	20,04	280	201	5	206	11	39	2,99	6,8	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
26/set	0,50	0,212	0,421	0,800	21,53	314	218	22	240	54,4	156	3,86	7,12	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
06/out	0,39	0,035	0,053	0,023	16,97	227	174	5	179	14,4	44,5	4,31	6,73	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
20/out	0,40	0,006	0,010	0,005	23,59	336	225	6	231	16	47	0,83	6,74	Quartzo, Illita e Caulinita	
27/out	0,44	0,012	0,021	0,011	22,7	401	272	6	278	13	46	1,45	6,95	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
03/nov	0,51	0,209	0,428	2,164	22,98	305	206	58,5	264,5	147,5	418	2,17	6,91	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
10/nov	0,43	0,152	0,260	0,359	21,66	297	206	16	222	59,75	157,5	2,96	6,88	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
17/nov	0,36	0,036	0,052	0,022	18,96	352	259	5	264	11,5	41,5	2,73	6,85	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
24/nov	0,37	0,016	0,023	0,072	22,9	374	253	35,5	288,5	83,8	179	2,61	6,99	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
26/nov	0,67	0,549	1,466	73,015	22,73	266	181	576,5	757,5	1810	4240	3,83	6,94	Quartzo, Montmorolonita , Illita, Caulinita e hematita	
27/nov	0,70	1,031	2,868	62,576	22,42	235	161	252,5	413,5	813	2380	3,25	6,88	Quartzo, Montmorolonita , Illita, Caulinita e hematita	
01/dez	0,44	0,161	0,284	0,270	22,76	426	289	11	300	30,5	85	2,19	7,04	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
08/dez	0,36	0,052	0,075	0,049	22,56	528	360	7,5	367,5	16,3	53	2,45	7,01	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
13/dez	0,49	0,314	0,620	2,357	22,64	412	280	44	324	119	293,5	2,31	7,08	Quartzo, Montmorolonita , Illita, Caulinita e hematita	
15/dez	0,41	0,146	0,238	0,803	21,73	408	283	39	322	97,6	253	2,34	7,07	Quartzo, Montmorolonita , Illita e Caulinita	
22/dez	0,55	0,634	1,385	8,613	24,01	313	207	72	279	213	575	2,51	7,09	Quartzo, Montmorolonita , Illita, Caulinita e hematita	
23/dez	0,97	2,171	8,381	298,341	23	168	114	412	526	1515	4080	1,48	6,61	Quartzo, Montmorolonita , Illita, Caulinita e hematita	

Turbidez > 100 NTU

6.2.2 Análise dos Parâmetros de Qualidade de Água

Os dados de qualidade de água foram expostos em gráficos, mostrando a oscilação dos parâmetros durante o ano de 2014. A análise teve como referencia os padrões de qualidade de água classe 2 determinados na Resolução do CONAMA 357 de 2005.

Através dos parâmetros de condutividade elétrica (CE) e concentração de sólidos dissolvidos (CSD) é possível expressar a salinidade do corpo de água de forma indireta (SUGUIO, 2006). Neste trabalho, adotou-se o CSD expresso em partes por mil (‰) para determinar a salinidade do córrego Assistência, conforme mostra o gráfico 9. De acordo com o padrão brasileiro, a água é considerada doce quando a salinidade mantém-se abaixo de 0,5 ‰, salobra entre 0,5 e 30 ‰ e salgada acima de 30 ‰.

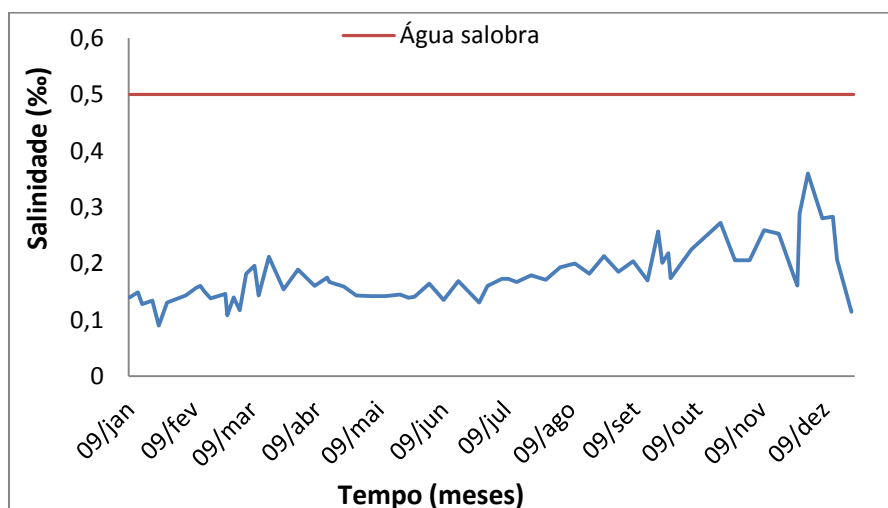


Gráfico 9: Salinidade no córrego Assistência

O córrego Assistência mostrou uma salinidade expressiva com média de 0,15 ‰, nos eventos de cheia e 0,18 ‰ nos períodos secos. Apresentou máxima de 0,36 ‰ em 08 de dezembro.

Na ocorrência de eventos de chuva, a salinidade tende a diminuir, pois ocorre a diluição dos sais com o aumento da vazão. Acredita-se que a salinidade do córrego Assistência deve-se em parte à presença de nutrientes e de minerais solúveis como os sulfatos (gipso e epsomita) e carbonatos (calcita e dolomita), que foram identificados nos difratogramas nos primeiros quatro meses de pesquisa, quando se buscava a melhor forma de obter os sólidos suspensos. Após o ajuste do método, os minerais solúveis deixaram de aparecer no difratograma.

Nos quatro meses iniciais a amostra foi submetida à evaporação total, resultando no fundo do recipiente o material em suspensão bem como o de dissolução, todavia como a quantidade do material de dissolução era maior que o de suspensão nos períodos de estiagem, para se atingir o objetivo principal de qualificar os minerais de argila em suspensão, passou-se a submeter a amostra de água+sedimento a sucessivos processos de decantação para se obter material em suspensão, sendo a água límpida sifonada para fora do sistema de decantação, de modo a remover os solutos.

Os sulfatos (SO_4^{-2}) nas águas superficiais são provenientes da decomposição de matéria orgânica e o intemperismo químico de rochas e solos, com a dissolução do gesso (CaSO_4), do sulfato de magnésio (MgSO_4) e a oxidação da pirita (FeS_2). A presença dos íons carbonatos (CO_3^{-2}) deve-se à dissolução de calcários (CaCO_3).

O gráfico 10 mostra a oscilação do pH, que manteve-se dentro da faixa ótima para a proteção da vida aquática, ou seja entre 6,0 e 7,0 durante todo o ano.

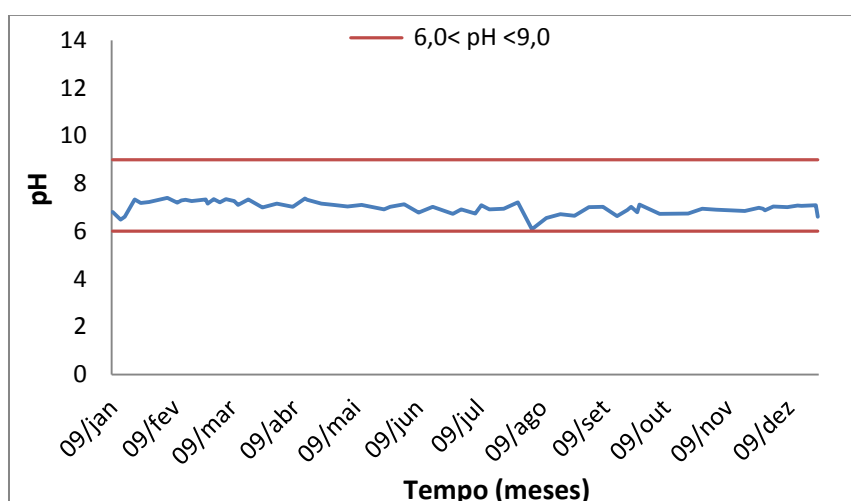


Gráfico 10: pH no córrego Assistência

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) oscilou consideravelmente durante o ano, conforme mostra o gráfico 11. De acordo com a legislação brasileira, os corpos hídricos classe 2 devem apresentar valores de OD superior a 5,0 mg/l, em todas as amostras, no entanto, valores abaixo do padrão recomendado foram frequentes no segundo semestre. A média de OD no córrego Assistência foi de 4,6 mg/l, a mínima registrada foi de 0,83 mg/l, no dia 20 de Outubro e a máxima foi de 7,48 mg/l registrada em 13 de Janeiro.

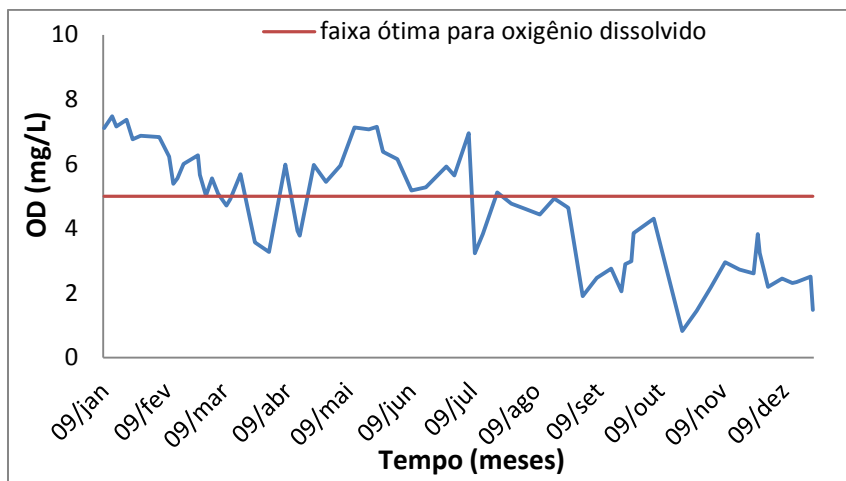


Gráfico 11: Concentração de oxigênio dissolvido no córrego Assistência

Durante as campanhas de campo, nos meses de estiagem, notou-se a proliferação de macrófitas no curdo d'água, sua presença pode estar associada com a queda do OD no segundo semestre de 2014. A figura 20 mostra o início da proliferação da macrófita no córrego, o detalhe apresenta a ilustração da *Pistia stratiotes*.

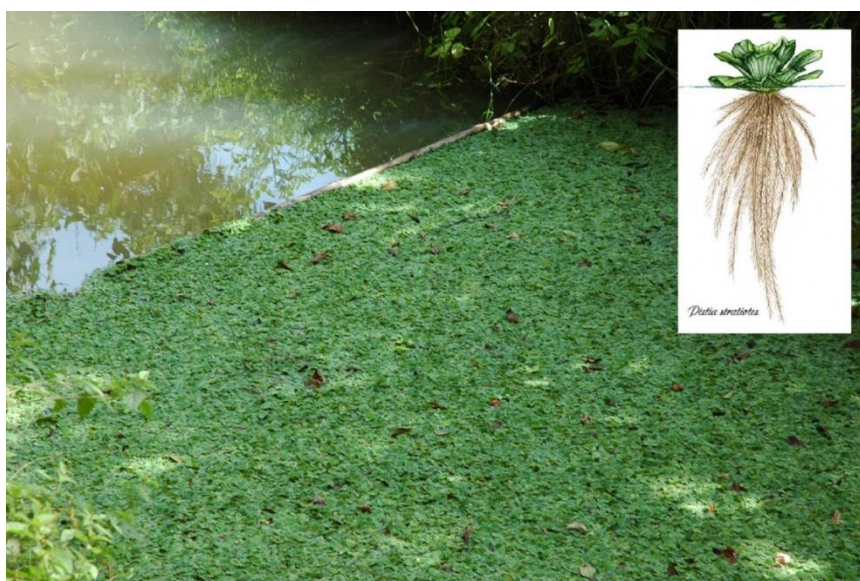


Figura 20: Floração de macrófita nos meses de estiagem - **Fonte:** www.africamuseum.be/collections/external/prelude/view_plant?pi=10095

A macrófita *Pistia stratiotes*, também conhecida como alface d'água, foi notada em meados de junho e somente eliminada com a chegada das chuvas de fim do ano. De acordo com ESTEVES (1998), a redução da turbulência da água e o aumento da concentração de

nutrientes favorecem a proliferação desse vegetal que também está associado a pH elevados. No tempo em que a macrófita proliferou no trecho, elas serviram como filtro, retendo boa parte do sedimento suspenso, principalmente àquele proveniente de pequenas cheias e ressuspensão do material do leito provocado, principalmente, pelo gado.

Quanto aos parâmetros de turbidez e cor verdadeira, ambos obedecem à variação da vazão. Os valores máximos permitidos para esses parâmetros são normalmente excedidos com nos eventos de cheia, como pode ser visto os gráficos 12 e 13.

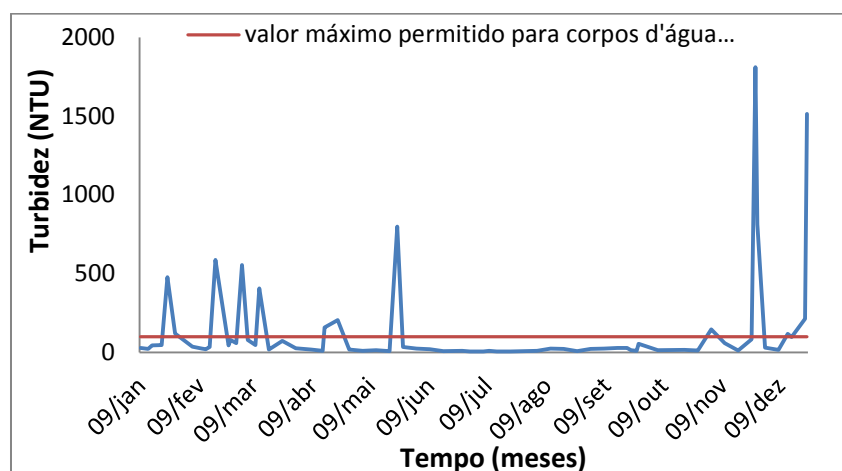


Gráfico 12: Turbidez no córrego Assistência

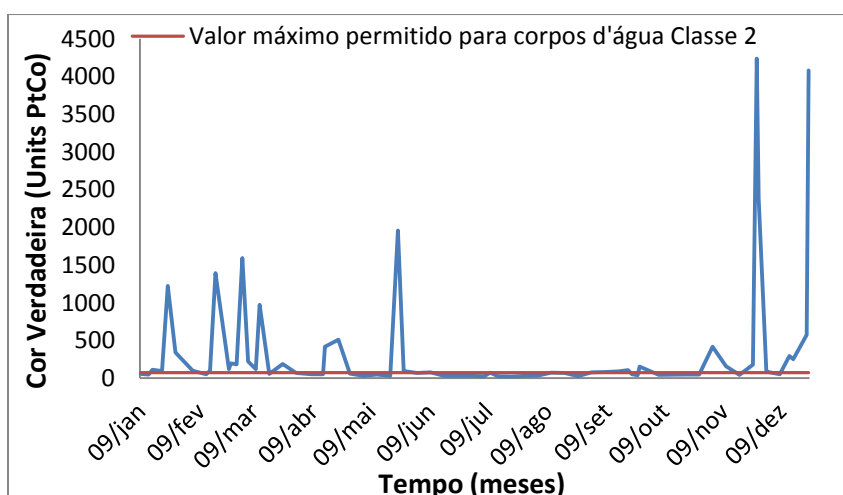


Gráfico 13: Cor verdadeira no córrego Assistência

6.3 Mineralogia dos Sólidos Suspensos no Córrego Assistência

A análise mineralógica dos sedimentos fluviais em suspensão revelou a presença constante de quartzo, montmorillonita, illita e caulinita na fração $< 53 \mu\text{m}$, tanto em eventos de cheia como em tempo seco. Essa observação fica evidente a partir de meados de Abril, quando um ajuste na técnica de se obter os sólidos suspensos eliminou os interferentes (soluto) da amostra. Os difratogramas obtidos até então, principalmente os de tempo seco, apresentavam muitos picos de minerais solúveis, os quais foram apontados apenas àqueles mais prováveis ficando muitos picos sem identificação. Feito o ajuste, os difratogramas passam a expressar o padrão com os minerais citados. A mineralogia dos sólidos suspensos, para cada dia de campanha, está exposta na planilha da figura 15, enquanto os difratogramas estão expostos em ordem cronológica no apêndice.

Ao comparar os difratogramas obtidos nos diferentes cenários (cheia e seca), notou-se que a principal diferença entre eles, estava na quantidade dos minerais transportados, a qual é expressa através da intensidade e da área dos picos dos minerais apontados nos difratogramas. Nos eventos de cheia, são transportadas quantidades significativas de caulinita e illita e também quantidades subordinadas de hematita, conforme mostra a figura 21. Sob influência de tempo seco, os picos de illita e caulinita são menos expressivos, como mostra a figura 22.

