

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**A GEOLOGIA FAZ ARTE: ORIGEM E USO DE PIGMENTOS MINERAIS NA ARTE
PICTORAL**

GIOVANNI BUENO DE OLIVEIRA

Disciplina 0440500 - Trabalho de Formatura
Monografia (TF-22/20)

Orientadora: Prof. Dra. Christine Laure Marie Bourotte

SÃO PAULO
2022

Dedico esta monografia à minha mãe Silvana que sempre me apoiou em todos os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por guiar meus caminhos, por conceder a oportunidade de viver as experiências que vivi e principalmente, por ajudar a enfrentar os obstáculos que surgiram.

Agradeço à minha família, especialmente à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado apoiando os meus sonhos, com muito carinho e me formando como homem. Uma mulher guerreira, que durante toda minha vida foi mãe e pai, ao mesmo tempo, e buscou sempre o melhor para mim. Obrigado por ensinar a nunca desistir, esta conquista é nossa, muito obrigado mãe querida.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Christine Laure Marie Bourotte pela oportunidade de trabalharmos juntos neste tema, de transformar em realidade este trabalho que é tão “minha cara”. Obrigado pela confiança, por toda sua ajuda e principalmente, pela amizade que construímos. Esta conquista também é nossa, espero ter contribuído.

Agradeço à minha segunda família, Mariana, Guilherme, Aline, Felipe, Silvana e Cipriano, vocês me ensinam a cada dia a ser uma pessoa melhor e mais forte. Obrigado por confiarem em mim e apoiarem meus sonhos, e por fazer parte desta família linda.

Agradeço aos amigos Célebro, Sarjeta, Bryt, Guaxupé, Miçanga, Muriçoca, Kita, Jadeu e Chokany, vocês foram importantes durante esta caminhada na graduação. Agradeço a todos os companheiros de turma(s) pelas experiências, trabalhos de campo, risadas e rolês.

Agradeço ao Instituto de Geociências e à Geologia, pois muitas vezes pensei em desistir do curso, mas aprendi que o mundo e o tempo são muito maiores do que meus propósitos. Segui firme, sabendo que cada degrau seria importante no final. Obrigado à todos os funcionários e professores que fizeram parte deste ciclo.

Por fim, agradeço à todos que contribuíram para realização deste Trabalho de Formatura, às parceiras de laboratório Laiz e Alexia, à artista Denise Valarini do projeto Poética do Habitar, obrigado pelos trabalhos e pelas oficinas, vocês foram demais e me ajudaram muito com este projeto, e agradeço também ao Tiago, dono da Mineradora Argilas Morro Grande, que abriu as portas para coletarmos e estudarmos suas argilas.

RESUMO

Este Trabalho de Formatura apresenta o estudo da origem e do uso dos pigmentos minerais, estabelecendo relações entre as geociências e outras disciplinas como arte, física, química e história. Os pigmentos minerais são geralmente materiais inorgânicos derivados de minerais naturais do solo. No contexto deste projeto, foram realizados trabalhos de campo para coleta de solos de diferentes colorações e localidades distintas do estado de São Paulo, considerando diferentes contextos geológicos do estado (Bacia do Paraná e embasamento cristalino). Estas amostras foram analisadas por Difração de Raios-X para identificação dos minerais constituintes, Fluorescência de Raios-X para caracterização da composição elementar de cada amostra, além de medições de Espectrofotometria para determinação das cores dos solos. Posteriormente, foram extraídos os pigmentos, separando a fração argilosa dos solos, e fabricadas as tintas misturando um agente aglutinante (como a goma arábica), água e mel. A participação em exposições, oficinas interativas e entrevistas com artistas contribuiu para a troca de conhecimento e o estabelecimento da metodologia de fabricação da tinta. A paleta de cores obtida a partir dos pigmentos extraídos destes solos foi também utilizada para a promoção de duas oficinas com adultos e crianças. Os resultados obtidos das análises físico-químicas, da produção de tintas, do oferecimento de oficinas e da entrevista com a artista, mostraram o grande potencial educativo e de divulgação das Geociências que os pigmentos extraídos de solos oferecem.

Palavras-chave: Pigmentos minerais, Geologia, Arte, Solos.

ABSTRACT

This graduation work presents a study of the origin and use of mineral pigments, establishing relationships between geosciences and other disciplines such as art, physics, chemistry and history. Mineral pigments are generally inorganic materials derived from natural soil minerals. In this project, fieldwork was carried out to collect soils of different colorations and different locations in the state of São Paulo, considering different geological contexts of the state (Paraná basin and crystalline basement). These samples were analyzed by X-ray diffraction to identify the mineral constituents, X-ray fluorescence to characterize the elemental composition of each sample, and Spectrophotometry measurements to determine the soil colors. Subsequently, the pigments were extracted, separating the clay fraction from the soils, and the paints were made by mixing a binding agent (such as gum Arabic), water and honey. Participation in exhibitions, interactive workshops, and interviews with artists contributed to the exchange of knowledge and the establishment of the methodology for making the paint. The color palette obtained from the pigments extracted from these soils was also used to promote two workshops with adults and children. The results obtained from the physical-chemical analyses, the production of paints, the offering of workshops and the interview with the artist, showed the great educational and geoscience divulgation potential that the pigments extracted from soils offer.

Keywords: Mineral pigments, Geology, Art, Soils.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
3. TRABALHOS PRÉVIOS.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. Exposição “Brasilidade Pós-Modernismo”.....	20
4.2. Oficina Poética do Habitar	21
4.3. Trabalhos de campo e contexto geológico.....	22
4.4. Extração dos pigmentos	27
4.5. Caracterização mineralógica por Difração de Raios-X.....	28
4.6. Medição de cor por Espectrofotometria	30
4.7. Caracterização da composição elementar por Fluorescência de Raios-X.....	33
4.8. Oferecimento de oficinas	34
4.9. Entrevista com artista	34
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	35
5.1. Produção da tinta.....	35
5.2. Difração de Raios-X.....	36
5.3. Espectrofotometria.....	38
5.4. Fluorescência de Raios-X.....	41
5.5. Oferecimento de oficinas	43
5.6. Entrevista com artista	43
6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	46
7. CONCLUSÕES.....	50
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pigmentos Pré-históricos (óxidos naturais). Foto: Gomes et al. (2014) - Serviços Educativos do Museu de Arte Pré-histórica em Mação, Portugal.....	10
Figura 2 - Ocre, óxidos de ferro naturais. Foto: Gomes et al. (2014).....	13
Figura 3 - Registros rupestres na Caverna de Chauvet, França. Foto: https://arqueologiaeprehistoria.com	13
Figura 4 - Registros rupestres pintados com pigmentos minerais, no Parque Nacional da Serra da Capivara (PI). Foto: IPHAN/Tadeu Gonçalves.....	14
Figura 5 - Registros rupestres no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (MG): a) Lapa dos Desenhos; b) Gruta do Janelão; c) Placa informativa; e d) Ilustração do uso dos solos. Fotos: Profa. Christine Laure Marie Bourotte.	15
Figura 6 - a) Malaquita e b) Azurita.....	15
Figura 7 - Retábulo da torre com cenas da infância de Cristo, 1390. Museum Mayer van den Bergh, inv. 2, Antuérpia, Bélgica. Foto: Sanyova, 2011.....	17
Figura 8 - Pinturas com pigmentos na Catedral de Siena, Itália.....	18
Figura 9 - Mapa geológico simplificado do Estado de São Paulo.....	23
Figura 10 - Localização da Mineradora Argilas Morro Grande no mapa geológico do município de Monte Mor (SP). Fonte: Mune et al., 2007.	24
Figura 11 - Localização da área de trabalho de campo na Cidade Universitária - USP, campus Butantã. Fonte: Pichler (2017).....	25
Figura 12 - Mapa geológico da Cidade Universitária USP. Fonte: Pinto et al. (2022).....	26
Figura 13 - Esquema da difratometria de raios-X. Fonte: EEL - USP, 2022.	28
Figura 14 - a) Espectrofotômetro utilizado para classificação da cor dos solos e b) tela digital mostrando o registro dos dados. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.	31
Figura 15 - a) Medição com o espectrofotômetro em amostra bruta e b) Medição com o espectrofotômetro em amostra moída. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.	32
Figura 16 - a) Espaço de cores CIELAB e b) Espaço de cores CIELAB com variação de tonalidade.	32
Figura 17 - Esquema do processo de Fluorescência de Raios-X.....	33
Figura 18 - Composição mineralógica estimada para as amostras de argilas coletadas na Mineradora Argilas Morro Grande em Monte Mor (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).....	37
Figura 19 - Composição mineralógica estimada para as amostras dos solos coletados nas pedreiras de Ribeirão Preto e Araraquara (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).....	37