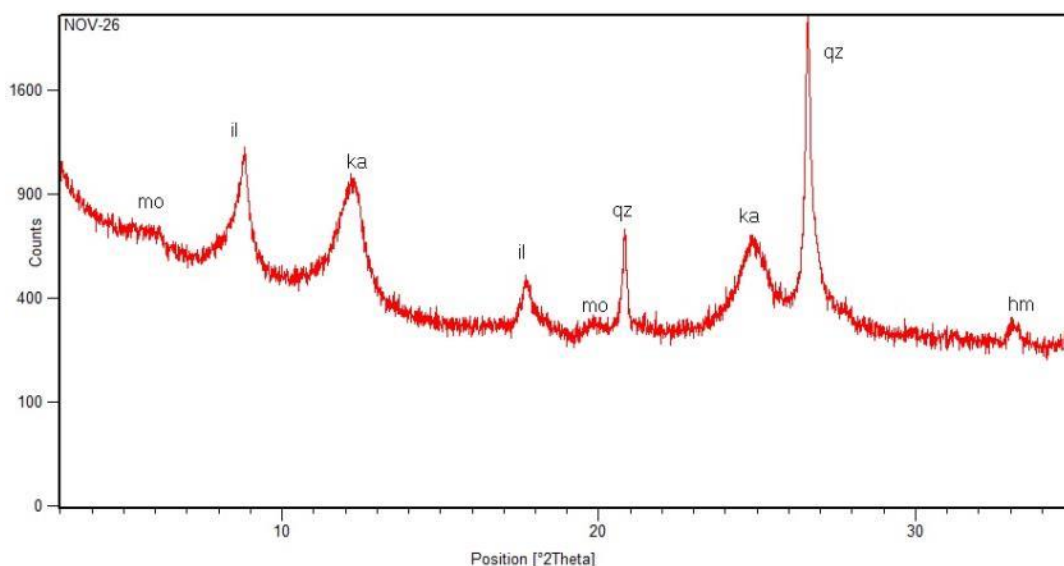


Figura 21: Difratograma típico de eventos de cheia evidenciando quantidade de caulinita pouco superior a de illita, além de quartzo e pequena quantidade de montmorillonita ou interestratificados

Legenda: il= Illita; ka= Caulinita; mo= Montmorillonita; qz=Quartzo; hm=hematita

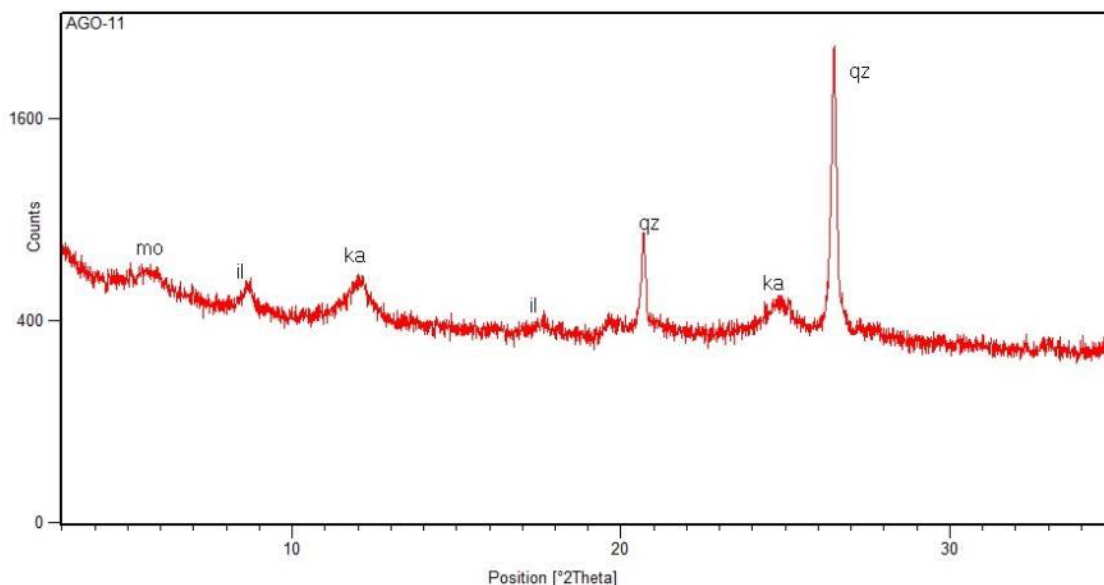


Figura 22: Difratograma típico de tempo seco mostrando picos de caulinita, illita, montmorillonita e quartzo, com predominância de caulinita sobre os outros argilominerais
Legenda: il= Illita; ka= Caulinita; mo= Montmorillonita; qz=Quartzo

Na época de estiagem, a caulinita tende a aparecer em quantidade maior do que a illita (Fig.22). Com as chuvas a quantidade de sedimento é maior e conseqüentemente, no difratograma, os picos dos argilominerais aparecem com maior intensidade, sendo que a quantidade de illita e caulinita tende a ser equivalente (Fig. 21 e Fig. 23).

Na leitura dos difratogramas, geralmente, a caulinita excede em quantidade a illita, pelo fato das áreas fontes de caulinita serem preponderantes sobre as demais, porém em algumas ocasiões a proporção entre os dois argilominerais é semelhante. Neste caso, a quantidade excessiva de illita pode ser um indicador da interferência do setor de mineração na qualidade da água, pois, sendo as áreas fontes de illita, restritas a sítios específicos, não é esperado encontrar quantidades tão elevadas desse material entre os sedimentos fluviais. Porém deve-se considerar que esse material também pode ser proveniente da remobilização de depósitos antigos, reportando uma carga de sedimentos do passado, ou ainda ser proveniente das estradas rurais utilizadas no transporte do minério argiloso que são cascalhadas com o material estéril da mina.

Através da análise específica do evento hidrológico do dia 03 de novembro (Fig. 23), foi possível examinar a proveniência da carga de illita, que neste evento mostrou-se equivalente à carga de caulinita. Primeiramente, notou-se que esse evento corresponde à primeira chuva significativa depois de uma severa estiagem, depois, notou-se que os valores de hidrometria foram os menores registrados dentre os eventos de cheia (turbidez > 100 NTU), a vazão

líquida foi de 0,43 m³/s, a velocidade média do escoamento fluvial de 0,21 m/s e a descarga sólida foi de 2,16 t/dia.

Frente a esses dados foi possível descartar a proveniência da illita de antigos depósitos no canal fluvial, pois a propriedade de remobilizar o material de fundo do córrego é determinada pela velocidade de escoamento fluvial, que nesse evento específico foi relativamente baixa. Também, deve-se descartar a proveniência desse material das minas e pátios de secagem, pois a contribuição dessas áreas exigem eventos extremos de precipitação, capazes de gerar escoamento superficial suficiente para transporem as caixas de decantação. O mais provável é que essa carga de illita seja proveniente de estradas rurais utilizadas no transporte de argila e, principalmente, da lavagem das folhas dos vegetais e remoção da poeira depositada na superfície do terreno, provenientes das atividades de extração, secagem e transporte do minério e da circulação de veículos pelas estradas não pavimentadas da região. No período de chuva a quantidade de illita pode até ser equivalente a da caulinita, evidenciando participação significativa de particulado proveniente de rochas da Formação Corumbataí (minério de argilas utilizados pelas cerâmicas do PCSG e material utilizado para cascalhar as estradas da região que se trata de rejeito da mineração).

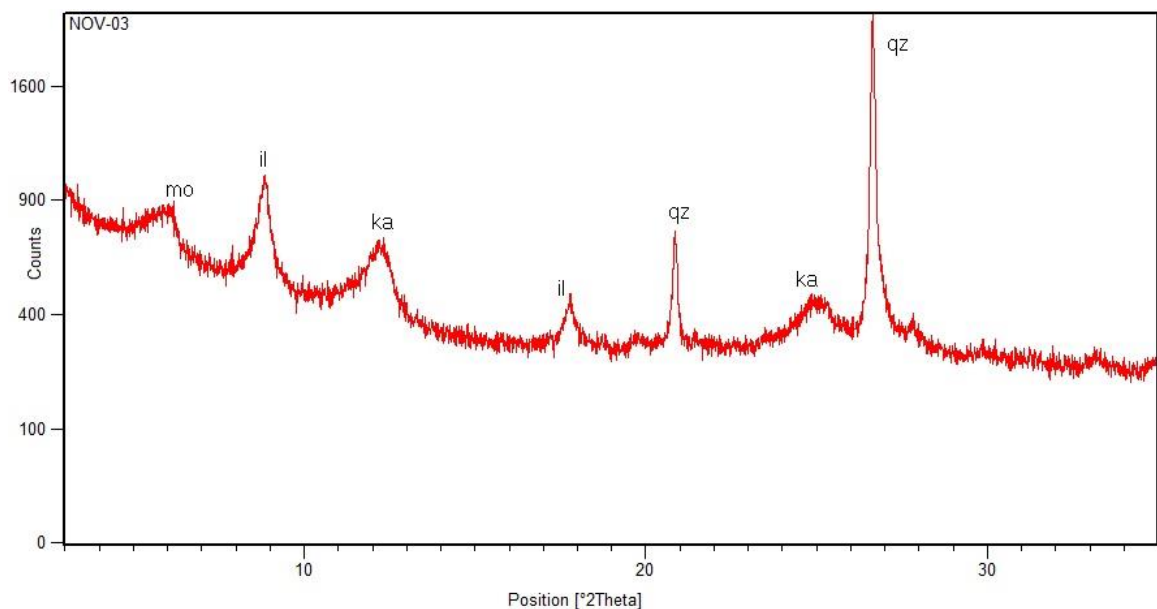


Figura 23: Difratograma em que a proporção de caulinita e illita é semelhante com participação significativa de montmorillonita/interestratificado e quartzo.

Legenda: il= Illita; ka= Caulinita; mo= Montmorillonita; qz= Quartzo

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese em pauta, fundamentada a partir do levantamento bibliográfico da composição mineralógica da litologia e pedologia local forneceu informações imprescindíveis sobre a transformação dos argilominerais no manto de alteração. Com a análise da mineralogia dos solos da área de estudo em difratômetro de raios X, foi possível confirmar as informações levantadas. Dessa forma, a hipótese de que a presença de illita entre os sedimentos suspensos pode ser um indicador da interferência dos empreendimentos de mineração de argila no ambiente fluvial é confirmada.

A partir da confirmação da hipótese foi determinada a origem dos sólidos suspensos identificados no exutório da bacia hidrográfica do córrego Assistência. A *caulinita* foi definida como proveniente da erosão superficial do solo, em decorrência de atividades agrícolas, movimentação de veículos e outras atividades antrópicas. A *illita*, praticamente ausente no solo, é um bom indicador da contribuição de materiais derivados da rocha sã, isto é, aquele proveniente das áreas de minerações (minas e pátios de secagem), estradas cascalhadas com o material estéril das minas e poeira produzida na operação desses empreendimentos. A *montmorillonita* também pode ser associada às áreas de mineração, bem como ao rejeito colocado nas estradas, trata-se de um material proveniente da zona de alteração da rocha, disponível em áreas de afloramentos rochosos e de processos erosivos profundos.

A pesquisa foi executada em um cenário atípico de seca extrema que caracterizou o ano de 2014, essa condição certamente foi determinante nos processos de transporte de sedimento, reduzindo significativamente a quantidade de sedimentos removidos para fora da bacia hidrográfica. Neste ano, a média de material mobilizada da bacia hidrográfica do córrego Assistência para o rio Corumbataí foi cerca de 3.680 t. A descarga de sólidos suspensos, observada durante os eventos de picos de vazão foram elevados, com média de 50 t/dia, essa carga reduz consideravelmente em tempo seco, cuja média foi de 0,45 t/dia. Quanto à produção específica de sedimento, a média foi de 98,18 t/km².ano, valor considerado moderado que expressa as condições de uso e ocupação da bacia hidrográfica e ausência práticas conservacionista eficientes.

O córrego Assistência mostrou-se bastante influenciado pelo material proveniente da erosão do solo (caulinita) e das áreas de minerações de argila (illita). Geralmente, a proporção entre caulinita e illita varia com a ocorrência de chuva. Em tempo seco, quando o fluxo de

sedimento é pouco significativo, a quantidade de caulinita é superior, devido ao fato desse mineral estar presente em maior quantidade no solo onde corre a drenagem. Adicionalmente a este aspecto, tem-se o fato de que a caulinita, de modo geral, apresenta granulação média e densidade inferior ao da illita, possibilitando que esta fase mineral fique mais tempo suspensa no ar e atinja maior distância, podendo chegar em maior quantidade no curso da água, utilizando o ar como veículo. Quanto à presença de illita em tempo seco, mesmo que em pequena quantidade, sua ocorrência indica a interferência do setor de mineração no ambiente fluvial.

Já em eventos de cheia, momento de maior fluxo de sedimento, a proporção entre illita e caulinita tende a ser equivalente, porém ao observar o uso e ocupação do terreno, é esperado que a caulinita fosse preponderante sobre os demais sedimentos, no entanto a carga expressiva de illita indica que as rochas que compõem a Formação Corumbataí (minério e rejeito colocado nas estradas) chegam a representar quase que a metade da carga em suspensão do córrego Assistência em época de chuva. Fato que demonstra que o setor de mineração contribui significativamente com a descarga sólida e o aumento da turbidez a jusante dos empreendimentos.

Outra conclusão obtida refere-se à poeira como o principal mecanismo de remoção do particulado das áreas de mineração (minas e pátios de secagem) disponibilizando esse material para o escoamento superficial. A poeira em sua grande maioria deposita-se na vegetação e superfície do terreno e chega à drenagem transportada pelas águas de chuva, com pequena quantidade depositando diretamente na calha fluvial. Referência similar pode ser feita com a poeira das estradas, onde a caulinita (solo) também está presente em parte do material de capeamento, juntamente com cacos de cerâmica e rejeito de mineração de argila.

Com base no exposto, é pertinente acrescentar que para diminuir a turbidez das águas dos corpos hídricos de superfície da região, além das ações mitigadoras atualmente adotadas, é necessário diminuir a poeira das atividades diretamente ligadas à mineração, bem como das outras atividades (agrícolas, circulação de veículos, industriais, etc.), assim como o controle do escoamento superficial das águas pluviais (curvas de nível e caixas de contenção/decantação) nas áreas de ocupação agrícola e pastoril, e medidas mitigadoras similares nas estradas da região.

O monitoramento da quantidade e qualidade dos sedimentos transportados pelo córrego Assistência a longo prazo é primordial para gerar informações sobre o transporte de

sedimento nas bacias hidrográficas que compõe o PCSG e avaliar a eficiência dos programas de controle de sedimentos implantados nas áreas fontes.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AZEVEDO, A. C. – **Mineralogia De Solos** – USP/ESALQ/LSO, Piracicaba, [2007?] data provável.
- BERNARDES, E. S. **Diagênese da Formação Corumbataí na Mina Partezani, Rio Claro – SP.** 2005. 127p. Tese (Doutorado em Geologia Regional), IGCE/UNESP, Rio Claro, 2005.
- BONUMÁ, N. B. – **Avaliação da qualidade da água sob impacto das atividades de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra** – Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFSM, RS, 2006.
- BONUMÁ, N. B.; GASTALDINI, M. C. C.; PAIVA, J. B. D. - **Análise da Carga Difusa de Poluição Gerada por Atividades de Mineração** - RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos - Volume 13 n. 3 Jul/Set 2008, p.105 – 115
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. – Capítulo 05: **Monitoramento de Quantidade e Qualidade das Águas** – Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação / Organizadores Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi – 3 ed. – São Paulo: Escrituras Editora, 2006. pag. 145-160
- CARVALHO, F.T.; VELINI E. D.; CAVENAGHI, A. L.; NEGRISOLI, E. e CASTRO, R. M. – **Influência da Turbidez da Água do Rio Tietê na Ocorrência de Plantas Aquáticas** - Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 359-362, 2005
- CARVALHO, N. O – **Hidrossedimentologia Prática** – Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 375 p.
- CARVALHO, N. O. & CUNHA, S. B. – **Estimativa de carga sólida do rio Amazonas e seus principais tributários para a foz e oceano: Uma retrospectiva** – Águas em Revista, v.6, n.10, p.44-58, 1998
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: ANEEL. 2000
- CARVALHO, S. G.; NARDY, A. J. R.; OLIVEIRA, M. A. F. SOARES, P. C.; ZANARDO, A.; ANTONIO, M. C. **Aspecto Geológico e Litoquímicos dos Sills Borda da Mata e Limeira-Cordeirópolis (SP): Resultados Preliminares** – Análs do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA, V.3, P.1281-1292, 1988.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – **Norma Técnica D7.012 – Mineração por Escavação: Procedimento** - São Paulo, SP, 1990
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013** [recurso eletrônico] / CETESB - São Paulo : CETESB, 2014.
- CHRISTOFOLLETI, S. R. **Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Pólo Cerâmico de Santa**

Gertrudes. 2003. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociencias e Ciencias Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003

CHRISTOFOLETTI, S. R. & MORENO, M. M. T. – **Sustentabilidade na Mineração do Polo de Santa Gertrudes, São Paulo – Brasil** - Cerâmica Industrial, 16 (3) Maio/Junho, p 03, 2011.

CONCEIÇÃO, F. T. & BONOTTO, D. M. – **Dose de Exposição Radiométrica e Composição Das Rochas Sedimentares e Ígneas na Bacia do Rio Corumbataí** – Revista Brasileira de Geofísica, v. 24(1), p. 37-48, 2006.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005** - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providencias.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - **Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011** - Dispõe Sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Contempla e Altera a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.

CONTE, M. L. & LEOPOLDO, P. R. – **Avaliação de recursos hídricos: Rio Pardo, um exemplo** – São Paulo: Editora UNESP, 2001.

COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL, INSTITUTO GEOLÓGICO, SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – **Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo da UGRHI 5** – Escala 1: 25.000, 2013.

COSTA, M. N. S. **Diagênese e alteração hidrotermal em rochas sedimentares da formação Corumbataí, Permiano Superior, Mina Granusso, Cordeirópolis/SP**. Rio Claro, 2006, 140p. Tese (Doutorado em Geologia Regional), IGCE/UNESP, Rio Claro, 2006.

COSTA, M. N. S.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T. **Características Químicas Mineralógicas e Ceramicas das Argilas da Mina Granusso, Cordeirópolis – SP**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.12, n. 1/2, p.22-26, 2007.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – **Definição e Classificação Norte Americana e da Comunidade Europeia**, 2012, Disponível:<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1385&sid=46> – Acesso em: 10/12/2014.

CUNHA, C. M. L – **A Geomorfologia da Bacia do Rio Corumbataí** – Cenário em Ação: Paisagem do Rio Corumbataí – SP – Organizadora: Magda Adelaide Lombardo. Rio Claro, UNESP/IGCE – Departamento de Geografia, 2007

DOS ANJOS, C. W. D.; GUIMARÃES, E. M. e SOUZA, P. A. **Mineralogia e Palinologia de Níveis de Folhelhos Negros da Formação Irati (Permiano) nas Porções Norte e Sul da Bacia do Paraná** – Resumo expandido publicado XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisas do Solo – Rio de Janeiro - **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2ºEd.** – Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2006.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia** – Editora Interciencia 2º Edição, Rio de Janeiro, 1998. p107

FARIA, C. E. G. **A mineração e o meio ambiente no Brasil** - Relatório Preparado para o CGEE – CT Mineral Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral - Outubro de 2002

FREIRE, C. C.; OMENA, S. P. F. – **Princípios de Hidrologia Ambiental** – Cartilha desenvolvida utilizando como material de apoio os conteúdos elaborados para o Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos UFSC/UFAL, com financiamento do CNPq, no ano de 2005.

GIMENEZ, N. B. - **Estudo Petroológico dos Arenitos da Formação Tatuí no Estado de São Paulo**. São Paulo, 174p. Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp, Campus de Rio Claro, 1996.

IDEQ - **Guide to Selection of Targets for Use in Idaho TMDLs**. M. Rowe, D. Essig and B. Jessup. June 2003.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – **Análises petrográficas e mineralógicas de rochas procedentes de Itapetininga, Laranjal Paulista, Limeira, Ipeúna, Rio Claro e Piracicaba (SP)**. São Paulo, IPT, 1982

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – **Formulação do Plano Diretor de Mineração dos Municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Ipeúna, Iracemápolis e Rio Claro: Relatório Final** – 29 de maio de 2012

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. – **Grandes sistemas fluviais tropicais: Uma visão geral** – Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, Nº1, p.01-18, 2005.

LIBOS, M. I. P. C; ROTUNNO, O. F; ZEILHOFER, P. **Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuibá baseada em geoprocessamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. v. 8, n. 4, p. 113 -135

MASSON, M. R. **Rochas da Formação Corumbataí como matéria prima para indústria cerâmica de revestimentos: sua influência na qualidade dos produtos**. Rio Claro, 1998. 143 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). IGCE/UNESP. Rio Claro, 1998.

MECHI, A. e SANCHES, D. L. - **Impactos Ambientais da Mineração no Estado de São Paulo**. Estudos Avançados, v. 24, n. 68, p. 209 a 220, 2010.

MELLO, N. A. Capítulo 02: **Relação entre a Fração Mineral do Solo e Qualidade de Sedimentos – O Solo como Fonte de Sedimentos** – Qualidade de Sedimentos: Revisado e Ampliado / POLLETO, Cristiano & MARTEN, Gustavo Henrique (Org.) - Porto Alegre: ABRH, 2013

MILLER, J. R. & MILLER, S. M. **O Contaminated Rivers: A geomorphological-geochemical approach to site assessment and remediation**. Springer: Netherlands, 2007, 418p.

MINELLA, J. P. G. e MARTEN, G. H – **Monitoramento de Bacias Hidrográficas para Identificar Fontes de Sedimentos em Suspensão** – Ciência Rural - Santa Maria, RS - v.41, n.3, p. 424-432, mar, 2011.

MINELLA, J. P. G.; MARTEN, G. H.; CLARKE, R. T. - **Método “fingerprinting” para identificação de fontes de sedimentos em bacia hidrográfica rural** – Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Campina Grande, PB - v.13 p.633-638, 2009.

MINELLA, J. P.G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. – **Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields**. Journal of Hydrology, v. 348, 2008,p. 546-63.

MONTEIRO, C. A. F. - **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IGEOG/USP, 1973.

MONTEIRO, R. L. & GOMES, C. B – **Características Petrográficas e Químicas de uma Intrusão Básica Localizada no Município de Tanquinho, SP** - Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA, V.3, P.1311-1325, 1988.

NOBRE, C. – **A era dos extremos** – Jornal da Unicamp - Campinas, 27 de abril de 2015 a 10 de maio de 2015 – ANO 2015 – Nº 623

NOVOTNY, V. - **Urban diffuse pollution: sources and abatement** – Water Environment & Technology, v.3, n. 12, p. 60-65, 1991.

NUVOLARI, A. – **Dicionário de Saneamento Ambiental** – São Paulo: Oficina de Texto, 2013.

OLIVA, A. & KIANG, C. H. – **Caracterização Hidroquímica de Águas Subterrâneas no Município de Rio Claro – SP** – XII Congresso de Brasileiro de Águas Subterrâneas – 2002.

OLIVEIRA, A. T. C. – **Dinâmica na Matéria Particulada em Suspensão na Plataforma Continental Minhota – Sua Relação com a Cobertura Sedimentar** - Tese (Doutorado) Universidade do Algarve, Faro p.199, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. - **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos**. II Memorial descritivo. Campinas, Instituto Agronomico, p.118, 1984.

OTGM – **Ordenamento Territorial Geomineiro no Estado de São Paulo – Treinamento: Bases conceituais e técnicas** – Realização: Secretaria de Energia do Estado de São Paulo – Subsecretaria de Mineração do Estado de São Paulo/ IPT / DNPM / SINCER / ASPACER – Santa Gertrudes, SP 25/06/2014.

OWENS, P. N. Chapter 01: **Sediment Behaviour, Functions and Management in River Basins** - In Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment Management at the River Basin Scale - Edited by Philip N. Owens: Elsevier, 2008;

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L. - **Alterações hidrogeomorfológicas devido à dinâmica de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes (SP)** – Revista Brasileira de Geociência, volume 42 (supl 1): p. 70 – 83, dezembro de 2012.

PEIXOTO, J. **Laboratórios de Tecnologias Ambientais: Análise físico-químicas** - Documento adaptado das aulas de Elementos de Engenharia do Ambiente – Universidade do Minho, Portugal, 2007.

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V.; FILHO, O. A. – Capítulo 02: **Geologia e Solos**. ASHBY, M. F. - Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gaspareto Fernandes Cunha. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2013;

POLETO, C – Capítulo: 05 – **Sedimentometria fluvial** – Bacias hidrográficas e recursos hídricos / organização Cristiano Poleto – 1º ed. Editora, Rio de Janeiro: Interciência, 2014 - 272 p.

POLETO, C. & CASTILHOS – Capítulo 06: **Impacto por Poluição Difusa de Sedimento em Bacias Urbanas** – POLLETO, Cristiano (Org.) Ambiente e sedimentos. Porto Alegre: ABRH, 2008.

PORTO, M. F. A. – **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In Drenagens Urbanas, ABRH: 1ºed.; 428p.; 1995.

PORTO, M. F. A. & PORTO, R. L. L. – **Gestão de Bacia Hidrográfica** – Estudos Avançados 22 (63), 2008 p.43-60.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. – Capítulo 07: **Intemperismo & Erosão** - Para Entender a Terra - Traduzido e coordenado por MENEGAT, R. - Porto Alegre, RS - Artmed Editora S.A, 4º Edição, 2006;

RAMOS, A. N. & FORMOSO, M. L. L. Clay mineralogy of the sedimentary rocks of the Paraná Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 6, nº1, p. 15-42, 1976.

REIS, A.; PARKER, A. e ALENCOÃO, A. – **Avaliação da Qualidade de Sedimentos em Rios de Montanha: Um caso de Estudo no Norte de Portugal** – Recursos Hídricos – Associação Portuguesa Dos Recursos Hídricos, v.31#01 p.87 a 97, 2010.

REIS L. V. S. **Mananciais de abastecimento público: Algumas experiências**. CETESB – Palestra conferida em 2009. Disponível em: http://www.mpgp.br/portalweb/hp/9/docs/palestra_dra._lucia.pdf – Acessado em 11/01/2014.

REIS, L. F. R. & BRANDÃO, J. L. B. – Capítulo 11: **Impactos ambientais sobre rios e reservatórios** - ASHBY, M. F. - Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e

gestão/coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gaspareto Fernandes Cunha. – Rio de Janeiro, Elsevier, 2013.

ROCHA, R. R. **Estudo do comportamento reológico de suspensões argilosas da Formação Corumbataí**. Rio Claro, 2007, 100 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). IGCE/UNESP.

ROCHA, R. R.; ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T.; SOUZA, C. E. M. – **Comparação das características mineralógicas da Formação Corumbataí com uma massa para revestimento cerâmico via úmida** – Disponível em http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105277.pdf - Acessado em 19/02/2014.

RODRIGUES, D.B.B.; MEDIONDO, E. M. – Capítulo 03: **Bacias Hidrográficas: Caracterização e Manejo Sustentável** – ASHBY, M. F. - Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gaspareto Fernandes Cunha. – Rio de Janeiro, Elsevier, 2013.

ROVERI, C. D. – **Petrologia aplicada da Formação Corumbataí (região de Rio Claro - SP) e produtos cerâmicos** – Tese (Doutorado) – IGCE/UNESP, 2010.

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* [online]. v. 53, nº 328, p.436-441, 2007.

SARI, V.; POLETO, C.; CASTRO, N. M. R. – **Caracterização dos processos hidrossedimentológicos em bacias rurais e urbanas** – Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.16, p 596, 2013.

SCAPIN, M. A. – **Aplicação da difração e fluorescência de raios X (WDXRF): Ensaios em argilominerais** – Dissertação de Mestrado - IPEN/USP, 2003.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003. Pag. 114.

SUGUIO, K. – **Água / Kenitiro Suguio** – Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2006 pag. 119.

SEMAE - Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba - Departamento de Produção e Tratamento de Água - **Seminário de Saúde Ambiental realizado pela Câmara Técnica de Saúde Ambiental dos Comitês PCJ** – Data do seminário 03/04/2012. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm#>.

TAUK-TORNISIELO, S. M.; DOMINGOS, R. N.; GOBBI, N. – **Qualidade da Água de um Setor do Rio Corumbataí no Período de Seca** - CEA/UNESP, Rio Claro, SP, 1998.

TAUK-TORNISIELO, S. M. & PALMA-SILVA, G. M. – Capítulo 03: **Condições Climáticas, Solo e Cobertura Vegetal** - TAUK-TORNISIELO, Sâmia Maria. & ESQUIEIRRO, José Carlos (Org.) **Bacia do Rio Corumbataí: Aspectos Socioeconômicos e Ambientais** - Consórcio PCJ, 2008.

TAYLOR, K.G.; OWENS, P. N.; BATALLA, R. J.; GARCIA, C. – Chapter 04: **Sediment and Contaminant Sources and Transfers in River Basins** - In Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment Management at the River Basin Scale - Edited by Philip N. Owens: Elsevier, 2008;

US EPA - Environmental Protection Agency – **Developing water quality for suspended and bedded sediments (SABS): Potential Approaches** - Office of Water / Office of Science and Technology, August, 2003.

VALENTE, R. O. A. – **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG** – Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba, Piracicaba, 2005. P.22

WARD, A. D. & ELLIOT, W. J. – **Environmental hydrology**. Lewis Publishers, USA, 1995.

WHITE, S. M. & APITZ, S. E. – Chapter 03: **Conceptual and Strategic Frameworks for Sediment Management at the River Basin Scale** – In Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment Management at the River Basin Scale - Edited by Philip N. Owens: Elsevier, 2008;

YAMAMOTO, J. K. ; MONTANHEIRO, T. J. & HACHIRO, J. – **Tripoli no Subgrupo Irati: Ocorrência de Ipeúna, Estado de São Paulo** – Revista Brasileira De Geociência, 34(1) 35 – 40, março de 2004.

ZAINE, J. E – **Mapeamento Geológico-Geotécnico por Meio do Método Detalhamento Progressivo: Ensaio de Aplicação na Área Urbana do Município de Rio Claro – SP** – São Paulo - Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000.

ZANARDO, A. - **Pesquisa Geológica e de Matérias Primas Cerâmicas do Centro Nordeste do Estado de São Paulo e Vizinhanças - Sistematização Crítica da Produção Técnico – Científica. Rio Claro**, 2003, 283 p. Tese (Livre Docência). Instituto de Geociências e ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T.; ROVERI, C. D.; MASSON M. R.; BERNARDES, E. S. – **Petrografia na Formação Corumbataí na Região de Rio Claro, SP** – 42º Congresso Brasileiro de Geologia, 2004. Anais do congresso Brasileiro de Geologia, 2004. Versão digital disponível em: http://sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/2004-ARAXA/02_344_ZANARDOA.pdf

ZANARDO, A.; MORENO, M. M. T.; ROVERI, C. D. ; ROCHA, R. R. da . **Critérios de Avaliação de Intemperismo e sua Relação com as Propriedades Tecnológicas das Matérias-Primas Cerâmicas da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro - SP)**. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 53, 2009, Guarujá. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2009, v1. CD-ROM, 1-12.

ZAPATA, F. **Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002. 219p.

APÊNDICE

Difratogramas dos sólidos suspensos do córrego Assistência

Todos os difratogramas obtidos na análise mineralógica dos sólidos suspensos do córrego Assistência, durante a campanha do ano de 2014, estão expostos em ordem cronológica e identificados quanto à ocorrência de eventos de cheia.