Figura 20 - Composição mineralógica estimada para as amostras dos solos coletados no barranco escola na Cidade Universitária - USP, Campus Butantã (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).....	38
Figura 21 - Resultado da análise física de espectrofotometria do solo vermelho coletado em Monte Mor (SP).....	39
Figura 22 - Valores médios de CIE L*a*b* para cada cor das amostras brutas e moídas dos solos coletados.	39
Figura 23 - Espaço de Cores CIELAB com os valores médios de cada grupo de cor medido (Fonte: Modificado de Konica Minolta, 2022).	40
Figura 24 - Configurações de cor no Photoshop selecionando os valores das coordenada L*a*b*.	40
Figura 25 - Comparativo dos resultados da espectrofotometria com as cores dos solos e argilas, e sugestão de nomes para uma nova classificação com base nos resultados obtidos.....	41
Figura 26 - Diagrama do Espaço de Cores para cada sistema. Fonte: Konica Minolta, 2022.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química dos solos coletados obtida por FRX.....	42
---	----

APÊNDICES

APÊNDICES.....	58
APÊNDICE A - Exposição “Brasilidade Pós-Modernismo”.....	58
APÊNDICE B - Oficina Poética do Habitar.....	60
APÊNDICE C - Trabalhos de campo.....	62
APÊNDICE D - Extração de pigmentos.....	65
APÊNDICE E.1 - Caracterização mineralógica por Difração de Raios-X.....	68
APÊNDICE E.2 - Resultados Difração de Raios-X	70
APÊNDICE F.1 - Espectrofotometria.....	73
APÊNDICE F.2 - Resultados Espectrofotometria.....	74
APÊNDICE G.1 - Fluorescência de Raios-X.....	75

APÊNDICE G.2 - Resultados Fluorescência de Raios-X.....	76
APÊNDICE H - Produção da tinta.....	78
APÊNDICE I - Oferecimento de oficinas.....	81
APÊNDICE J - Entrevista com artista.....	85

1. INTRODUÇÃO

Os pigmentos são os principais constituintes das tintas utilizadas em pintura. De acordo com a CPRM (2015), são as substâncias responsáveis por conferir cor a um determinado material, atuando nas tintas sob a forma de pequenas partículas insolúveis (com diâmetro na ordem de 1 μm) ligadas entre si por aglutinante. Estes pigmentos podem ser artificiais e quimicamente sintetizados e produzidos, ou naturais, ou seja, de origem mineral, vegetal ou animal.

Os pigmentos naturais são os mais antigos conhecidos pela humanidade, e possuem maior estabilidade e utilidade, diferentemente dos corantes. Segundo Saron et al. (2006), a diferença básica entre pigmentos e corantes está no tamanho da partícula e na solubilidade no meio em que é inserido. Para Cruz (2007), ambos possuem a função de colorir, porém os corantes são materiais solúveis, orgânicos e especialmente utilizados no tingimento de têxteis.

De uma forma geral, os pigmentos minerais (figura 1) são materiais inorgânicos derivados de minerais naturais do solo, ou então de misturas complexas e agregados, como terras e argilas. São extraídos dos solos e dos minerais, tais como a hematita, goethita, lápis-lazúli, malaquita e argilominerais, sendo obtidos através de moagem, peneiramento, decantação e extração, proporcionando uma vasta paleta de cores para pintura, de acordo com a coloração do mineral.



Figura 1 - Pigmentos Pré-históricos (óxidos naturais). Foto: Gomes et al. (2014) - Serviços Educativos do Museu de Arte Pré-histórica em Mação, Portugal.

Os pigmentos minerais têm sido utilizados durante a história em pinturas rupestres, desenhos em pergaminhos, manuscritos ou para decorar objetos, paredes e elementos

arquitetônicos, entre outros. Esta forma artística é uma parte valiosa do patrimônio cultural de muitos países, pois é o resultado do equilíbrio entre meio ambiente, regras de organização social e modos de ver o mundo de cada grupo humano, tribo, nação, civilização, e hoje em dia são amplamente utilizados na arte contemporânea em telas para pintura.

Atualmente, observam-se crescentes trabalhos de artistas que preparam seus próprios pigmentos para utilização nas pinturas. O processo gira em torno do estudo e da exploração dos minerais e do solo de determinada localidade, onde é possível coletar os materiais e extrair os pigmentos, criando as mais diversas paletas de cores.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste Trabalho de Formatura foram: i) obtenção e caracterização de pigmentos de solos coletados em algumas localidades no estado de São Paulo; ii) pesquisa sobre o trabalho de artistas nacionais, em paralelo com a geologia de sua localidade e iii) contribuição para o projeto intitulado “Kit pintando com minerais” da Profa. Dra. Christine Laure Marie Bourotte.

Para a obtenção e caracterização de pigmentos, buscou-se reunir ferramentas e conceitos importantes para a determinação da origem e uso dos pigmentos, através de pesquisas bibliográficas, da participação de atividades, e interpretação de análises físico-químicas. Para a pesquisa sobre o trabalho de artistas nacionais, buscou-se a participação em exposições, oficinas e a promoção de entrevista com artista.

Por fim, o trabalho também visou contribuir para a elaboração do kit pedagógico “pintando com minerais”, que deverá conter amostras brutas de minerais e solos, pigmentos extraídos, pincéis para pintura e brochura pedagógica de apoio, com explicações e propostas de atividades, através do oferecimento de oficinas.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

Para um material ser usado como pigmento, este precisa ser estável e quimicamente inerte, de tal maneira, que resista à luz, ao ar e à umidade, ou a ambientes em que estes três agentes estejam combinados. Uma paleta de pigmentos minerais pode ser caracterizada pela sua cor, estrutura, granulometria, dimensão geográfica, origem e região de utilização, bem como pelo seu tipo de utilização e por sua origem natural ou sintética (EASTAUGH, 2004).

Sobre a origem dos pigmentos, Orna (2015) aponta que desde a Pré-História, a sobrevivência dos indivíduos dependia da adaptação ao ambiente, através da busca por

comida, fogo e abrigo. A fabricação e evolução da Química transformou a matéria-prima em substâncias necessárias para a vida. Quanto à produção de cores, não era essencialmente uma tecnologia que garantiria a sobrevivência, porém, para a autora, era necessária para o sucesso durante as práticas cotidianas. Segundo ela, a sobrevivência das tribos dependia também de suas crenças espirituais, sobre o favorecimento de certos espíritos cujas imagens, pintadas nas paredes das cavernas, permitiriam a uma tribo controlar o resultado da caça que asseguraria a sobrevivência para outro inverno, ou ainda a vida após a morte.

As diversas teorias para a origem dos pigmentos dependem do conhecimento das civilizações antigas, por meio de escavações de sepulturas, túmulos, galerias subterrâneas, antigas construções, artefatos, entre outros. De acordo com Elias et al. (2006), a importância das matérias-primas para a produção de pigmentos no registro rupestre está testemunhada, por exemplo, pela presença de minas de ocre documentadas na Pré-História, pelo menos desde o Neolítico.

Barnett et al. (2005) afirmam que o surgimento das cores remonta ao período pré-histórico, do Paleolítico ao Neolítico, no qual eram utilizados fuligem da queima de gordura animal e carvão vegetal proveniente do fogo para pigmentos na cor preta, além de pigmentos de terra nas cores ocres amarelo e vermelho, ocorridos naturalmente em regiões vulcânicas cuja temperatura influencia na formação da cor pela desidratação.

Neste período evidenciam-se também os registros rupestres, palavra derivada da latina *rupes*, que significa "parede de rocha", que eram pinturas e gravuras sobre superfícies rochosas, paredes ou tetos de grutas, abrigos, blocos, lajedos e matacões, que garantem longa durabilidade e resistência (NASCIMENTO et al., 2013). Os diferentes grupos humanos expressavam o mundo visível através de desenhos e símbolos, manifestando a necessidade do ser humano de deixar marcas no ambiente. As pinturas faziam referência ao território e às práticas e condutas do cotidiano, bem como indicando locais importantes, seja para marcar um caminho, fontes de água e alimento ou ainda de forte motivo emocional, desejos íntimos e vontades latentes. Para os autores, estas marcações deram origem à arte pictural.