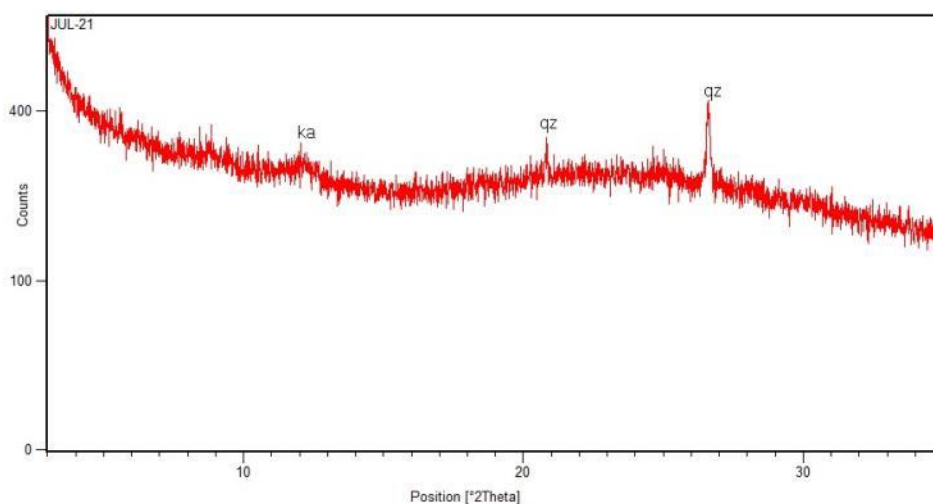


Figura 01: Difratograma referente ao dia 09/01/2014 – tempo seco

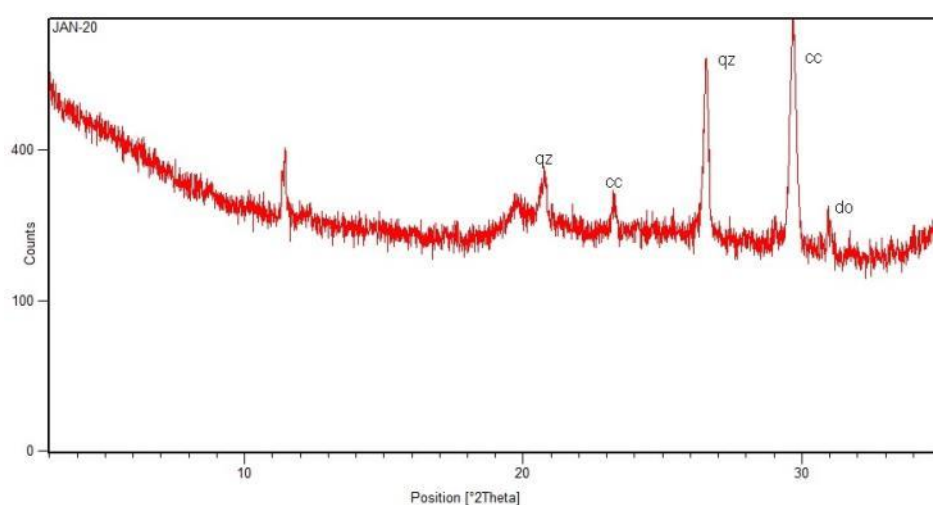


Figura 02: Difratograma referente ao dia 20/01/2014 – tempo seco

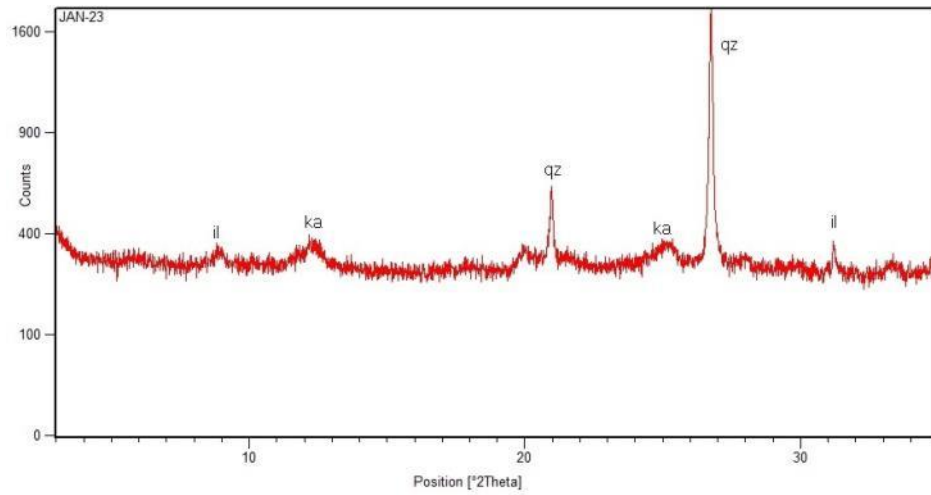


Figura 3: Difratoograma referente ao dia 23/01/2014 – evento de cheia

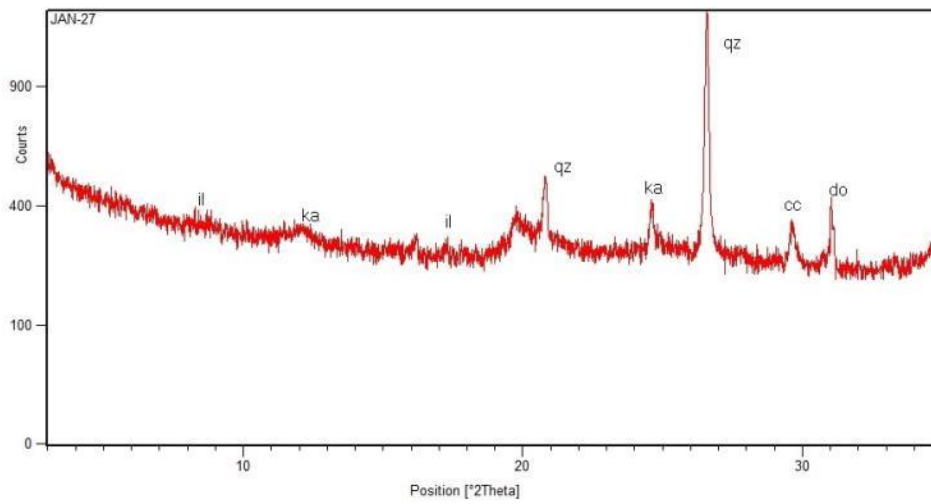


Figura 4: Difratoograma referente ao dia 27/01/2014 – evento de cheia

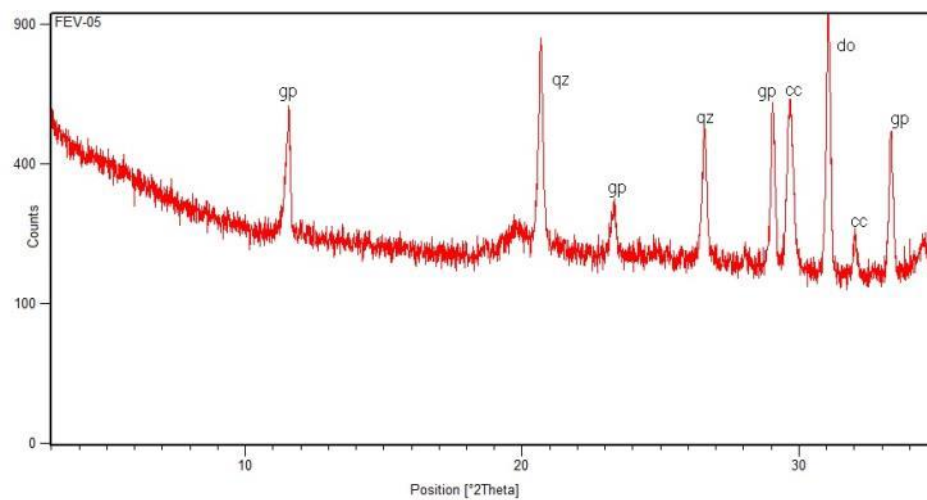


Figura 5: Difratoograma referente ao dia 05/02/2014 – tempo seco

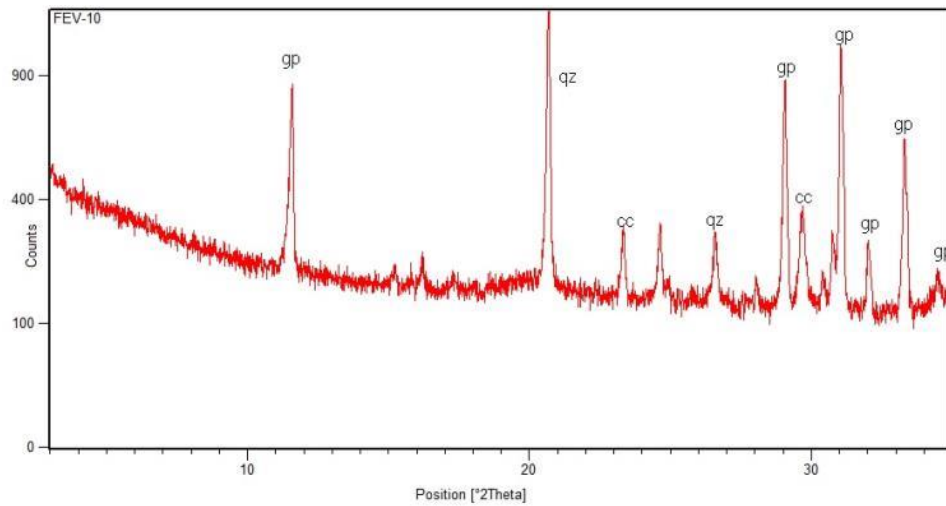


Figura 6: Difratoograma referente ao dia 10/02/2014 – tempo seco

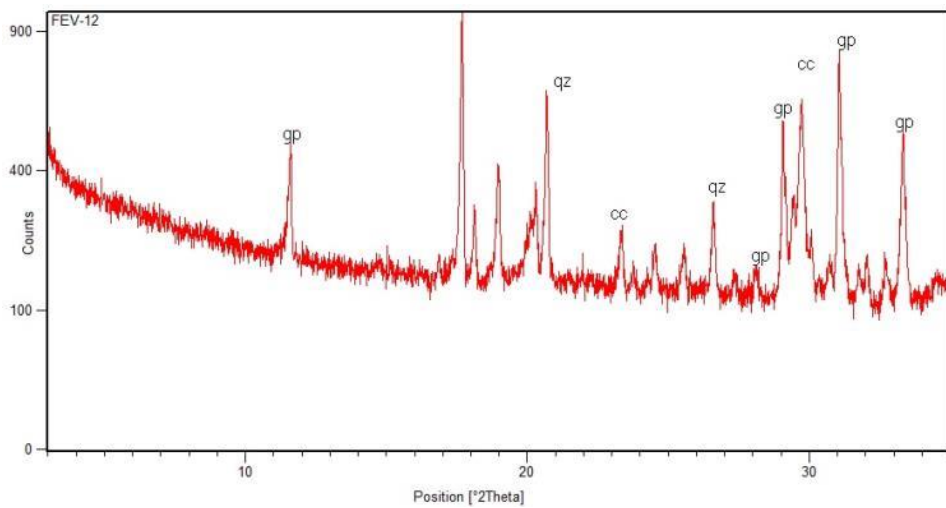


Figura 7: Difratoograma referente ao dia 12/02/2014 – tempo seco

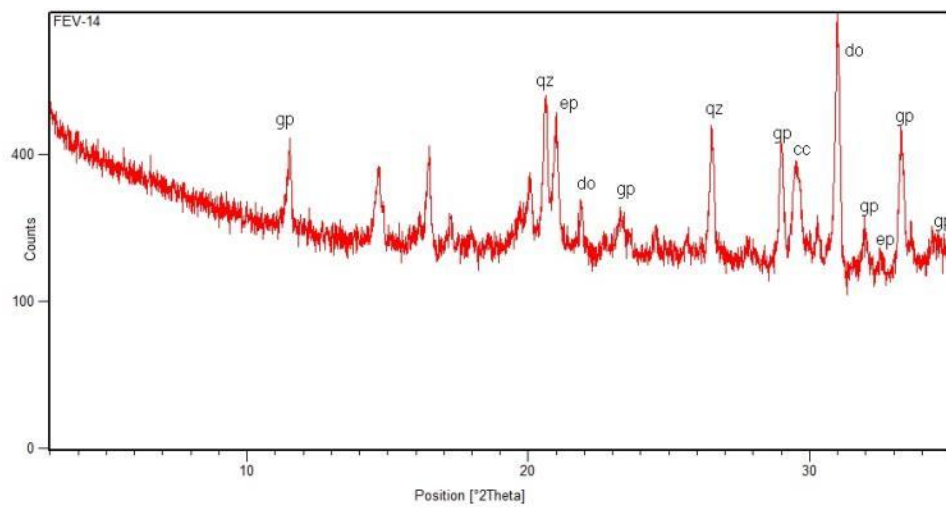


Figura 8: Difratoograma referente ao dia 14/02/2014 – tempo seco

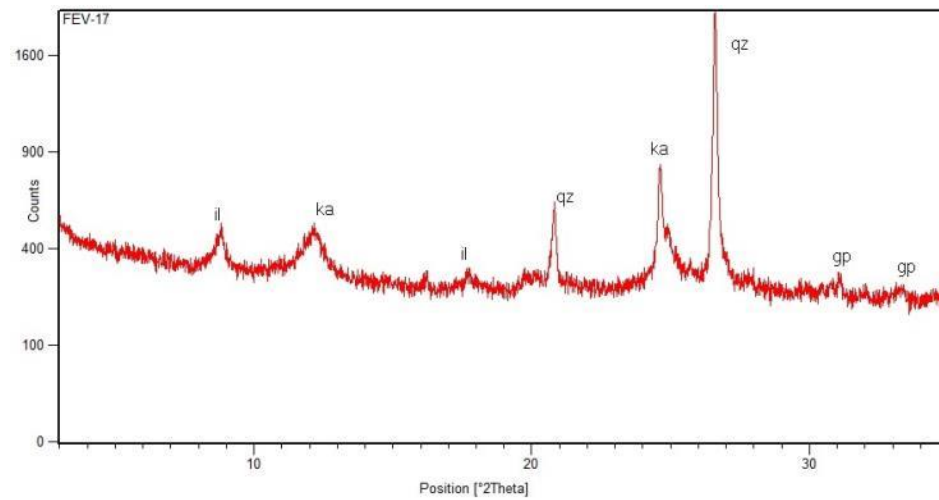


Figura 9: Difratoograma referente ao dia 17/02/2014 – evento de cheia

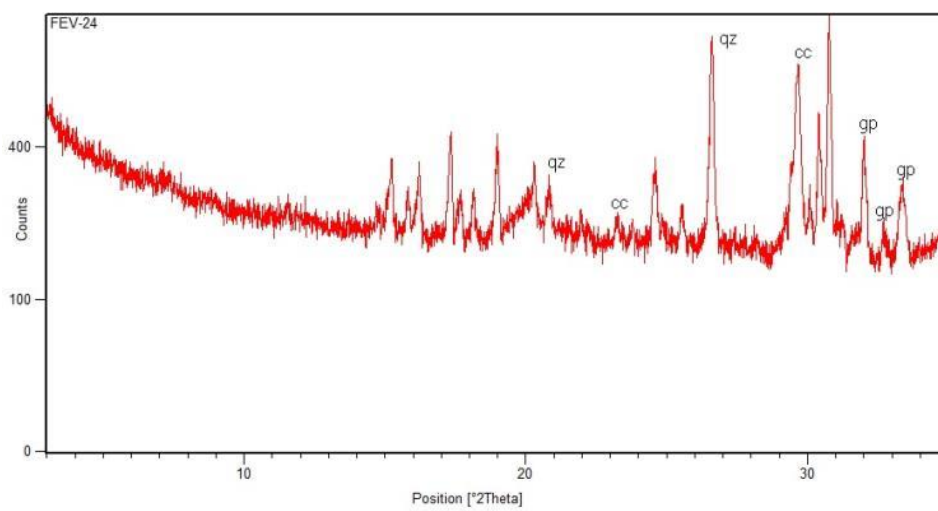


Figura 10: Difratoograma referente ao dia 24/02/2014 – tempo seco

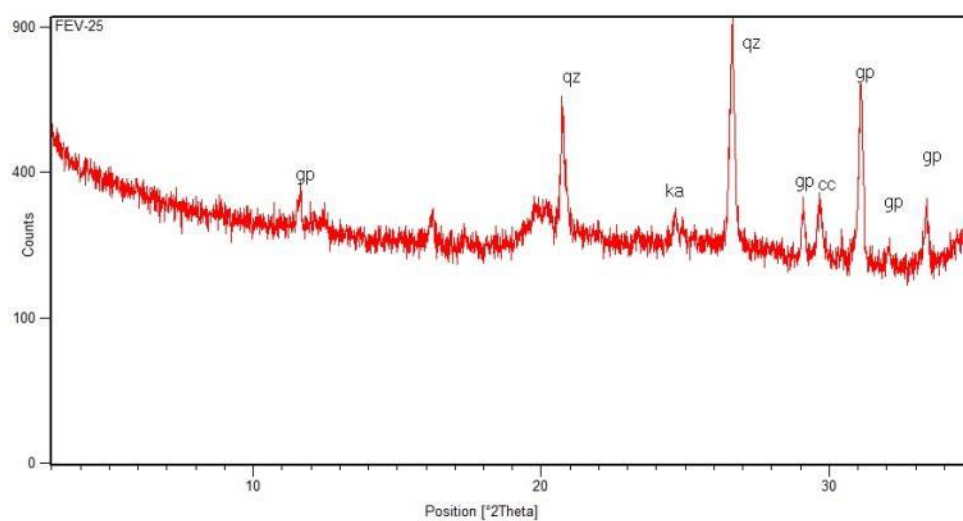


Figura 11: Difratoograma referente ao dia 25/02/2014 – tempo seco

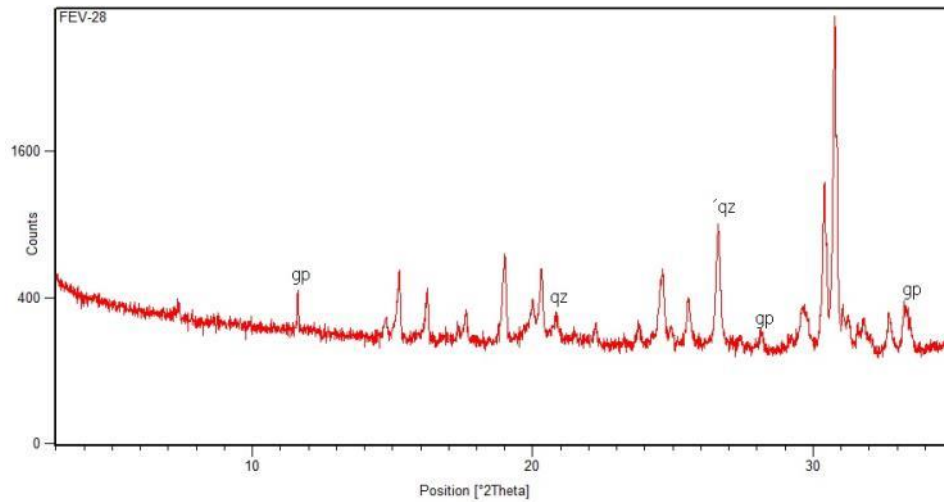


Figura 12: difratograma referente ao dia 28/02/2014 – tempo seco

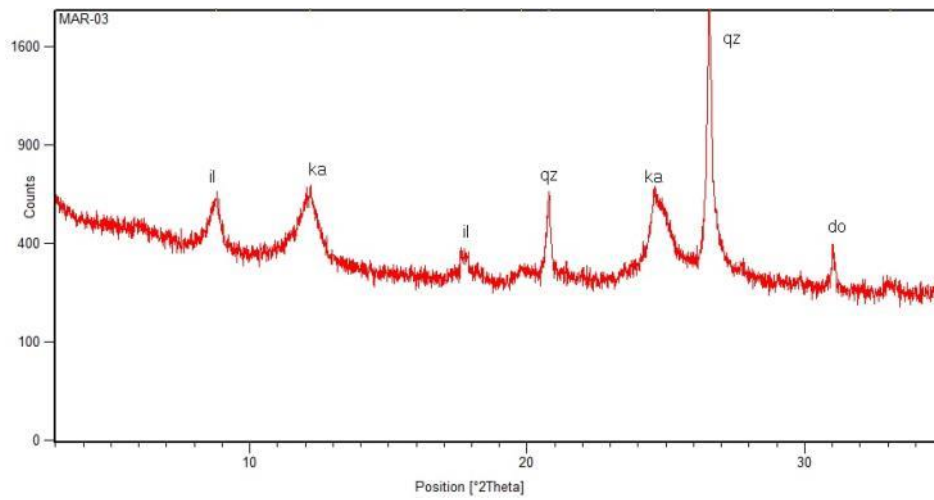


Figura 13: Difratograma referente ao dia 03/03/2014 – evento de cheia

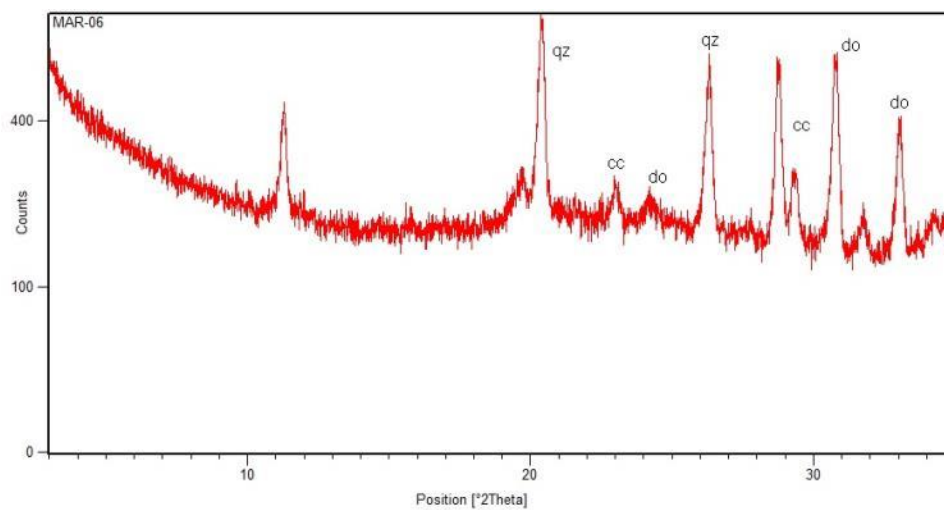


Figura 14: Difratograma referente ao dia 06/03/2014 – tempo seco

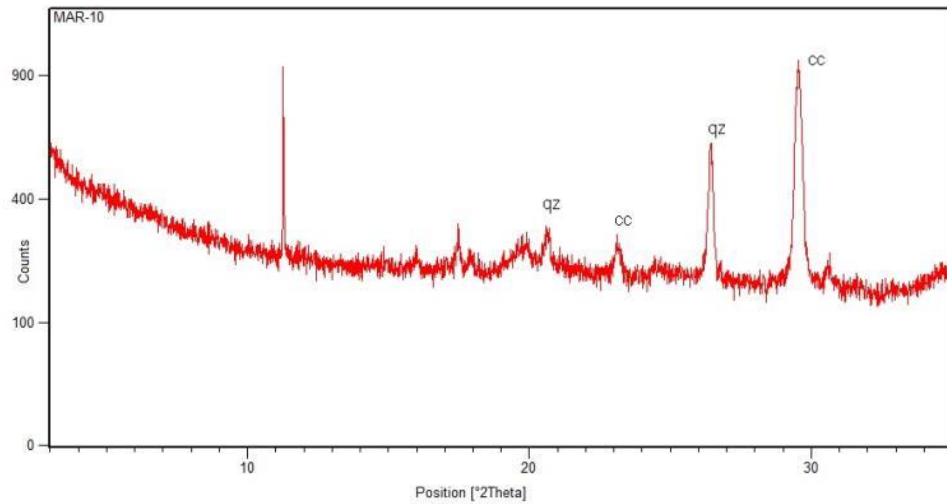


Figura 15: Difratoograma referente ao dia 10/03/2014 – tempo seco

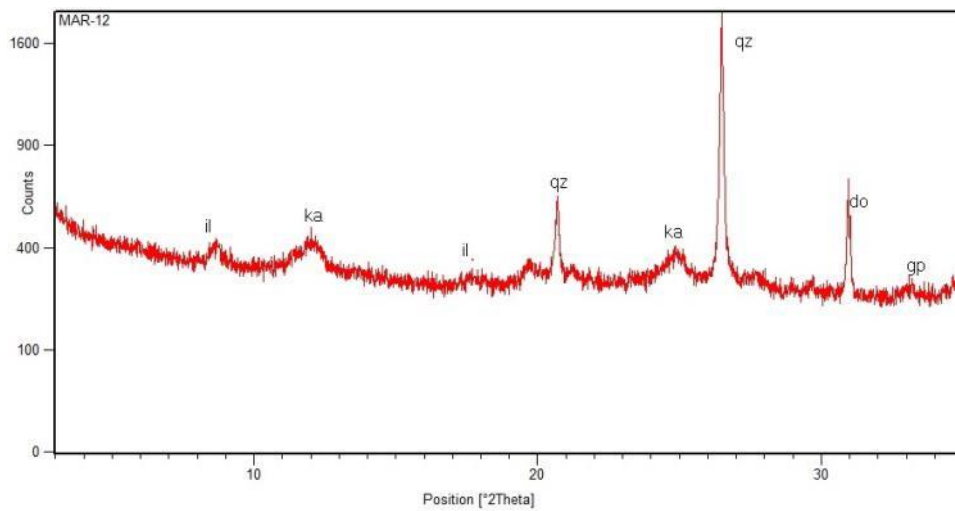


Figura 16: Difratoograma referente ao dia 12/03/2014 – evento de cheia

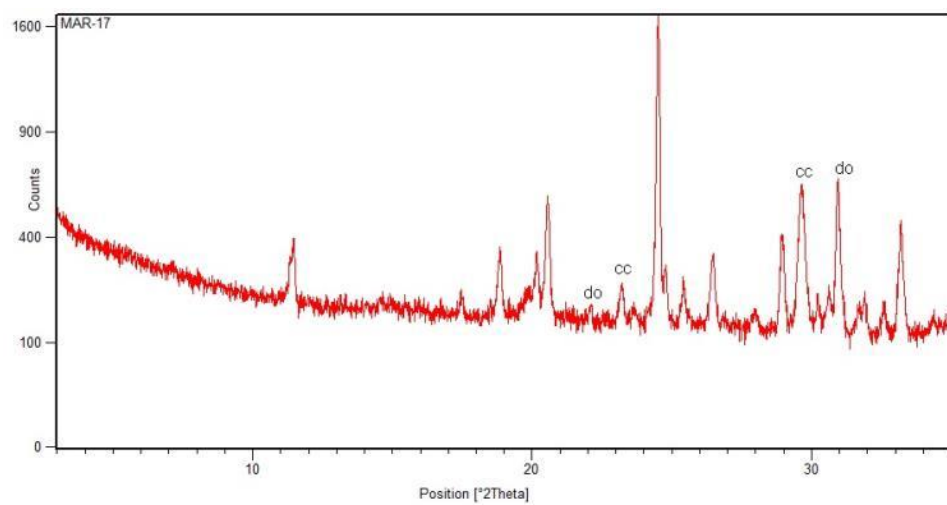


Figura 17: Difratoograma referente ao dia 17/03/2014 – tempo seco

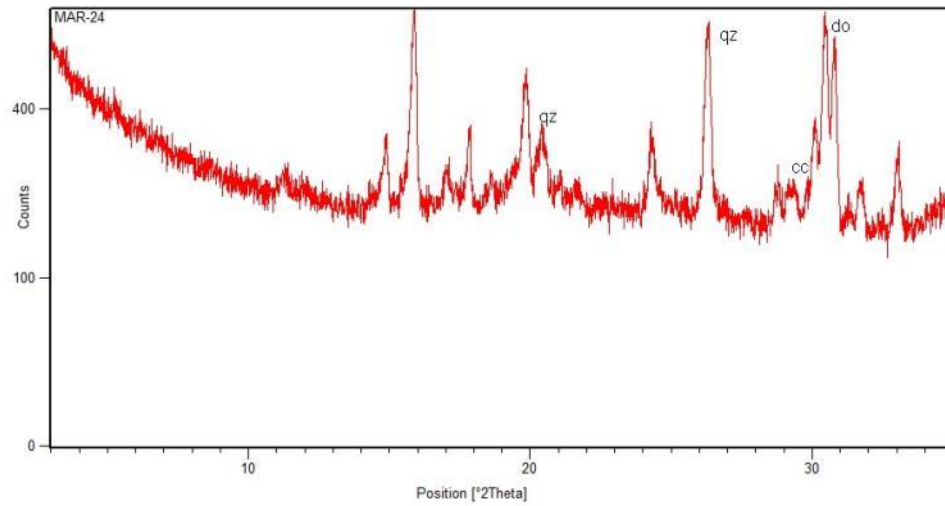


Figura 18: Difrátograma referente ao dia 24/03/2014 – tempo seco

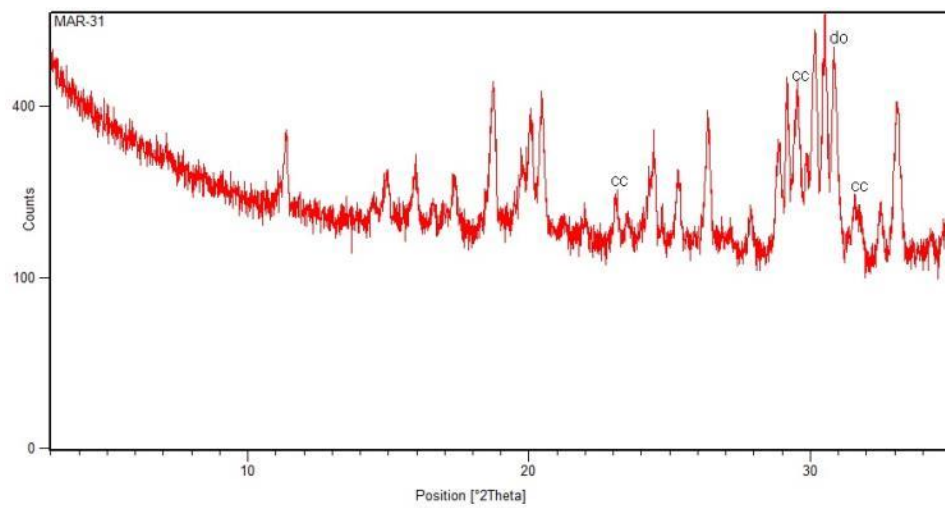


Figura 19: Difrátograma referente ao dia 31/03/2014 – tempo seco

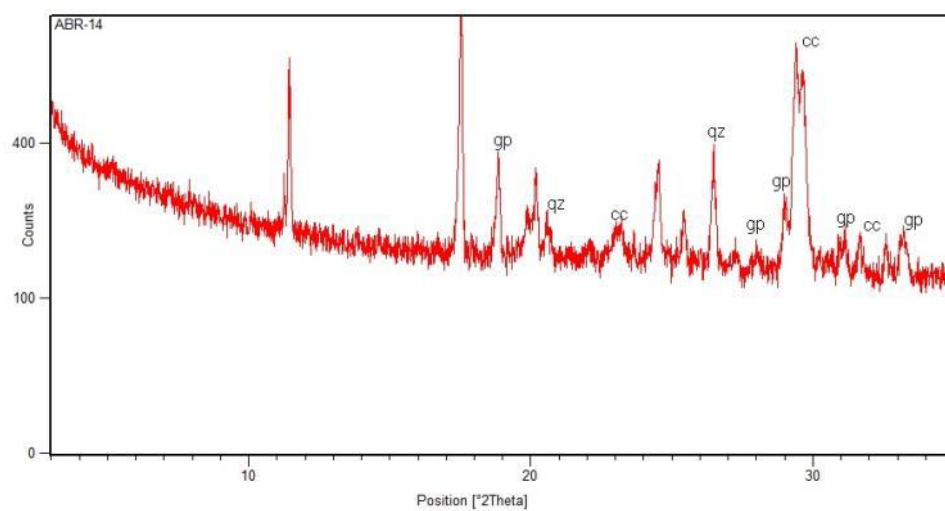


Figura 20: Difrátograma referente ao dia 14/04/2014 – tempo seco

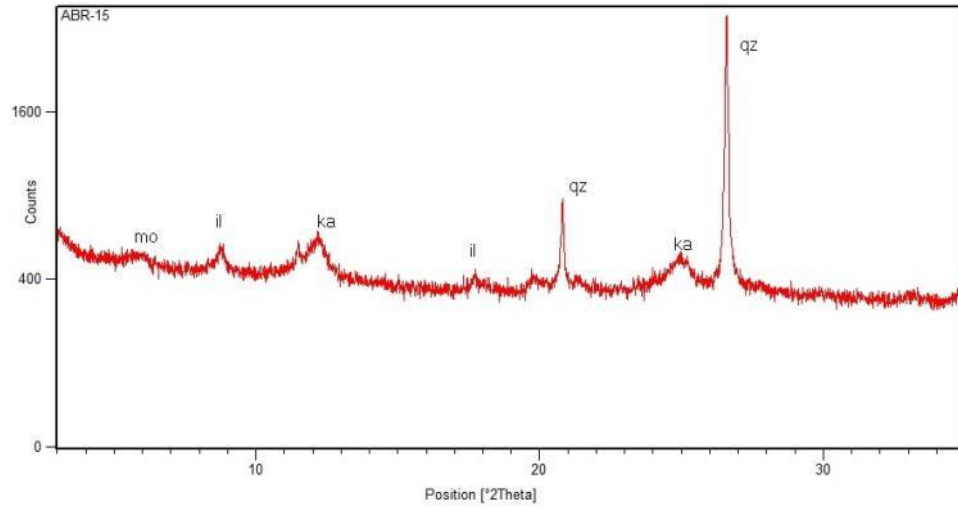


Figura 21: Difratoograma referente ao dia 15/04/2014 – evento de cheia

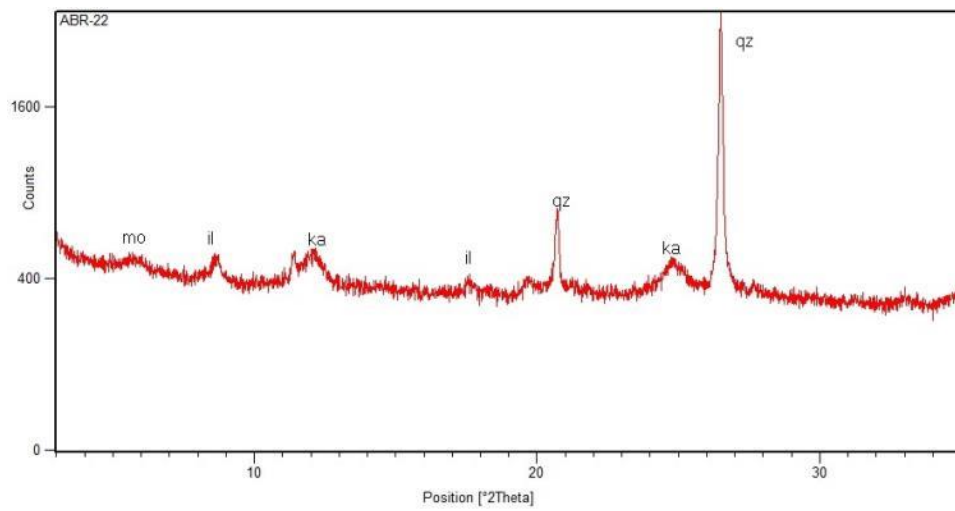


Figura 22: Difratoograma referente ao dia 22/04/2014 – evento de cheia

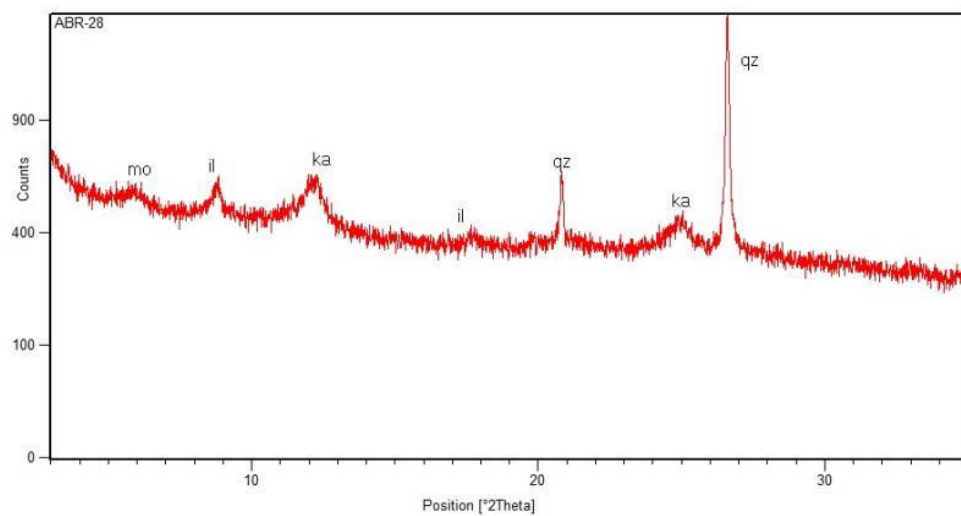


Figura 23: Difratoograma referente ao dia 28/04/2014 – tempo seco

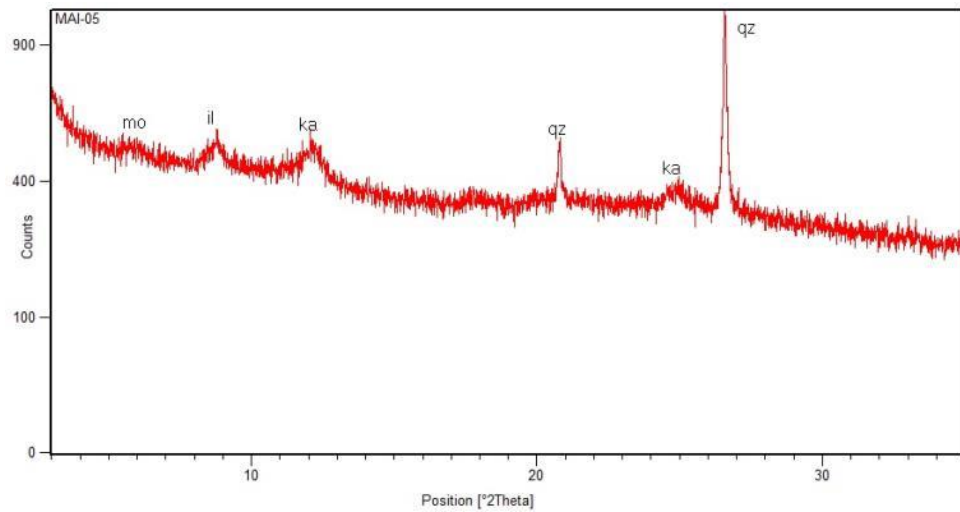


Figura 24: Difratoograma referente ao dia 05/05/2014 – tempo seco

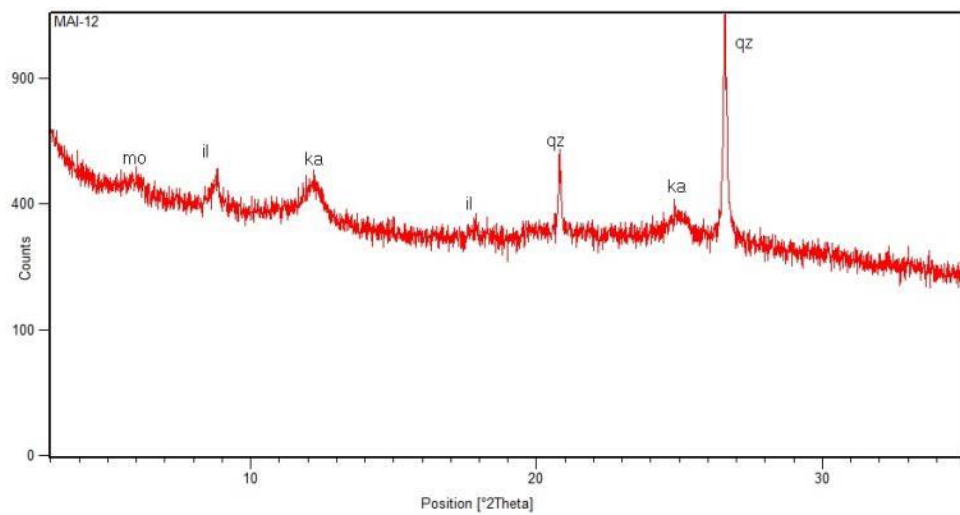


Figura 25: Difratoograma referente ao dia 12/05/2014 – tempo seco

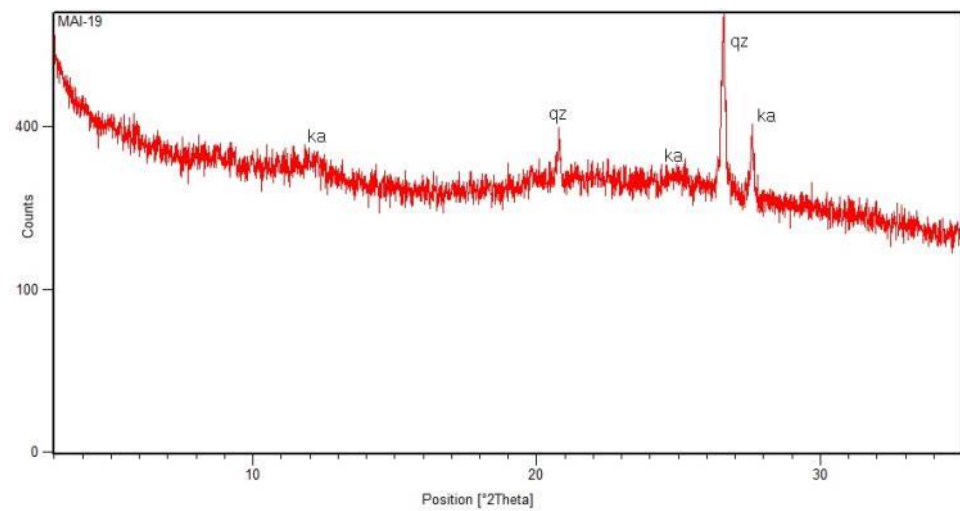