Para os registros rupestres fazia-se uso de óxidos metálicos como pigmentos, ou seja, os ocres de cor amarela, vermelha e castanha (figura 2), pois em oposição às tintas feitas de plantas e animais, as tintas minerais mantêm a sua cor ao longo do tempo, e possuem cores características de acordo com a composição e concentração dos óxidos de ferro (BARNETT et al., 2005).



Figura 2 - Ocre, óxidos de ferro naturais. Foto: Gomes et al. (2014)

O registro mais antigo de arte pictural com uso de pigmentos minerais encontra-se na Caverna de Chauvet, na França, com cerca de 30 mil anos, e trata-se de pinturas feitas à base de pigmento preto de carvão (VALLADAS, 2003), conforme ilustrado na figura 3.



Figura 3 - Registros rupestres na Caverna de Chauvet, França. Foto: <https://arqueologiaeprehistoria.com>

No Brasil, a região nordestina é excepcionalmente rica em vestígios arqueológicos, que servem de testemunho de atividades humanas. Uma das principais unidades de conservação brasileira, o Parque Nacional da Serra da Capivara, no Piauí, abriga o maior e mais antigo acervo rupestre da América do Sul. O Parque foi criado em 1979 para preservação do patrimônio arqueológico, e na área tombada foram localizados cerca de 400 sítios arqueológicos, nos quais a maioria deles contém painéis de pinturas e gravuras rupestres de grande valor estético e cultural (IPHAN, 2022).

De acordo com Alves et al. (2011), os registros rupestres do Parque (figura 4) registram padrões de pinturas e gravuras de caça, território e locais importantes, animais diversos, além de práticas e condutas cotidianas. Com idades datadas de 17 a 25 mil anos, são encontradas nas paredes ou tetos de grutas, abrigos, blocos, lajedos e costões de pedras. Os pigmentos utilizados eram preparados a partir de ocre ricos em óxidos de ferro (hematita e goethita), óxido de manganês e outros minerais, além de carvão vegetal, ossos queimados e pinturas à base de pigmentos vegetais.

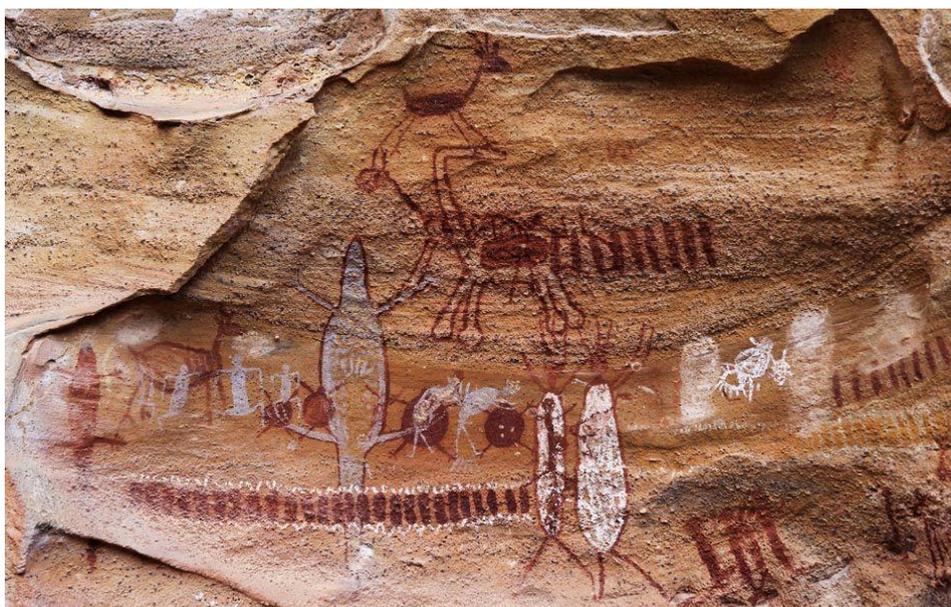


Figura 4 - Registros rupestres pintados com pigmentos minerais, no Parque Nacional da Serra da Capivara (PI).
Foto: IPHAN/Tadeu Gonçalves.

O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, em Minas Gerais, é um outro exemplo brasileiro. Esta Unidade de Conservação foi criada em 1999 para proteger o valioso patrimônio geológico e arqueológico existente na região, pois abriga mais de 140 cavernas e 80 sítios arqueológicos, além de diversas pinturas rupestres (figura 5a).

Com base nos estudos de Faria et al. (2011), concentrados no sítio arqueológico Abrigo Norte do Janelão, localizado no Vale do Peruaçu, município de Januária, norte de Minas Gerais, este sítio é um grande abrigo sob rocha calcária, e contém inúmeras inscrições rupestres sobre a rocha (figura 5b). As substâncias minerais identificadas nas amostras de pigmentos variam entre carvão, calcita (CaCO_3), hematita (Fe_2O_3), goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), whewellita ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$) e weddelita ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



a

b



Figura 5 - Registros rupestres no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (MG): a) Lapa dos Desenhos; b) Gruta do Janelão; c) Placa informativa; e d) Ilustração do uso dos solos. Fotos: Profa. Christine Laure Marie Bourotte.

Na Idade Antiga, os egípcios começaram a fabricar cores e a partir de cerca de 4000 a.C. introduziram a lavagem de pigmentos para aumentar a sua força e pureza. Também introduziram novos materiais, como o pigmento azul egípcio por volta de 3000 a.C., muito estável e conferindo aparência fresca em murais de pinturas até hoje (BARNETT et al., 2005). Os egípcios também usavam malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), provavelmente o mais antigo pigmento verde conhecido, e azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), um pigmento azul esverdeado, conforme ilustrado na figura 6.



Figura 6 - a) Malaquita e b) Azurita.

Fotos: Materiais Didáticos, IGc-USP (<https://didatico.igc.usp.br/minerais>).

O pigmento azul egípcio é um silicato de cobre e cálcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) feito por mistura de um sal de cálcio (carbonato, sulfato ou hidróxido de cálcio), um composto de cobre (óxido ou malaquita) e areia (sílica). Isto era aquecido para produzir um vidro colorido chamado de “fritas”, e moído a um pó para utilização. As tintas foram feitas utilizando o pigmento moído

com gomas ou cola animal, que tornou-os exequíveis e fixou-os à superfície sendo decorado (BARNETT et al., 2005).

Barnett et al. (2005) citam que as civilizações da Antiguidade já buscavam desenvolver a ciência e a tecnologia, como é o caso dos chineses na Antiguidade Oriental, que criaram o pigmento "vermelhão", cerca de 2000 anos antes de os romanos passarem a utilizá-lo. O vermelhão é um pigmento vermelho, obtido ao triturar, lavar e aquecer o mineral cinábrio, um sulfeto de mercúrio (HgS).

Já na Antiguidade Clássica, os gregos contribuíram para a pintura fabricando o pigmento branco, sendo considerado até hoje o pigmento mais branco de todos, e muito utilizado na área de cosméticos. É produzido com alvaiade, um carbonato de chumbo básico obtido do mineral hidrocerusita ($Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$). Também desenvolveram a fabricação de chumbo vermelho, que foi utilizado para escorvamento de metal na construção, sendo uma forma de óxido de chumbo ($Pb^{2+}_2 Pb^{4+}O_4$), encontrado na forma do mineral minium.

Já os romanos faziam o uso de muitos pigmentos criados pelos chineses e gregos, porém também introduziram a púrpura tíria, obtida através de glândulas de moluscos e o cinábrio, utilizado como pigmento mineral em decorações de paredes nas casas dos ricos em Pompeia, estátuas de gladiadores e usado por mulheres romanas como batom (BARNETT et al., 2005).

Na Idade Média, o avanço da paleta de cores se deu principalmente no uso de cores claras pelos pintores, que achavam as cores escuras monótonas. No final do século XV, eram utilizados: o pigmento *umber*, de cor castanha e que compreende ferro hidratado e óxidos de manganês, em sua forma natural é chamado de *raw sienna* e quando aquecido, *burnt umber*; o pigmento *raw umber*, ocres encontrados na Toscana (Itália), e os pigmentos brancos de ossos, aproveitados através da queima e trituração das cinzas, como alternativa a toxicidade do chumbo branco (BARNETT et al., 2005).

Para utilização da cor vermelha, fez-se uso do chumbo laranja, preparado através do aquecimento do chumbo branco, sendo mais barato e com maior disponibilidade do que o cinábrio. Para obtenção do azul, além da azurita utilizada pelos antigos egípcios, ficou marcado o uso do azul ultramarino, através da moagem do lápis lazúli (BARNETT et al., 2005). É uma rocha composta por uma mistura de minerais: lazurita ($Na_7Ca(Al_6Si_6O_{24})(SO_4)(S_3)^- \cdot H_2O$), o principal componente e, geralmente, calcita e pirita, bem como outros silicatos (haüyna ($Na_3Ca(Si_3Al_3)O_{12}(SO_4)$), sodalita ($Na_4(Si_3Al_3)O_{12}Cl$), diopsídio ($CaMgSi_2O_6$), forsterita ($Mg_2(SiO_4)$), muscovita ($KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$) ou wollastonita ($CaSiO_3$)). Sanyova (2011) explica que a cor azul ultramarino da lazurita se dá pela presença de ânions de sulfeto (S_3^-) em sua composição, variando a tonalidade em função da concentração exata destes ânions.

A transição entre o final do período medieval e início da Idade Moderna foi marcada pelo Renascimento, um período de grandes mudanças e conquistas culturais. Entre elas, destaca-se que a cor azul era associada à pureza e o ultramarino utilizado em pinturas da Virgem Maria, pois era usualmente retratada vestindo um manto azul ultramarino. Desta forma, o preço elevado deste pigmento significava que a sua utilização era apropriada à nobres como a mãe de Cristo (BARNETT et al., 2005). A figura 7 ilustra o retábulo da torre com cenas da infância de Cristo, pintado em 1390, com aplicação do pigmento azul ultramarino nas vestimentas. A espessa camada aplicada na pintura sugere a importância do orçamento deste trabalho.



Figura 7 - Retábulo da torre com cenas da infância de Cristo, 1390. Museum Mayer van den Bergh, inv. 2, Antuérpia, Bélgica. Foto: Sanyova, 2011.

Obras de arte tais como decorações e imagens possuem um forte valor simbólico aos seres humanos. Para Reiche (2019), os pigmentos podem ser considerados como indicadores do pensamento humano, além das escolhas técnicas, da disponibilidade e do valor. Alguns pigmentos, como o lápis lazúli e o púrpura, eram considerados materiais de luxo e de prestígio antigamente, porque os pigmentos azuis e roxos naturais eram muito raros. Suas utilizações em objetos de arte eram, portanto, um indicador do poder financeiro do proprietário.

Malaquita e verdigris eram utilizados como fontes de cor verde e ouro-pigmento e ocre continuaram a ser empregues para o amarelo. Durante o Renascimento foi desenvolvido também o amarelo de Nápoles, um pigmento extraído da bindheimita ($Pb_2Sb^{5+}_2O_7$), sendo fabricado por aquecimento de um composto de chumbo, tal como o óxido

ou nitrato, com acréscimo de antimônio (óxido ou sulfeto), ou potássio antimônio. Foram também utilizados substitutos ao ouro para reduzir o custo do pigmento dourado em pinturas, tal qual o sulfeto de estanho (SnS_2), que era conhecido como ouro mosaico e veio a ser usado no início do século XV (BARNETT et al., 2005).

Outras manifestações do período renascentista em relação a arte com pigmentos foram encontradas através de escavações no subsolo da Catedral de Siena na Itália, onde foram encontradas pinturas datadas do século XIV (MUGNAINI et al., 2006). As pinturas (figura 8) estão preservadas nas paredes e nos pilares sob o chão da Catedral, e representam principalmente histórias do Antigo e do Novo Testamento. As análises químicas e mineralógicas permitiram identificar a utilização de 13 tipos de pigmentos minerais, entre eles os ocres vermelho e amarelo, o preto carvão, a azurita, a crocoíta, o cinábrio, o minium, etc.

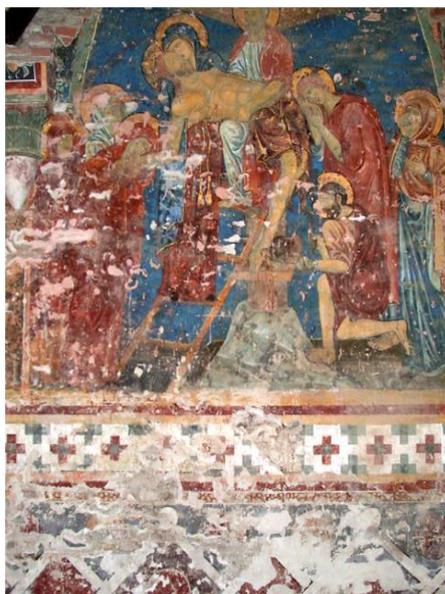


Figura 8 - Pinturas com pigmentos na Catedral de Siena, Itália.

Na Idade Moderna, o primeiro pigmento quimicamente sintetizado foi o azul da Prússia, criado na Alemanha em 1704 por Diesbach. O produtor de pigmentos planejava criar uma cor vermelha, quando ao misturar certos aditivos ao substrato obteve a cor azul. O azul ultramarino seguiu sendo o pigmento azul de maior importância no período, dessa forma, ainda era extremamente valorizado e seu valor elevado (BARNETT et al., 2005).

Segundo Cruz (2007), o uso de azurita, malaquita e os ocres (óxidos de ferro com coloração amarela, castanha ou vermelha) em pinturas murais com têmperas "tiveram particular importância nos séculos XVII e XVIII quando contribuíram para que os pintores se pudessem considerar criadores como Deus".

Segundo Barnett et al. (2005), a modernidade é marcada pela expansão dos pigmentos sintéticos, fabricados principalmente a partir do cobalto, com a combinação de

óxido de cobalto com alumínio, fósforo, estanho, zinco e outros metais, gerando assim uma grande variedade de cores. Como exemplo, foi criado o azul ultramarino francês, que é quimicamente idêntico ao Lápis Lazúli e continua a ser uma cor importante e popular para artistas contemporâneos. O *smalt*, outro pigmento azul, é composto por vidro moído contendo cobalto, produzido por aquecimento de quartzo, carbonato de potássio e cloreto de cobalto. Foi substituído no século XIX pelo azul de cobalto, desenvolvido como parte do estudo para produção de porcelana Sèvres, em Marselha, França (BARNETT et al., 2005). Ainda, com o crescimento, surgiram outros pigmentos como: o verde de cobalto; violeta de cobalto; amarelo cobalto; branco chinês; amarelo de cádmio; vermelho de cádmio; amarelo indiano; verde esmeralda; o Amarelo Hansa, um pigmento mais permanente do que o cádmio amarelo; o *alizarin crimson* e *alizarin madder*, que possuem alto nível de tingimento e uma elevada transparência, sendo popular entre os artistas; pigmentos do grupo “cores de Marte”, que são óxidos de ferro sintéticos desenvolvidos no século XIX com uma gama de tonalidades, entre elas vermelhos, castanhos, amarelos, violetas e pretos, produzidos por aquecimento dos óxidos em condições controladas; o titânio branco, substituindo o branco de chumbo, através de um método econômico de purificação do titânio, sem riscos, de cor branco forte e opaco, e muito popular entre os artistas; e o azul ftalo, comercializado à artistas como azul Winsor, produto da reação de ftalocianina com o recipiente de cobre (BARNETT et al., 2005).

Na Idade Contemporânea, com a Revolução Industrial entre os séculos XVIII e XIX, o crescimento da indústria têxtil se destacou com a automação, levando ao desenvolvimento de diversos novos pigmentos, como o roxo Tyrean, um composto à base de alcatrão de anilina/carvão, que tornou-se a cor da moda para o vestuário de mulheres na época (BARNETT et al., 2005).

Nos anos 50 do século XX, foram introduzidos um importante grupo de pigmentos em termos de alto desempenho e permanência, as quinacridonas. Os derivados de quinacridona produzem pigmentos vermelhos, violeta, rosa permanente e magenta permanente. Na década de 90 surgiram muitos pigmentos sintéticos e orgânicos, os perilenos, perolados e *arylides*, viabilizando uma maior transparência, mistura e envidraçamento (BARNETT et al., 2005).