Figura 26: Difratoograma referente ao dia 19/05/2014 – tempo seco

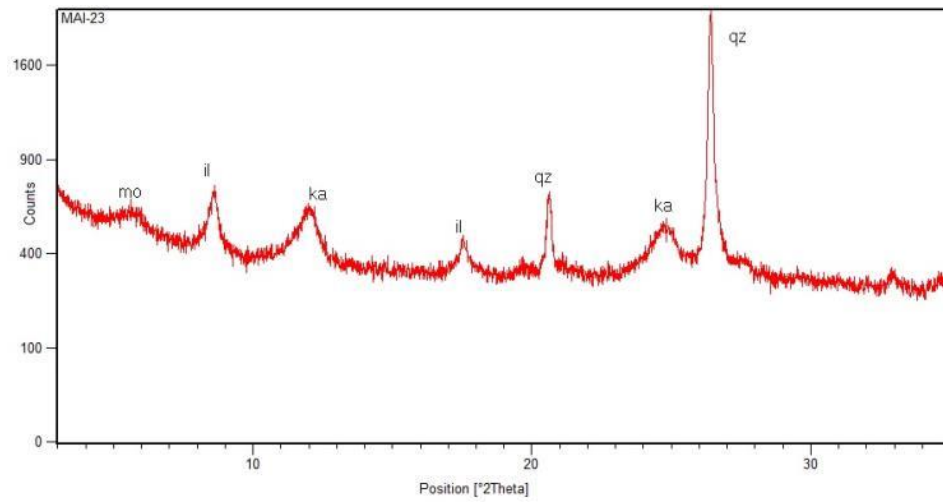


Figura 27: Difratoograma referente ao dia 23/05/2014 - evento de cheia

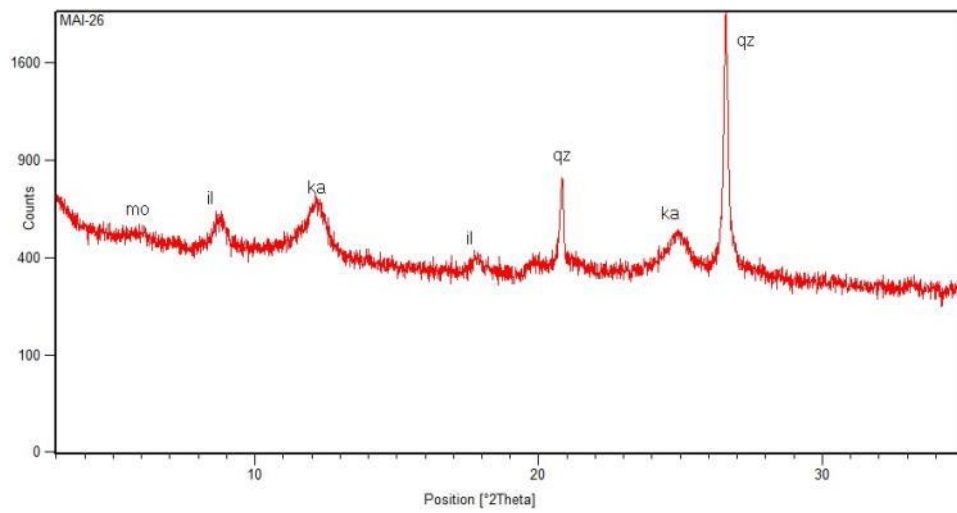


Figura 28: Difratoograma referente ao dia 26/05/2014 – tempo seco

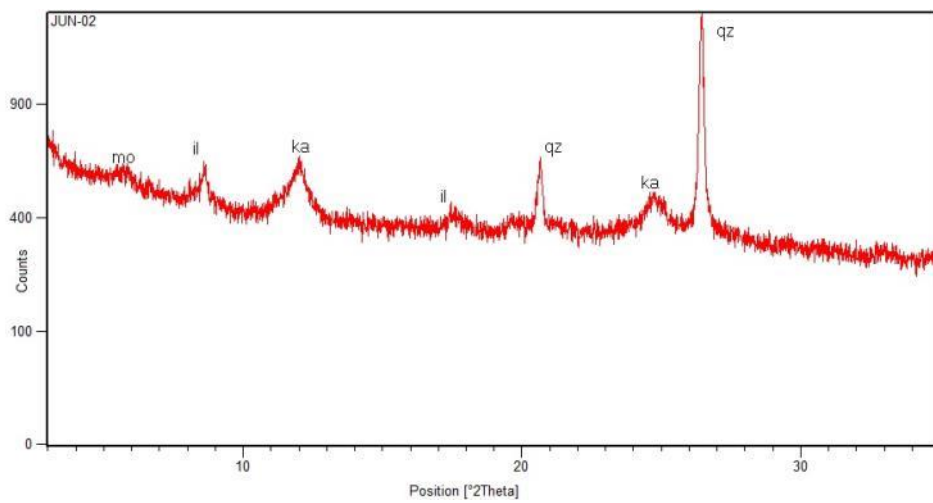


Figura 29: Difratoograma referente ao dia 02/06/2014 – tempo seco

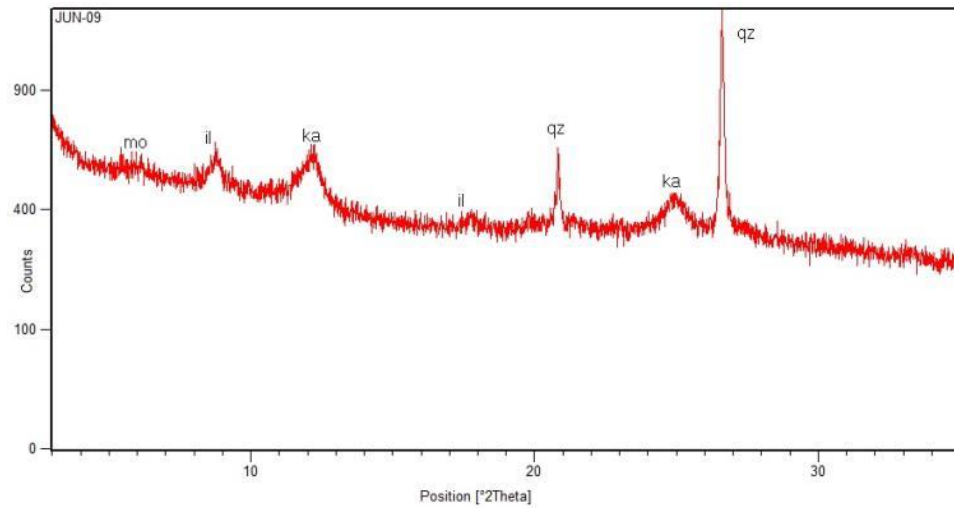


Figura 30: Difratoograma referente ao dia 09/06/2014 – tempo seco

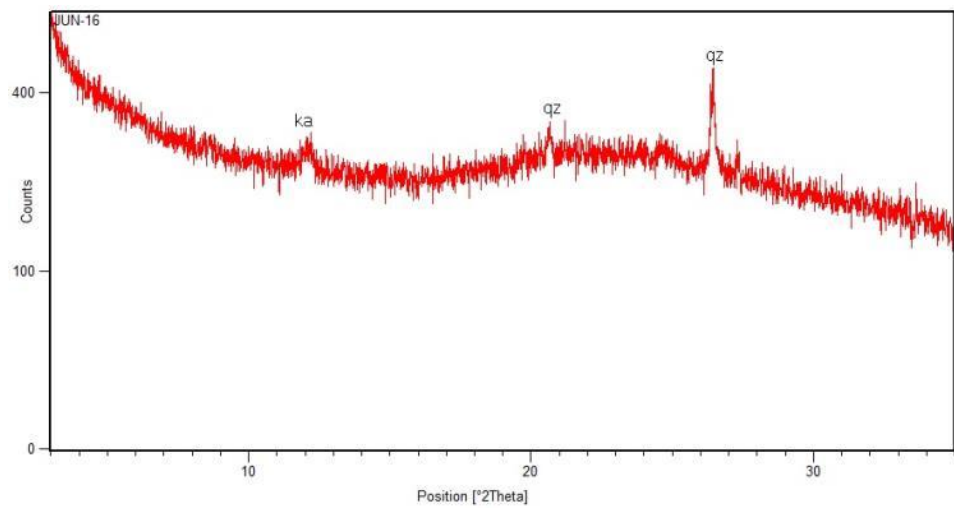


Figura 31: Difratoograma referente ao dia 16/06/2014 – tempo seco

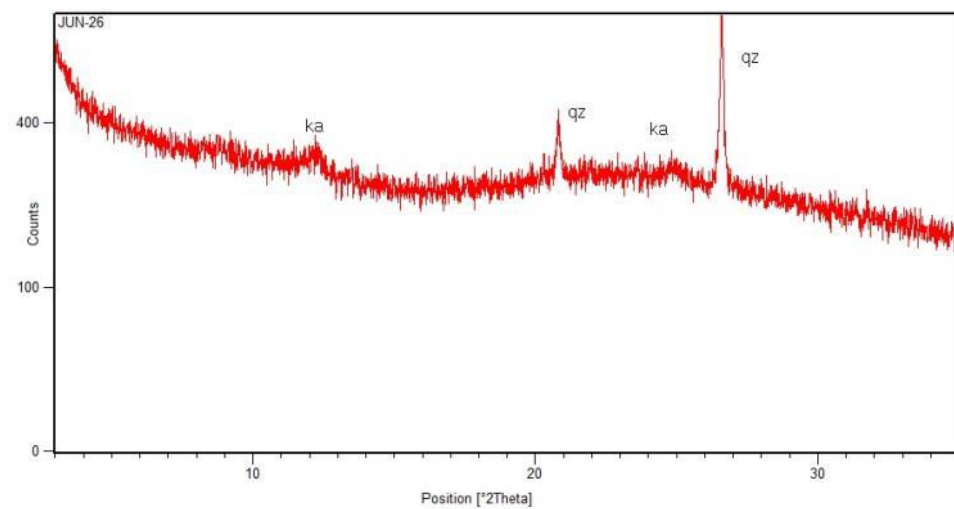


Figura 32: Difratoograma referente ao dia 26/06/2014 – tempoo seco

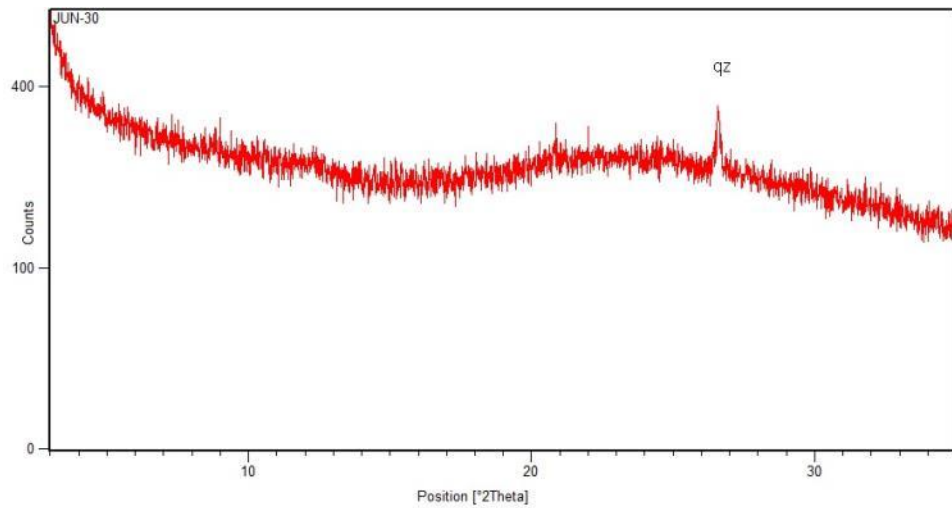


Figura 33: Difratoograma referente ao dia 30/06/2014 – tempo seco

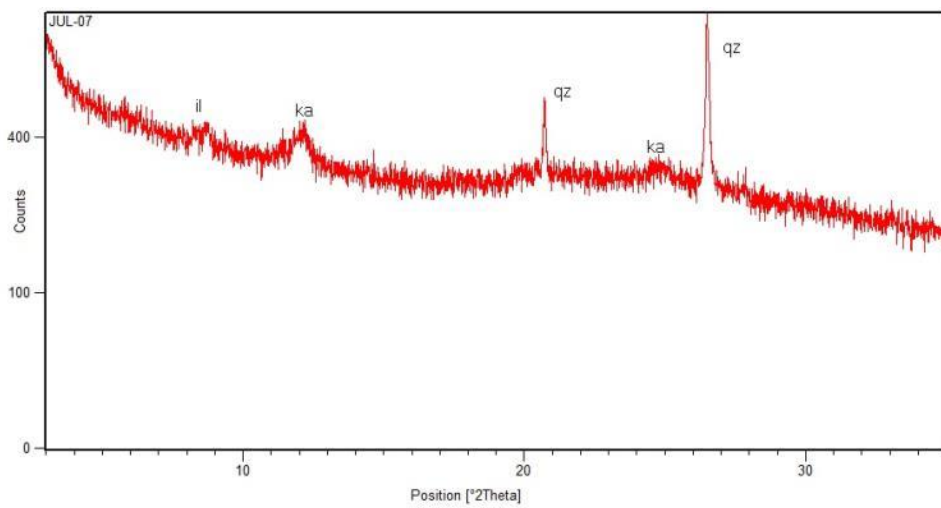


Figura 34: Difratoograma referente ao dia 07/07/2014 – tempo seco

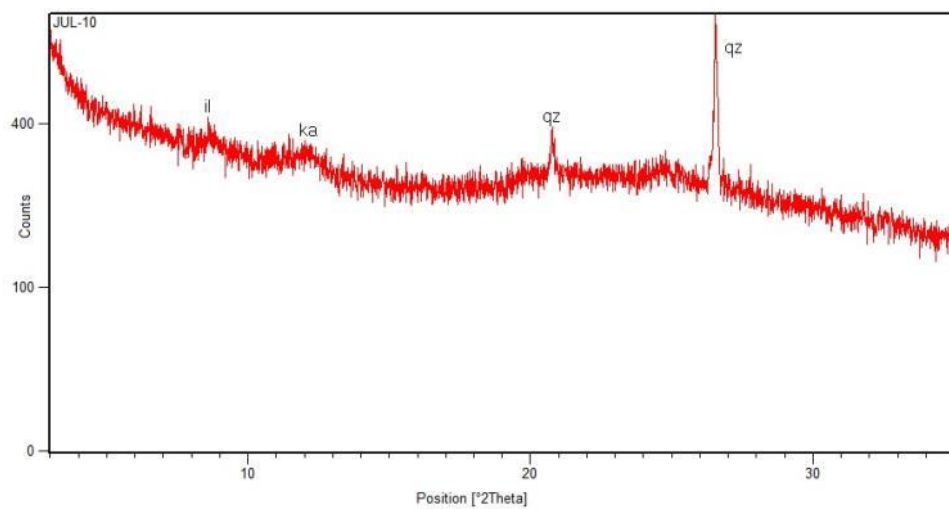


Figura 35: Difratoograma referente ao dia 10/07/2014 – tempo seco

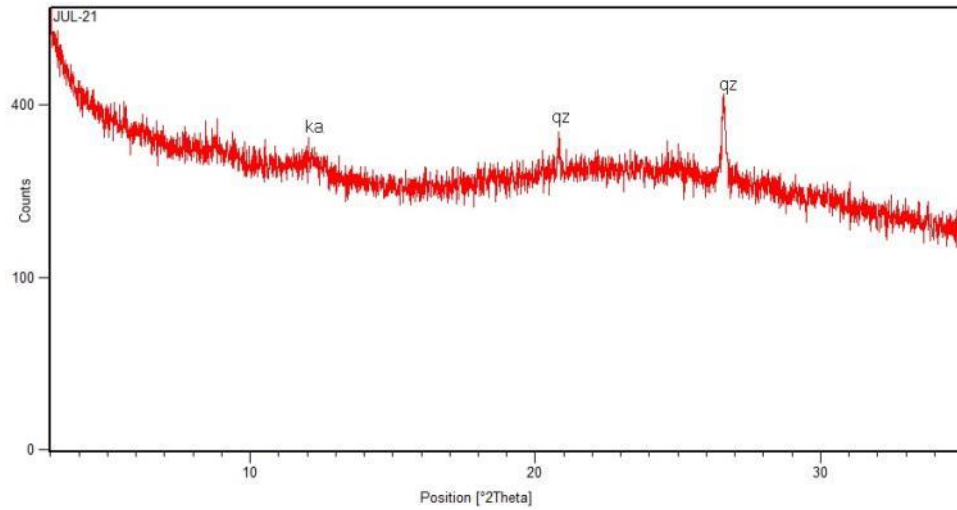


Figura 36: Difratoograma referente ao dia 21/07/2014 – tempo seco

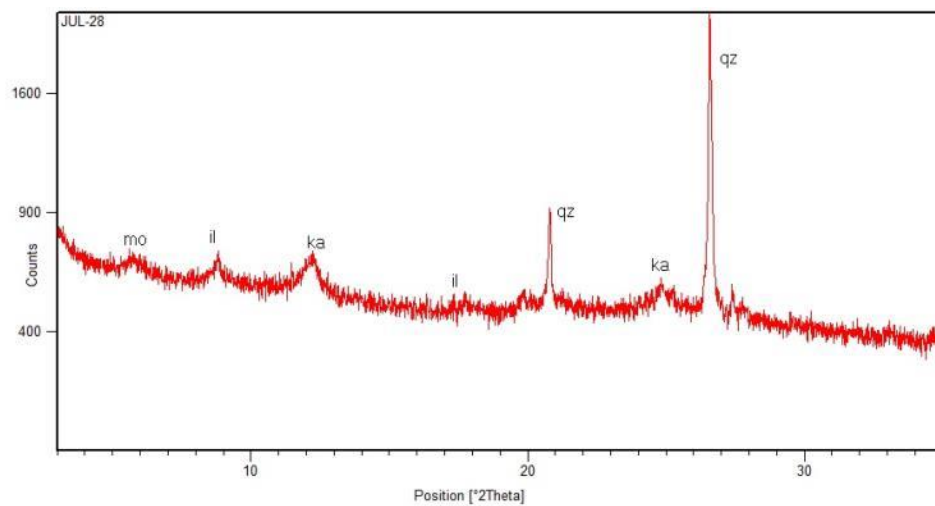


Figura 37: Difratoograma referente ao dia 28/07/2014 – tempo seco

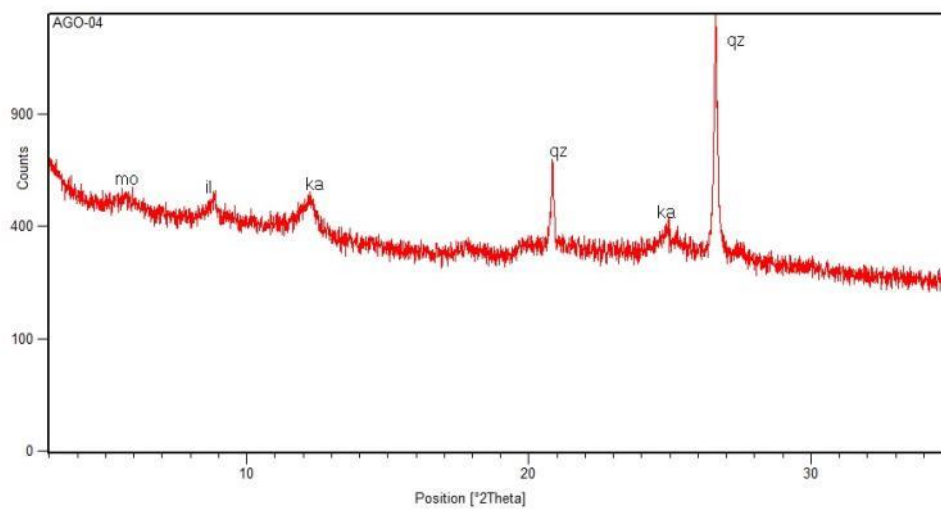


Figura 38: Difratoograma referente ao dia 04/08/2014 – tempo seco