Tal qual a indústria têxtil no século XIX, a indústria automobilística no final do século XX tornou-se um fator importante para o desenvolvimento dos pigmentos, por conta das exigências para pintura da superfície de automóveis, expostas a condições climáticas, por vezes extremas. O século XXI caracteriza-se pelo *spin-off*, ou seja, a produção de produtos derivados de outros já existentes, trazendo mais benefícios aos artistas consumidores. Estes seguem utilizando os pigmentos sintéticos modernos, por conta de sua elevada intensidade e durabilidade (BARNETT et al., 2005).

No Brasil, Pereira et al. (2007), realizaram um estudo de pigmentos naturais de minerais na região de Itabirito (MG), que passaram por diversas etapas de tratamento e foram

identificados posteriormente por DRX, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X. De acordo com os autores, os pigmentos apresentaram boa estabilidade da cor, quando submetidos a altas temperaturas. Os pesquisadores verificaram a presença de caulinita, illita, talco e hematita, que são minerais característicos da região. Essa variação de composição influencia diretamente na cor dos pigmentos, por exemplo, com maior teor de ferro, mais escura torna-se a cor.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este tópico, serão descritas as atividades executadas durante este Trabalho de Formatura, dentre elas oficinas interativas, trabalhos de campo, análises físico-químicas, entrevista realizada com artista, e o processo de extração de pigmentos.

4.1. Exposição “Brasilidade Pós-Modernismo”

A fim de familiarizar-se com o ramo da arte integrada à geologia, a primeira atividade executada para este trabalho foi a visita em 25/02/2022 à exposição “Brasilidade Pós-Modernismo”, no Centro Cultural Banco do Brasil (CCBB) para celebrar o centenário da Semana de Arte Moderna de 1922. Trata-se das conquistas e marcos que as manifestações artístico-culturais do Modernismo trouxeram às artes visuais brasileiras, apresentando as características que influenciaram na arte contemporânea, e reunindo obras e trabalhos de diversos artistas atuais.

O objetivo da visita foi de conhecer e prestigiar o trabalho da artista brasileira Marlene Almeida, pioneira no âmbito da pesquisa de materiais e de pigmentos naturais. A exposição revelou sua coleção de desenhos, materiais de pesquisa e objetos, buscando expor a origem e o processo de seu trabalho através do uso de pigmentos naturais.

Marlene nasceu em 1942, em Bananeiras (PB), e é graduada em Filosofia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde fez cursos de desenho, pintura e escultura. Começou a estudar e trabalhar com materiais artísticos a partir da década de 70, quando obteve bolsa para desenvolver seus estudos sobre pigmentos naturais, e passou a ministrar cursos para produção de tintas naturais (ARRUDA, 2022).

A artista apresentou sua obra “Terra tão só”, realizada entre 1981 e 2021, que buscava expor um testemunho vivo dos elementos da terra para simbolizar sua produção pictórica. Destaca-se a complexidade das etapas de pesquisa, coleta, preparo e aplicação das riquezas naturais, sobretudo dos pigmentos minerais, utilizados para representar sua ação e ativismo em relação ao meio ambiente.

Sua cartografia pessoal e artística em exposição contava com diversas amostras de solos, sementes e raízes, coletados principalmente na região nordeste do Brasil, onde reside em João Pessoa (PB). Também revelava suas paletas de cores, organizadas por tonalidades, croquis esboçados em seus trabalhos de campo, mapas geológicos utilizados, além de expor os materiais produzidos em cada etapa na extração dos pigmentos.

Segundo a curadora da exposição, Arruda (2022), a obra manifestou a sensibilidade da artista e seu empenho pela natureza e sustentabilidade, além de transmitir sua visão e conceitos pessoais sobre a importância da terra, enfatizando a questão temporal deste elemento.

A visita à exposição está ilustrada com fotos no apêndice A.

4.2. Oficina Poética do Habitar

A oficina “As cores do chão do parque: mapeamento e coleta de elementos tintórios naturais com Denise Valarini e Rayssa Oliveira”, oferecida pelo Museu de Arte Moderna (MAM) em 04/06/2022 no Parque Ibirapuera, foi um laboratório destinado à produção de materiais artísticos, através do reconhecimento e coleta de elementos naturais. O mapeamento contou com a coleta de diferentes tipos de solos, folhas, flores, galhos e cascas de árvores, no entorno natural do parque, nos quais foram extraídos seus pigmentos para produção de tintas naturais e finalização com um inventário cromático.

O programa da oficina teve início com a apresentação do projeto, acompanhado da visão e entendimento da arte por parte das artistas. Citando Denise Valarini, idealizadora do projeto “Poética do Habitar”:

“ampliamos nossa capacidade de perceber. Aprendemos sobre texturas, cores, guiadas por nossa sensibilidade estética. São muitas as cores a cada camada. Coletar é estar atento e tomar consciência do que está à nossa volta: observando com atenção as distintas cores do solo, passamos a ouvir melhor, e nos abrimos para o chamado da terra que nos equilibra e nos orienta. [...] Atenta aos ecossistemas circundantes, às áreas de preservação, recolhemos com ética, e cuidado, logo esses materiais estão nas bancadas do meu estúdio. Investigo os processos de extração de pigmentos, entro em contato profundo com os segredos da terra. São cores que agora se vão revelando no lado de dentro, no interior da casa. Encontro nos pigmentos terrestres texturas que refletem histórias, cheiros, odores, fragmentos de luz, numa revelação constante que permite tomar consciência das cores da terra e das texturas espalhadas pelos ambientes.” (Denise Valarini, Poética do Habitar, 2022).

Após a breve introdução da oficina, todos saíram para uma caminhada no parque, onde foram coletados os materiais naturais. Ao retornar para a oficina, os materiais coletados pelos participantes foram reunidos e deu-se início ao processo de moagem e extração dos pigmentos. Durante todo o processo em diante, as artistas primeiramente ensinavam a forma como trabalham, e em seguida os participantes podiam praticar os métodos apresentados.

Após a moagem, o material foi filtrado para eliminação de frações mais grossas do solo, e com a passagem das frações silte e argila, o recipiente foi então deixado em repouso para decantação. Durante este processo, a fração silte permanece no fundo e a argila emerge na água do recipiente e esta, portanto, caracteriza-se como o pigmento extraído, pronto para preparação da tinta.

Vale ressaltar, inclusive, que devido ao curto período disponível para a oficina, as artistas salientaram que as etapas executadas não tiveram o tempo necessário de alguns dias, nem a quantidade de repetições ideais para preparação, e foram feitas de forma mais simples, a fim de apresentar de forma didática o processo de extração de pigmentos naturais.

Com o processo de decantação concluído, iniciou-se a preparação da tinta, onde o pigmento extraído após a decantação foi misturado com goma arábica, servindo de aglutinante, e mel para hidratação. Utilizou-se uma muleta de vidro para macerar o restante do material, sobre uma placa de vidro temperado.

Finalizado, portanto, o processo de preparação da tinta, a oficina foi concluída com a confecção de um inventário cromático, resultante das tintas preparadas por meio da extração de pigmentos naturais dos diferentes solos coletados no Parque Ibirapuera.

As etapas da oficina interativa estão ilustradas com fotos no apêndice B.

4.3. Trabalhos de campo e contexto geológico

Os trabalhos de campo para coleta de solos foram realizados em diferentes localidades do estado de São Paulo, garantindo que houvesse amostras tanto da Bacia do Paraná, como do embasamento cristalino. Destaca-se que as fotos dos trabalhos de campo realizados estão ilustradas no apêndice C.

No dia 09/06/2022 foi realizado o primeiro trabalho de reconhecimento e amostragem na mineradora Argilas Morro Grande, localizada na cidade de Monte Mor - SP. A cidade está inserida na região metropolitana de Campinas, e toda esta região é conhecida por abranger a indústria cerâmica, possuindo ainda enorme capacidade de extração mineral para cerâmica vermelha e de revestimentos.

A jazida da mineradora está localizada sobre o Subgrupo Itararé (rochas sedimentares do Grupo Tubarão) cujas formações geológicas pertencem à Bacia Sedimentar do Paraná. Este grupo é um registro de glaciação gondwânica que ocorreu entre 360 e 270 Ma. A

subdivisão do local com a presença de arenitos finos e argilosos indica que a área antes era formada por ambiente marinho de águas rasas com influência glacial (SOUZA et al., 1997).

De acordo com Saad (1977), o Subgrupo Itararé, unidade inferior do Grupo Tubarão, contém diamictitos e rochas associadas de origem glacial. O autor atesta a subdivisão do Grupo Tubarão feita por Rocha Campos (1967) em uma unidade inferior, portadora de diamictitos e rochas associadas de provável origem glacial, denominada Subgrupo Itararé e outra sobrejacente, mas desprovida de evidências de origem glacial (sequência pós-glacial), para a qual sugeriu a denominação de Formação Tatuí, sendo essas formações separadas por uma discordância erosiva regional. O mapa geológico simplificado da figura 9 ilustra o Grupo Tubarão e o Subgrupo Itararé, e a localização aproximada do município de Monte Mor (SP).

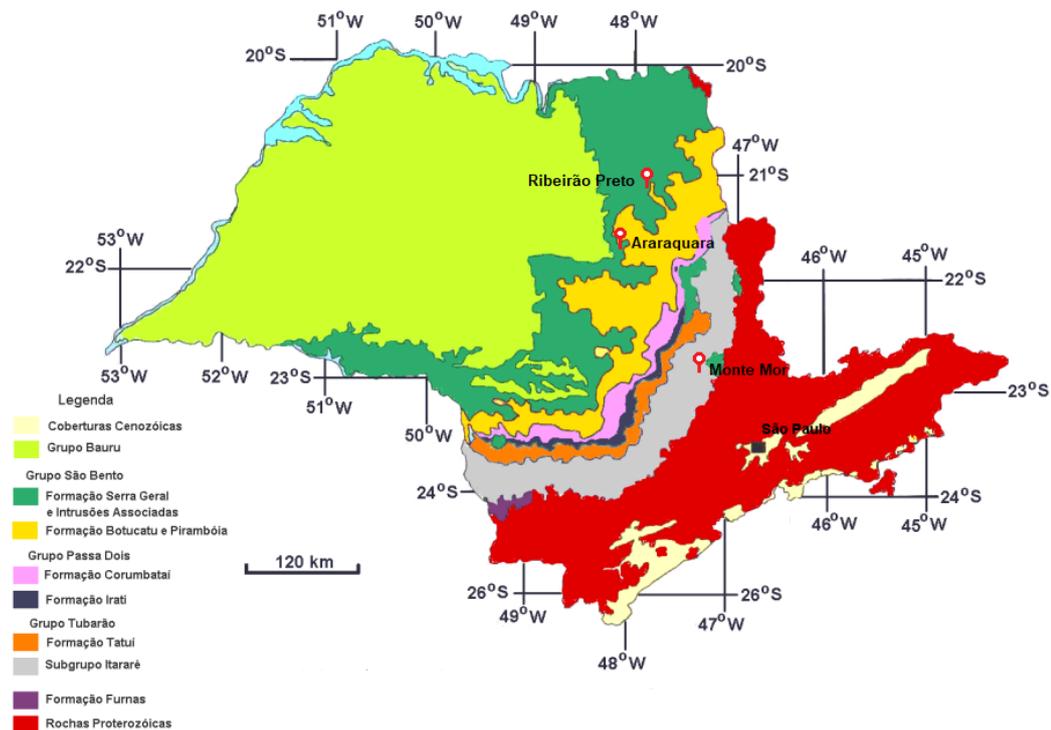


Figura 9 - Mapa geológico simplificado do Estado de São Paulo.
 Fonte: Modificado e resumido de Toledo, 2001.

Com base no mapeamento litoestratigráfico do Subgrupo Itararé, na região de Campinas (SP) e abrangendo o Município de Monte Mor elaborado por Souza Filho (1986) foram reconhecidas sete unidades litoestratigráfica: Unidade I – arenitos em granodecrescência ascendente; Unidade II – lamitos; Unidade III – lamitos e diamictitos; Unidade IV – arenitos; Unidade V – diamictitos e arenitos; Unidade VI – arenitos com marcas onduladas e Unidade VII – diamictitos vermelhos. De acordo com o autor, as regiões próximas à Campinas, Monte Mor, Limeira e Caiubi possibilitam a observação das relações entre as unidades I e II; III, IV e V; III e VI e VI e VII, respectivamente. Conforme a figura 10, observa-

se o mapa geológico da região e a localização aproximada da jazida da mineradora, onde, de acordo com a descrição feita por Souza Filho (1986) ocorrem lamitos, diamictitos e arenitos.



Figura 10 - Localização da Mineradora Argilas Morro Grande no mapa geológico do município de Monte Mor (SP). Fonte: Mune et al., 2007.

Na mineradora Argilas Morro Grande foram coletadas amostras com diferentes colorações denominadas: marrom, vermelho, rosa, amarelo claro, amarelo escuro, creme, verde, cinza e branco. As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e conduzidas ao Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da USP.

O segundo trabalho de campo foi realizado em 22/07/2022, na Cidade Universitária - USP, Campus Butantã. Amostras de solos foram coletadas na encosta do "barranco escola", localizado na Avenida Professor Lineu Prestes e próximo a Portaria de Pedestres da Vila Indiana. Foram coletadas amostras de dois pontos, distantes cerca de 20 m cada, conforme indicado por "área de estudo" da figura 11.



Figura 11 - Localização da área de trabalho de campo na Cidade Universitária - USP, campus Butantã.
Fonte: Pichler (2017).

De acordo com o site do Instituto de Geociências da USP (IGc-USP, 2022) a geologia do Campus, de forma geral, caracteriza-se por sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo recobrendo o substrato cristalino gnáissico. Este gnaisse foi produto da deformação de granitos de aproximadamente 600 Ma, cortados por conjuntos de falhas e formados em profundidades de pelo menos 20 km abaixo da superfície, sendo produtos da orogenia Mantiqueira. Já a Bacia Sedimentar de São Paulo, na área do campus, foi formada por reativações de antigos falhamentos do embasamento, resultando em depressões e originando bacias sedimentares que chegam a cobrir uma grande área da superfície da região metropolitana da cidade de São Paulo. Essa bacia começou a ser preenchida com sedimentos (argila, silte e areia) há cerca de 30 a 20 Ma, sendo transportados por rios, e depositados em planícies ou lagos antigos. Após a diagênese, os sedimentos recobriram a superfície exposta do substrato cristalino, e uma parte transformou-se em solo devido aos efeitos do intemperismo sobre as rochas à superfície.

Segundo Pinto et al. (2022), o mapeamento geológico (figura 12) da Cidade Universitária USP, campus Butantã e seu entorno revela uma ampla gama de feições geológicas. Os autores revelam uma significativa discordância no topo da Formação São Paulo, sendo esta composta por areia e argila bem selecionadas e finas de cor amarela intensa, contendo clastos esparsos de argila mosqueada. Este topo é recoberto por depósitos de até 30 m de espessura de um amplo fluxo de lama que recobre antigos sedimentos de aluviões. São depósitos de lama arroxeadada e areias vermelhas muito finas, com certo aspecto enferrujado expostos principalmente nas matas do campus, denominados como “Formação Bosque” no artigo, e abrangendo uma grande área da bacia do Estado de São Paulo e do campus da USP. Ainda, há uma preservação de clastos da Formação São Paulo, muitos dos

O local do trabalho de campo caracterizam-se portanto como o embasamento gnáissico com alto grau de metamorfismo, apresentando solos argilosos de coloração vermelha com diferentes tonalidades de rosa, nos pontos de coleta.

Por fim, destaca-se a inclusão de duas amostras de solos previamente coletadas pela orientadora, em seus trabalhos de campo em Ribeirão Preto, no Parque da Pedreira de Santa Luzia, e em Araraquara, na Pedreira Cristine (Sanen Engenharia). Os solos foram nomeados como “Terra roxa” e “Arara”, respectivamente (apêndice C). As amostras coletadas nestas cidades estão inseridas no contexto da formação Serra Geral (Bacia Sedimentar do Paraná), ou seja, de rochas vulcânicas básicas (basalto) que sofreram forte intemperismo e pedogênese, tornando-se solos de alteração basáltica, com alto teor de ferro e coloração marrom escuro.