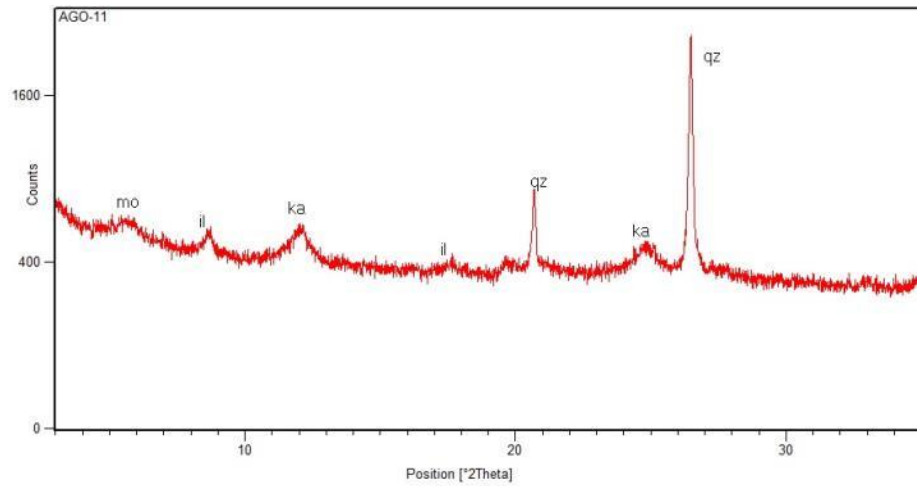


Figura 39: Difratoograma referente ao dia 11/08/2014 – tempo seco

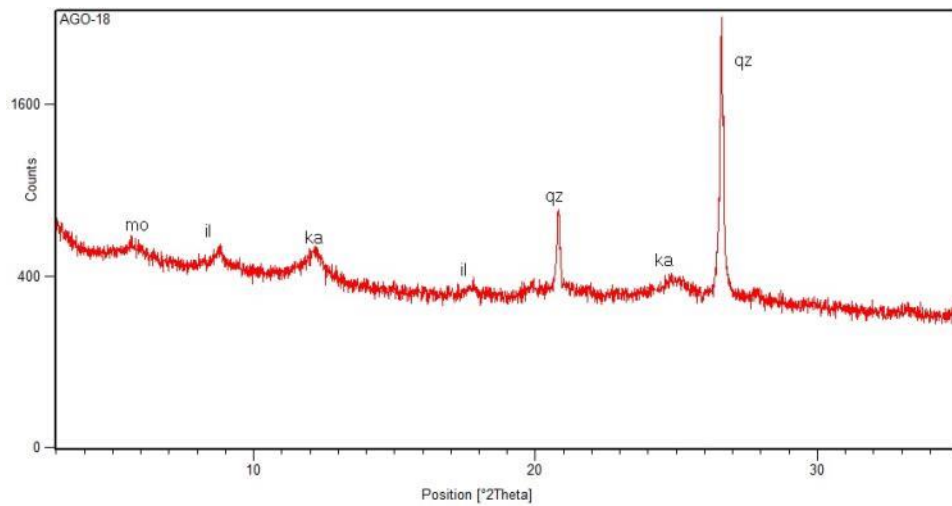


Figura 40: Difratoograma referente ao dia 18/08/2014 – tempo seco

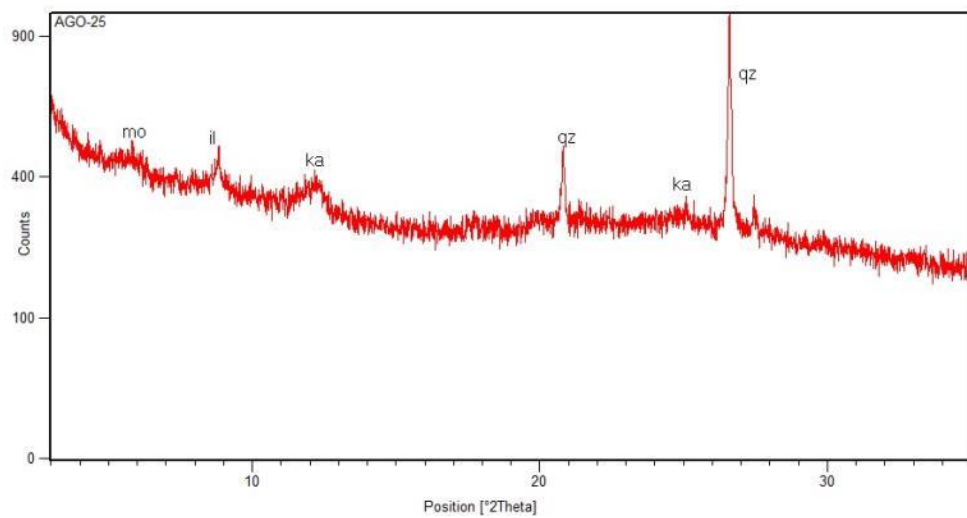


Figura 41: Difratoograma referente ao dia 25/08/2014 – tempo seco

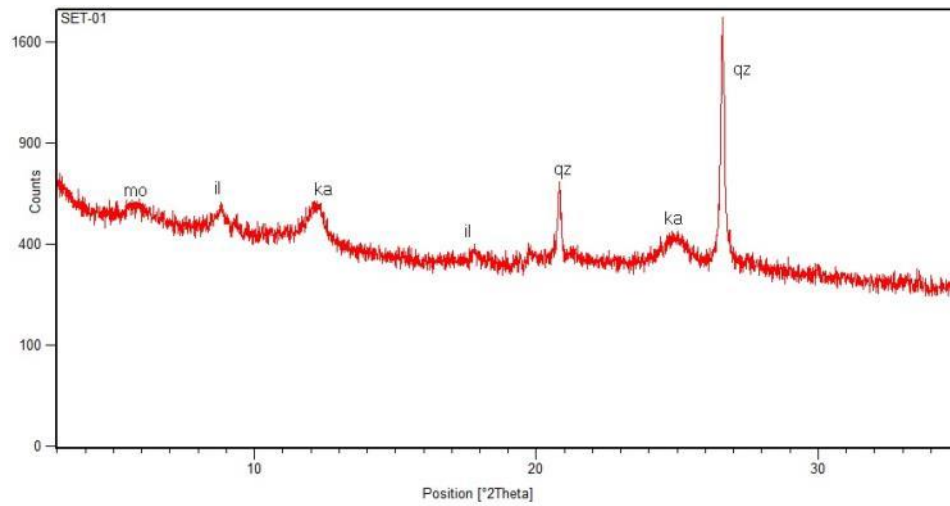


Figura 42: Difratoograma referente ao dia 01/09/2014 – tempo seco

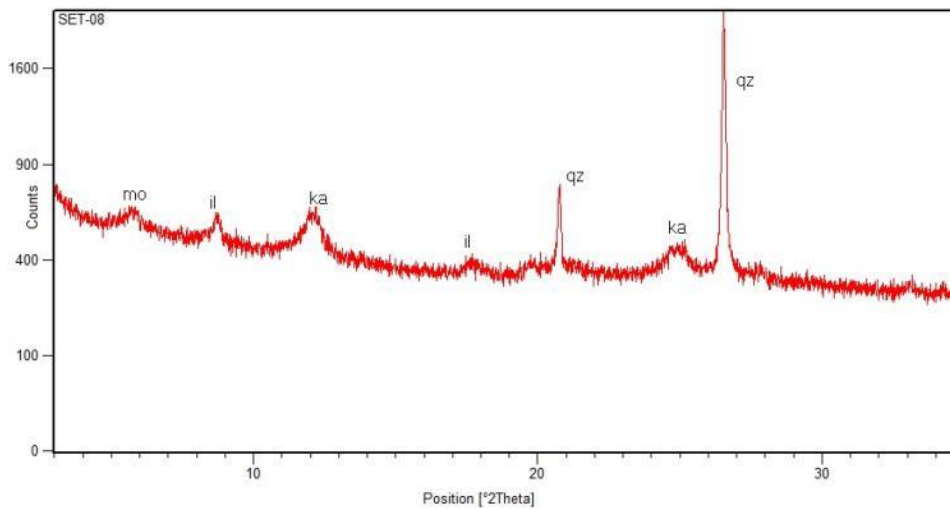


Figura 43: Difratoograma referente ao dia 08/09/2014 – tempo seco

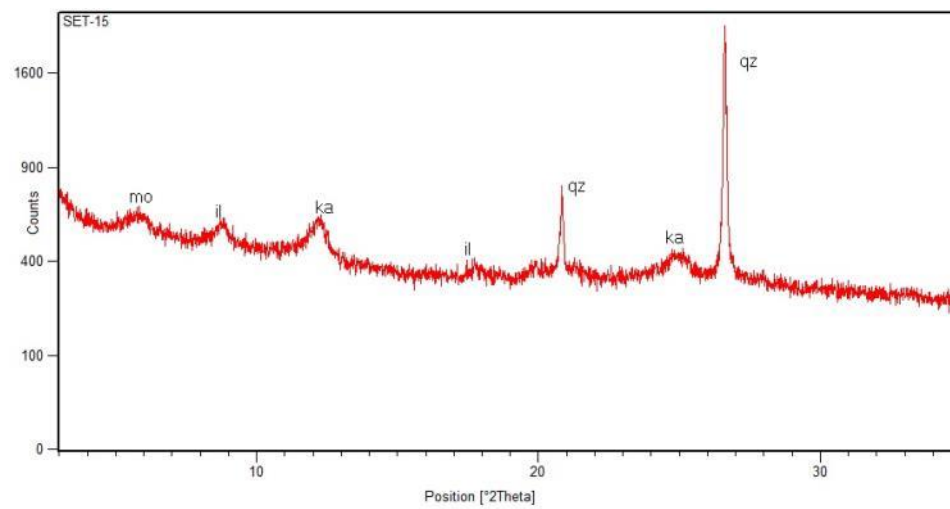


Figura 44: Difratoograma referente ao dia 15/09/2014 – tempo seco

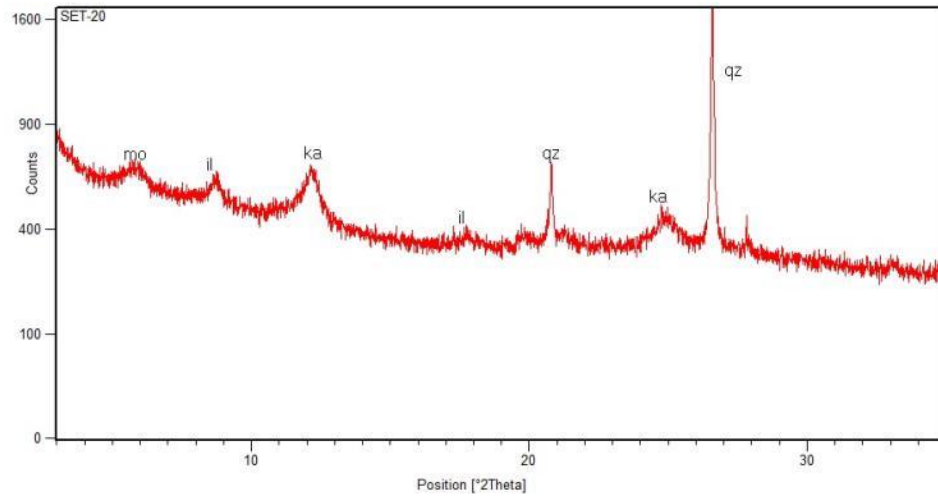


Figura 45: Difratoograma referente ao dia 20/09/2014 – tempo seco

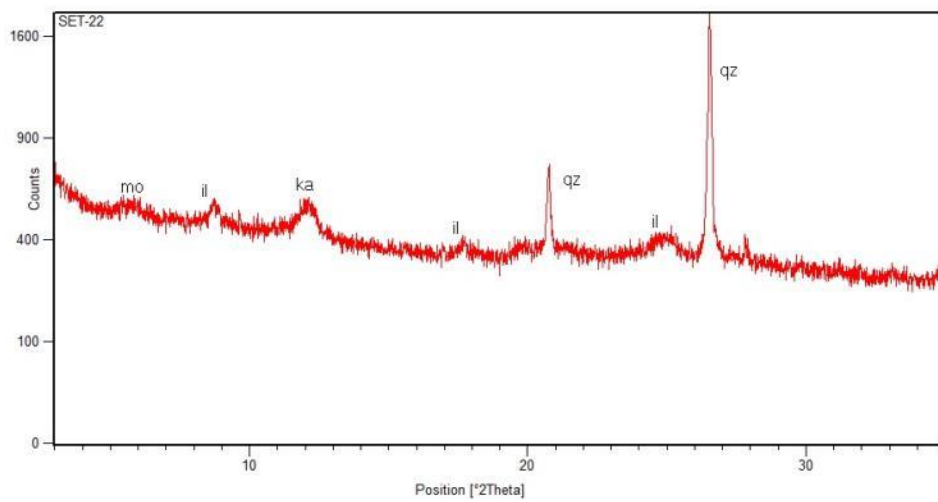


Figura 46: Difratoograma referente ao dia 22/09/2014 – tempo seco

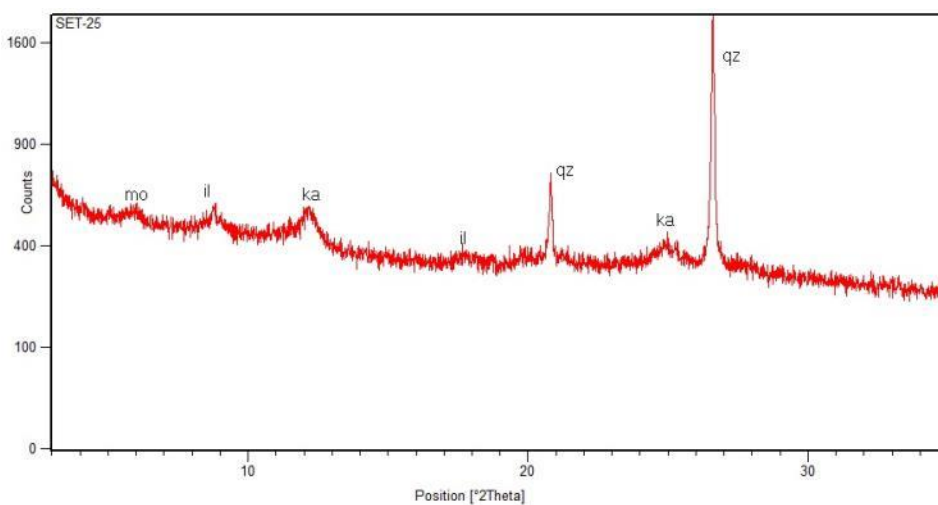


Figura 47: Difratoograma referente ao dia 25/09/2014 – tempo seco

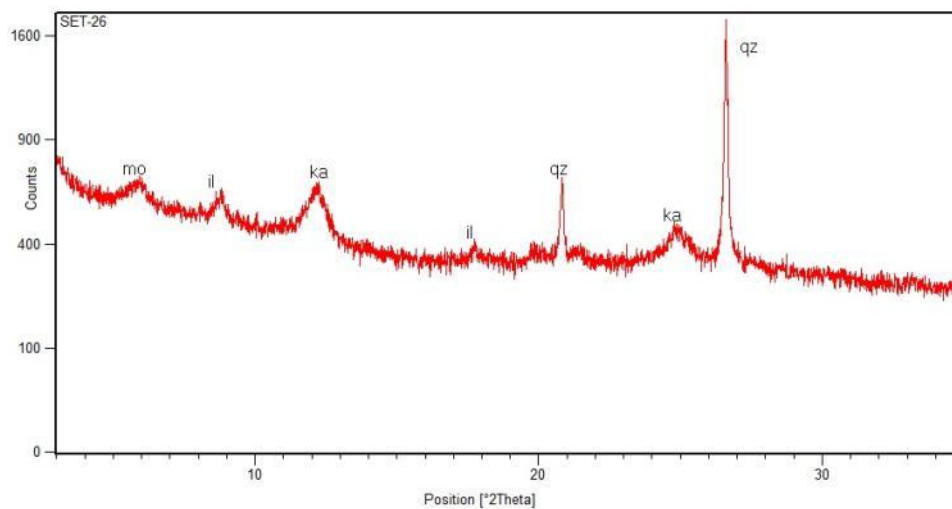


Figura 48: Difratoograma referente ao dia 26/09/2014 – tempo seco

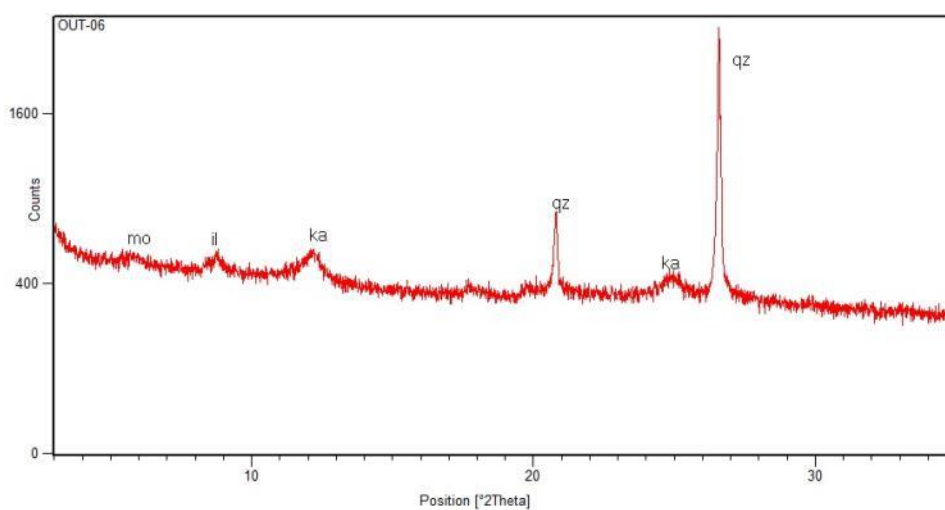


Figura 49: Difratoograma referente ao dia 06/10/2014 – tempo seco

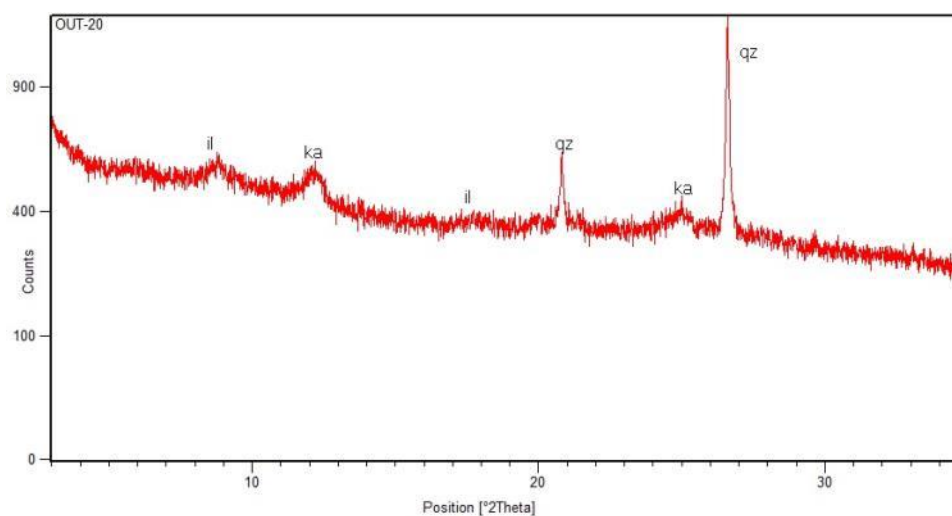


Figura 50: Difratoograma referente ao dia 20/10/2014 – tempo seco

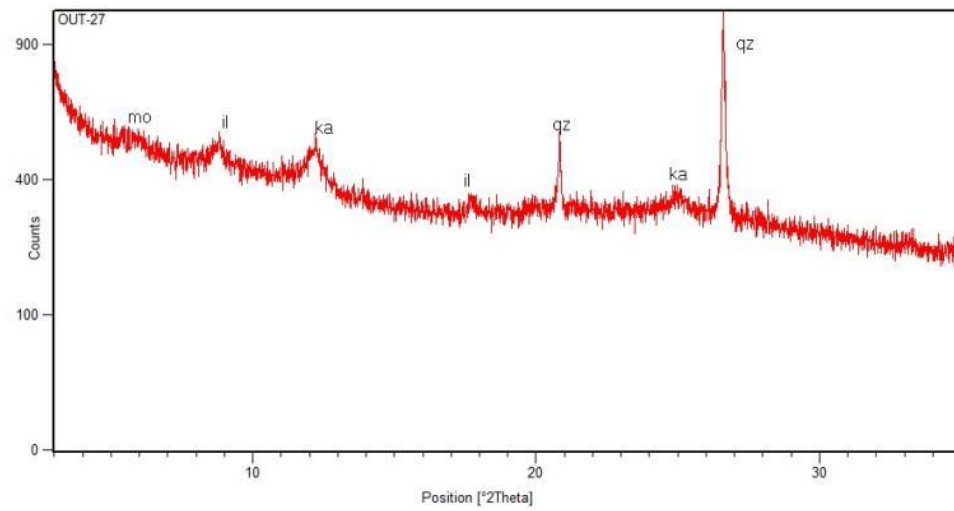