4.4. Extração dos pigmentos

Para aprimorar o processo de extração dos pigmentos, foi utilizado uma amostra de solo de outra procedência, antes de trabalhar com os solos coletados. Para a primeira etapa do processo foram utilizados um almofariz de porcelana, um pistilo de porcelana, uma peneira de abertura de 0,063mm, um béquer, uma espátula e uma amostra de solo.

O processo de extração iniciou-se com uso de um solo de origem desconhecida, intitulado apenas como “solo para treino”. Partindo pela desagregação e cominuição da amostra, esta foi moída várias vezes para deixar com a granulação mais fina possível.

Em seguida, iniciou-se a etapa de peneiramento, através do uso de uma peneira de abertura de 0,063mm e uma mesa vibratória. Na extração de pigmentos busca-se um material de granulometria na fração argila, pois quanto mais fina (silte e argila), mais homogênea será a textura da tinta ao final. Assim, recuperou-se a fração peneirada fina, enquanto que a fração retida na peneira passou novamente pelo processo anterior e novo peneiramento.

Logo depois, para separar as frações de silte e argila que passaram pelo peneiramento, colocou-se esta porção em um béquer com água, para decantação durante 24h.

Após a decantação, descartou-se a água com cautela para não despejar a porção argilosa acumulada no fundo do recipiente. Para a próxima etapa, esta porção foi distribuída em placas de petri, a fim de secá-las e obter-se, portanto, o pigmento deste solo. Para secagem foi utilizada a estufa do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP, onde as placas de petri contendo a fração argila foram mantidas por alguns dias, e puderam secar totalmente.

Por fim, na seguinte e última etapa, o material seco foi fragmentado e levado novamente para o almofariz, onde passou por nova moagem para a desagregação final dos grãos remanescentes, e posteriormente armazenado em um frasco.

O processo foi então aplicado às amostras de solo coletadas em Morro Grande, nas Pedreiras e no campus da USP. Destaca-se que as etapas da extração de pigmentos estão ilustradas com fotos no apêndice D.

4.5. Caracterização mineralógica por Difração de Raios-X

Para caracterizar e compreender a diferenciação de cor dos solos coletados, as amostras foram encaminhadas para análise de Difração de Raios-X para verificação das correlações entre a composição mineralógica da fração argila e suas respectivas cores.

De acordo com Resende (2011), a técnica da Difração de Raios-X consiste na dispersão (espalhamento) do feixe de raios-X pelos elétrons dos átomos sem a mudança do comprimento de onda. Este fenômeno ocorre devido à interferência construtiva das ondas dos feixes difratados por planos atômicos da estrutura cristalina do mineral. Dada a periodicidade da distribuição atômica da rede cristalina, quando os raios X incidem sobre estes planos atômicos, são refletidos segundo os princípios básicos da reflexão, ou seja, o ângulo de incidência (θ_i) do feixe incidente é igual ao ângulo refletido (θ_r) do feixe difratado, conforme a figura 13 (RESENDE, 2011).

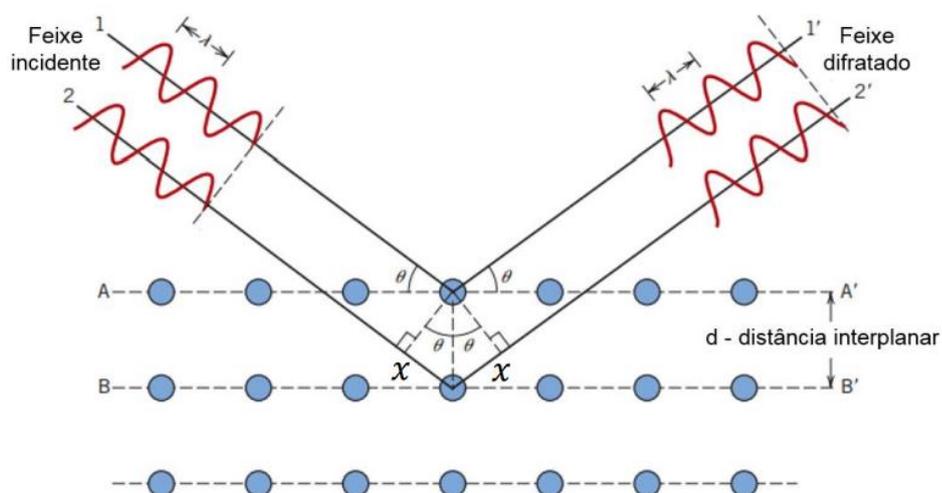


Figura 13 - Esquema da difratometria de raios-X. Fonte: EEL - USP, 2022.

Assim, a Lei de Bragg ($n\lambda = 2d \text{ sen}\theta$) expressa n como um número inteiro (1, 2, 3...) referente à ordem de difração, λ o comprimento de onda dos raios X incidentes, d a distância interplanar e θ o ângulo de Bragg.

Com base nestas informações, foram realizadas as análises de DRX nas amostras de solos coletadas durante os trabalhos de campo. Para isto, pequenas porções de cada solo foram moídas à granulometrias menores que 0,063mm em um almofariz de ágata com auxílio de um pistilo, também de ágata. Após a moagem, foram armazenadas as frações argila dos solos e encaminhada para análise no Laboratório de Difração de Raios-X do NAP Geoanalítica do Instituto de Geociências da USP.

No laboratório de DRX, os espécimes foram preparados sob supervisão do técnico Flávio Machado. O processo se iniciou com a mistura da argila com água destilada, e em seguida inserida em uma lâmina. Após um tempo de repouso para secagem, os espécimes foram conduzidos para o equipamento de difração de raios-X.

O equipamento utilizado para análise das argilas foi o difratômetro Bruker Modelo D8 Advance Da Vinci com detector LYNXEYE e ótica TWIN-TWIN, que permite operar com ótica divergente ou paralela (NAP-Geoanalítica, 2022). As condições analíticas do equipamento baseiam-se no método *Reference Intensity Ratios* (RIR), o qual compreende uma técnica padrão para análises semi-quantitativas que relacionam I/I_c, ou seja, a intensidade do pico mais forte da amostra para o pico mais forte do coríndon numa mistura 50/50 wt%. Não se faz necessário utilizar coríndon, pode ser qualquer referência se o conjunto de valores RIR das referências são determinadas de forma autoconsistente. Isso implica também na utilização do mesmo método para todas as referências, para determinar as intensidades (BRUKER, 2021). Ainda, destacam-se os parâmetros analíticos empregados pelo difratômetro, com ângulo de $2 - 65^\circ (2\theta)$ e tempo para contagem de 0,5 segundos/ passo.

Com base nas descrições de Santos (1989), o feixe de raios X atinge a superfície plana do espécime e é difratado, sendo detectado por um condutor Geiger que se move a uma velocidade constante em um arco de círculo, cujo centro coincide com o centro do espécime. Por fim, o contador registra graficamente, em posição e intensidade, os ângulos θ e as difrações correspondente, já as distâncias interplanares são calculadas através da Lei de Bragg.

Para obter uma melhor identificação dos argilominerais as amostras passam por tratamentos em estado natural (azul), tratamento com etilenoglicol (verde) e aquecida (vermelho). Neste caso, as amostras foram analisadas apenas no estado natural, pois não houve conflitos durante as interpretações dos dados.

De acordo com o físico e técnico do laboratório Flávio Machado, estes conflitos podem surgir pois os grupos da esmectita, clorita e vermiculita apresentam os mesmos picos de 14Å (Ångström) no estado natural. Enquanto no estado glicolado, os picos são de 18Å, 14Å e 14Å, respectivamente. Já o estado aquecido esclarece de vez, pois apresenta picos de 10Å, 14Å e 10Å, respectivamente. Para este trabalho os solos passaram apenas por tratamento natural, no qual nota-se ainda o grupo das micas à 10Å, da caulinita à 7Å e da clorita também à 7Å.

Ao final, os resultados obtidos foram conduzidos ao DIFFRAC.EVA, um *software* que fornece ferramentas para análise de dados de difração de raios-X e avaliar picos, antecedentes e áreas. Para gerar os difratogramas, foi necessário identificar os minerais da base de dados do *software* que coincidiam com os picos de difração formados no gráfico, selecionados em concordância com o conhecimento prévio da geologia local. Portanto, era possível prever e estimar as porcentagens dos minerais que compõem os solos analisados, visto que esta é uma análise semi-quantitativa.

As etapas de preparação das amostras para DRX estão ilustradas com fotos no apêndice E.1.