Figura 51: Difratoograma referente ao dia 27/10/2014 – tempo seco

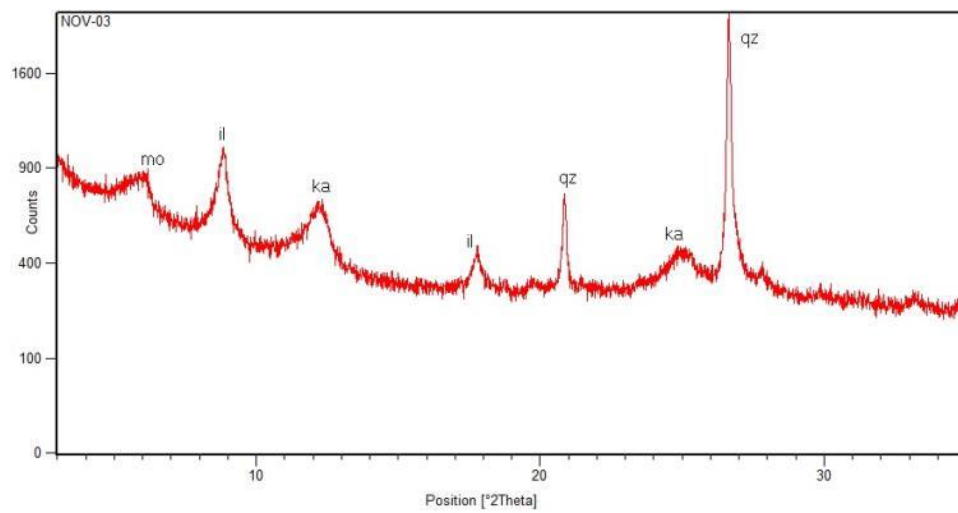


Figura 52: Difratoograma referente ao dia 03/11/2014 – evento de cheia

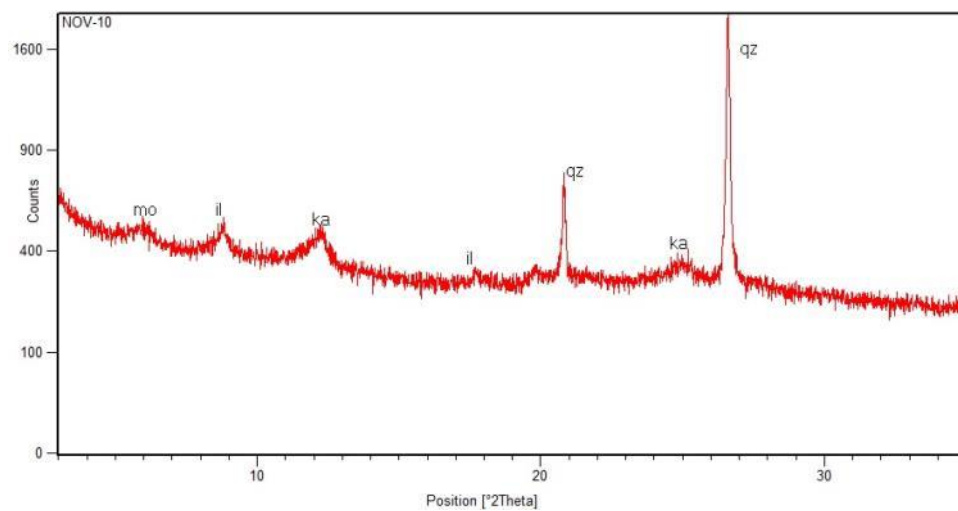


Figura 53: Difratoograma referente ao dia 10/11/2014 – tempo seco

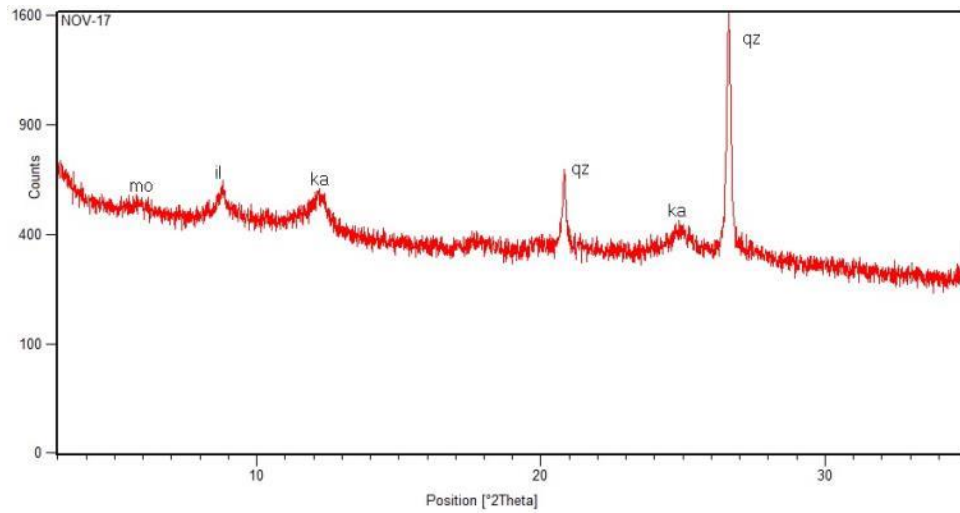


Figura 54: Difratoograma referente ao dia 17/11/2014 – tempo seco

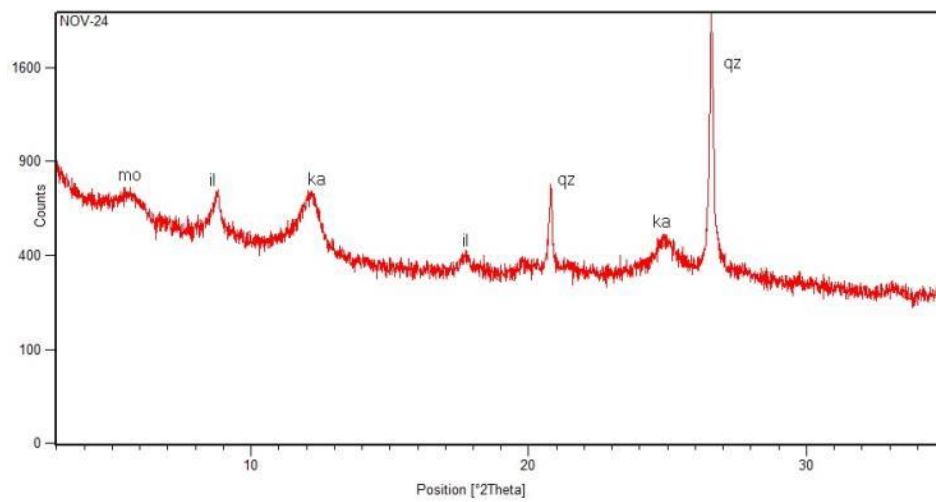


Figura 55: Difratoograma referente ao dia 24/11/2014 – tempo seco

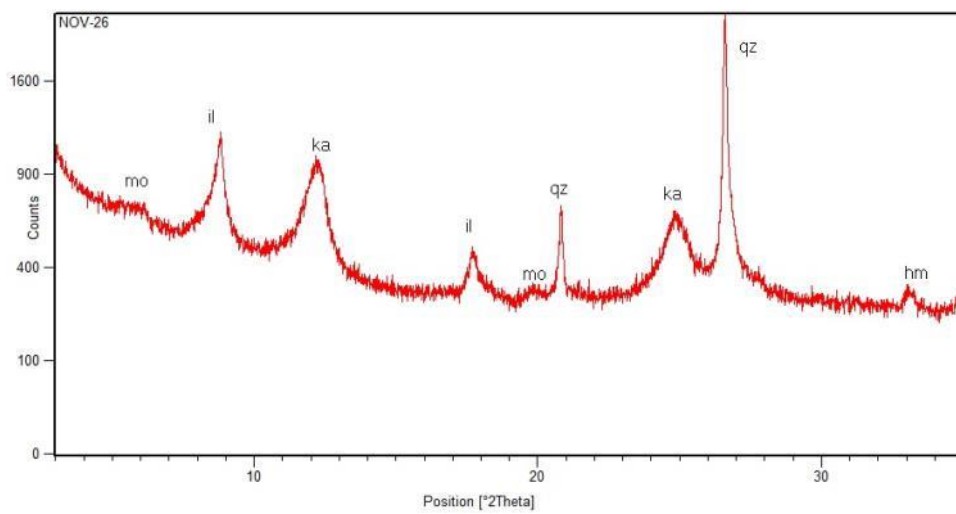


Figura 56: Difratoograma referente ao dia 26/11/2014 – evento de cheia

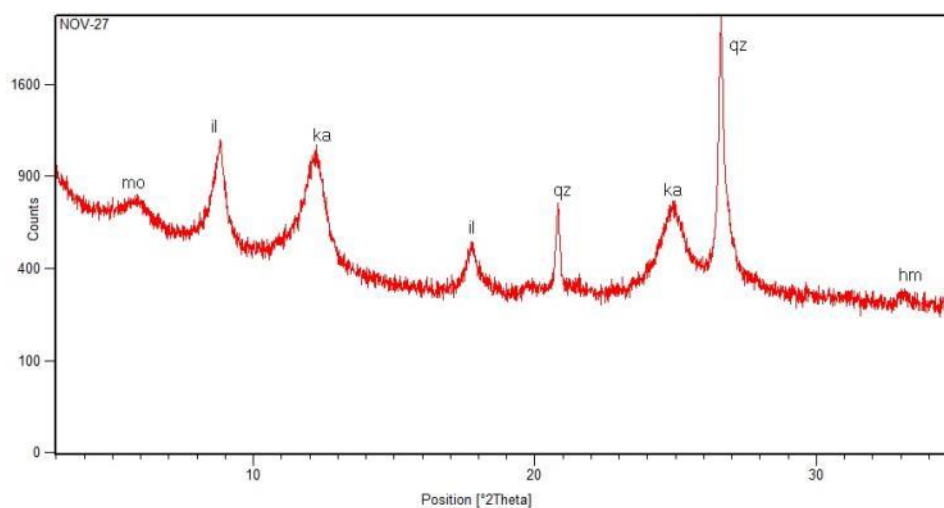


Figura 57: Difratoograma referente ao dia 27/11/2014 – evento de cheia

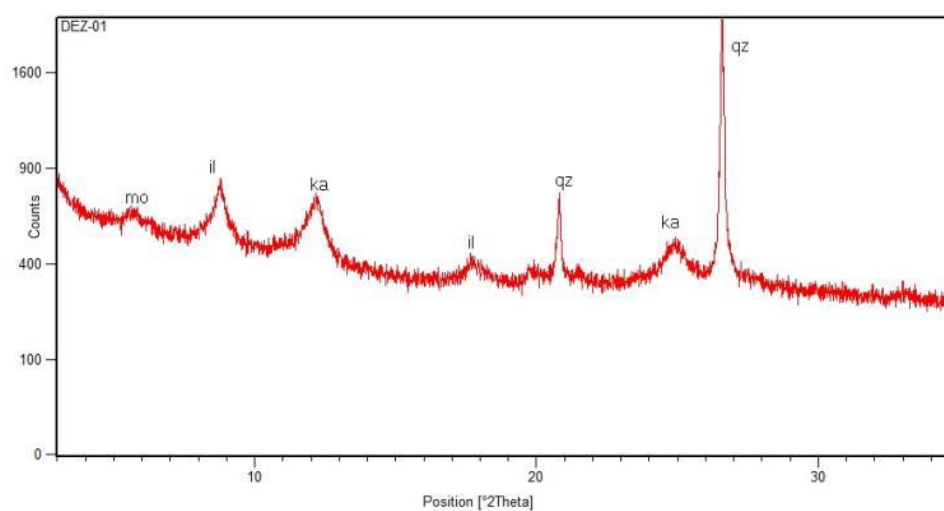


Figura 58: Difratoograma referente ao dia 01/12/2014 – tempo seco

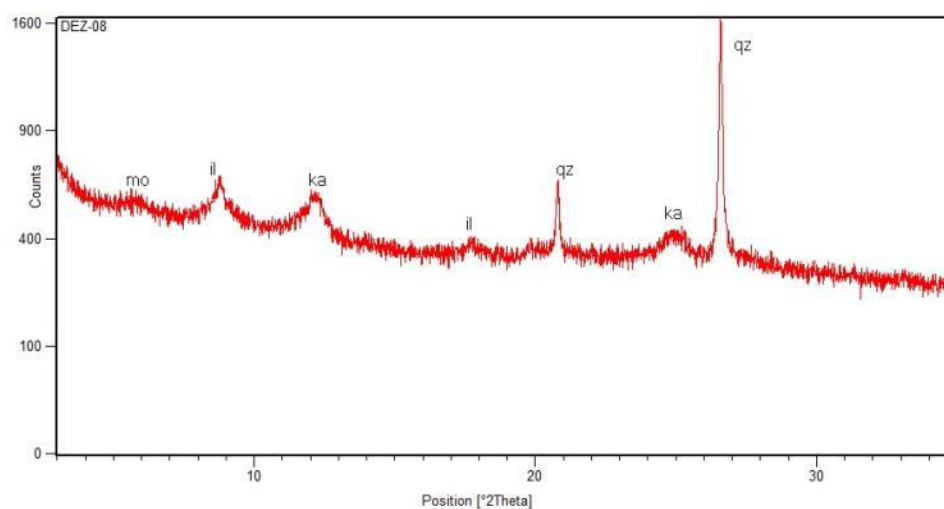


Figura 59: Difratoograma referente ao dia 08/12/2014 – tempo seco

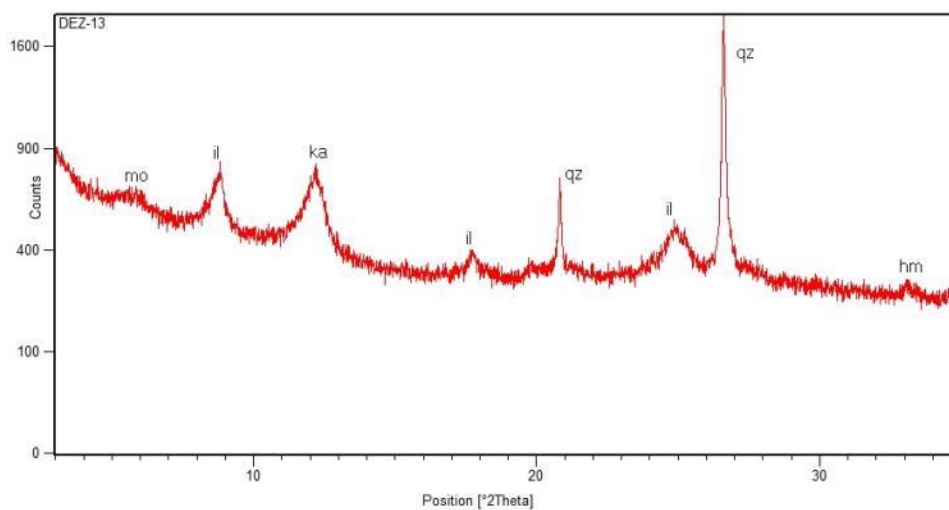


Figura 60: Difratoograma referente ao dia 13/12/2014 - evento de cheia

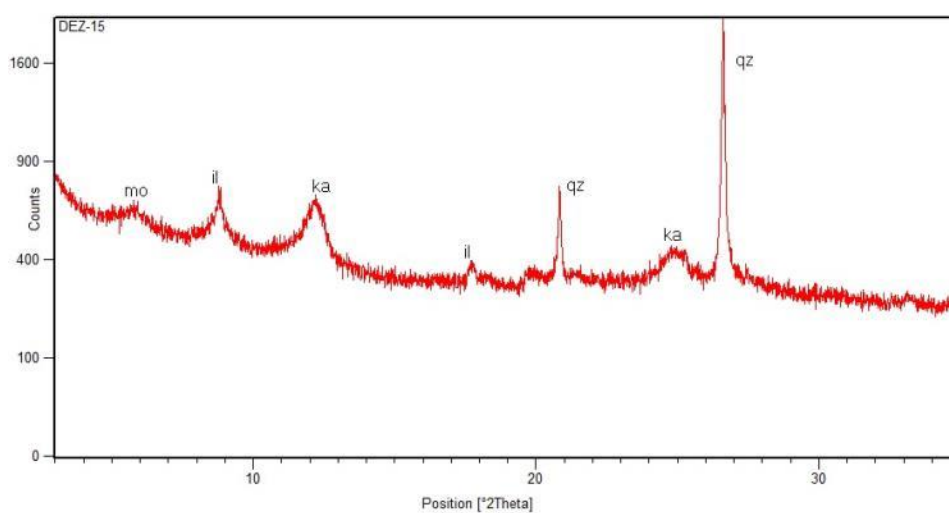


Figura 61: Difratoograma referente ao dia 15/12/2014 – tempo seco

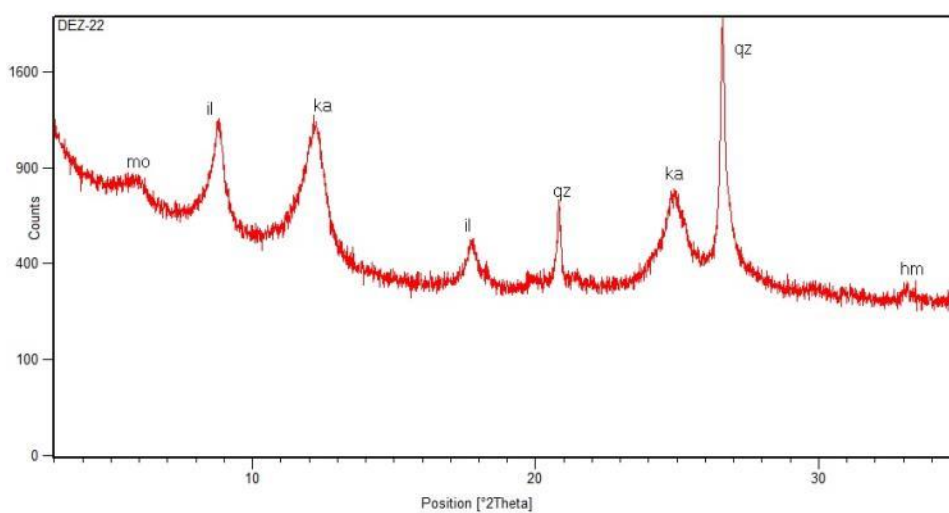


Figura 62: Difratoograma referente ao dia 22/12/2014 – evento de cheia

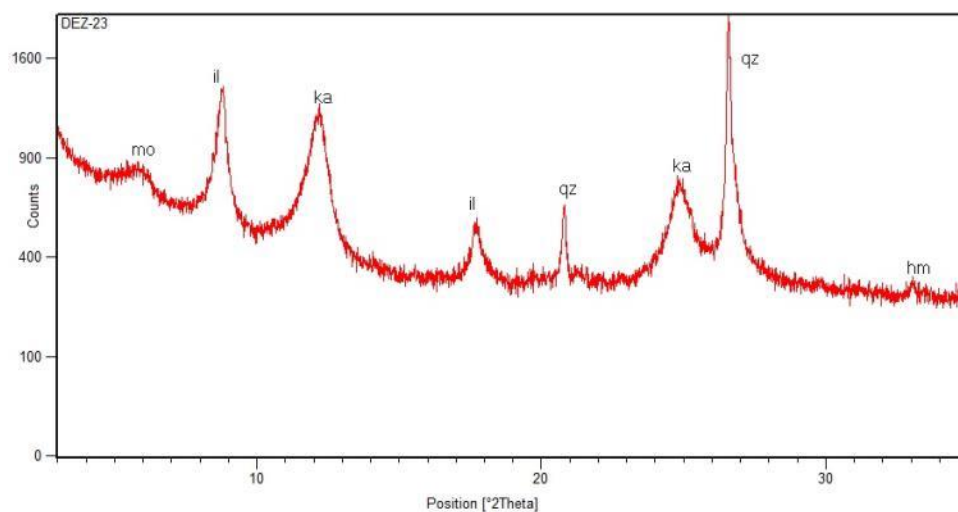


Figura 63: Difractograma referente ao dia 23/12/2014 – evento de cheia