4.6. Medição de cor por Espectrofotometria

Para determinação da cor de cada solo coletado, foi utilizado o método de análise quantitativa instrumental de espectrofotometria, sendo feitas medições através do aparelho espectrofotômetro. Del Lama (2016) explica que este instrumento classifica a cor de acordo com a reflectância do objeto na região do espectro visível, ou seja, mede a luz refletida do objeto em cada comprimento de onda.

A faixa de comprimento de onda do espectro visível varia de 380 a 740 nm, sendo assim distribuída: violeta 380-440 nm, índigo 440-460 nm, azul 460-490 nm, verde 490-565 nm, amarelo 565-590 nm, laranja 590-630 nm e vermelho 630-780 nm. Cores com maiores comprimentos de onda têm menores frequências e menores energias.

A cor das substâncias se deve a absorção de certos comprimentos de ondas da luz branca que incide sobre elas, um fenômeno chamado absorvância, deixando transmitir aos nossos olhos apenas aqueles comprimentos de ondas não absorvidos, a chamada transmitância. Já a classificação das cores é expressa de acordo com alguns fatores: a tonalidade (cor: vermelho, amarelo, etc.); a luminosidade (clara/escura); e a saturação (pureza: cores vivas, cores sujas), sendo esta totalmente independente da tonalidade e da luminosidade.

Portanto, para determinação das cores Del Lama (2016) menciona a classificação regulamentada pela *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE), uma organização internacional dedicada ao estudo da luz e da cor, na qual estabelece o sistema de classificação de cor por CIE $L^*a^*b^*$. Esta classificação é descrita por 3 características: a claridade (N-S), cor (E-W) e saturação (pureza da cor), onde: L^* representa luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco); a^* e b^* são as coordenadas cromáticas: a^* positivo é vermelho e a^* negativo é verde, b^* positivo é amarelo e b^* negativo é azul.

O aparelho utilizado para o ensaio de espectrofotometria foi a Konica Minolta CM-2500d com abertura de 8 mm, disponibilizado pelo Laboratório de Mineralogia do IGc-USP

junto a Profa. Dra. Eliane Aparecida Del Lama, conforme ilustrado na figura 14. Este aparelho permite avaliar as características de cor e brilho relativo das amostras, utilizando simultaneamente os métodos de reflectância especular SCI (*Specular Component Included*) e SCE (*Specular Component Excluded*), garantindo uma melhor eficiência de trabalho e fornecendo dados estáveis.

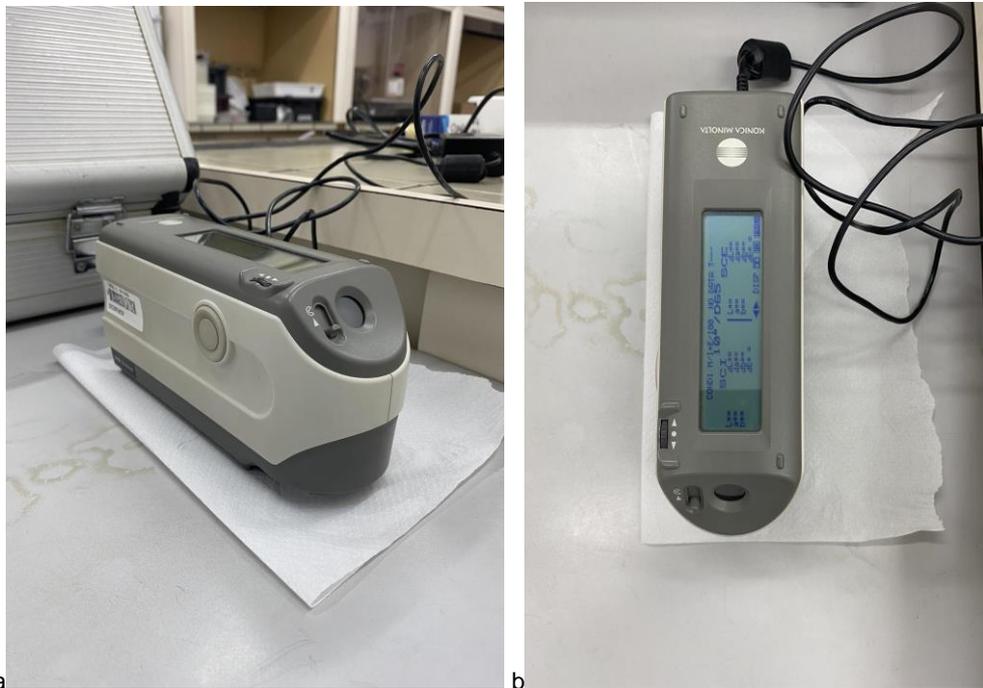


Figura 14 - a) Espectrofotômetro utilizado para classificação da cor dos solos e b) tela digital mostrando o registro dos dados. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.

O método SCI inclui a luz especular refletida, na qual reflete no mesmo ângulo e em direção oposta, juntamente com a difusa, sendo largamente utilizado nas áreas de pesquisa e desenvolvimento de cores, por identificar a cor verdadeira de um objeto. O outro método SCE exclui a luz especular refletida através de uma armadilha de luz, para que a reflectância não seja medida, e é ideal para comparação de cores por inspeção visual, semelhante a nossa visão, ou ainda em linhas de produção industrial (DEL LAMA, 2016).

Ainda, segundo Del Lama (2016) a total é a soma da reflectância especular mais a reflectância difusa, porém deve-se considerar apenas a reflectância difusa para medição de cores.

Para realização das medições foi adotada a quantidade de 4 medidas/15 cm² nas superfícies das amostras brutas e moídas (figura 15). Nas amostras brutas, o procedimento adotado foi, primeiramente, a limpeza da superfície da amostra com um pincel a fim de eliminar impurezas e grãos soltos, sendo escolhida uma superfície plana e lisa para garantir um melhor resultado. Já para as amostras moídas, foram utilizadas as mesmas embalagens

encaminhadas para análises de DRX, com o solo previamente moído com granulometria menor que 0,063mm.

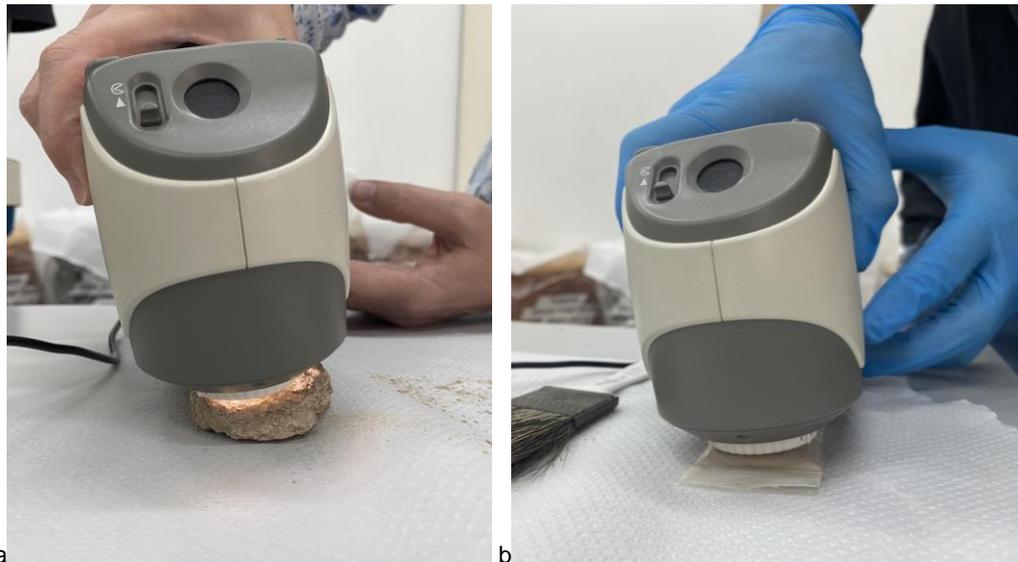


Figura 15 - a) Medição com o espectrofotômetro em amostra bruta e b) Medição com o espectrofotômetro em amostra moída. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.

Após as medições, os dados foram transferidos ao *software* OnColor e foram gerados os gráficos de reflectância espectral para cada cor.

Para identificação da cor, portanto, é utilizado o diagrama “Espaço de Cores CIELAB”, um modelo matemático utilizado para definir as cores a partir de fórmulas, reproduzindo todas as cores existentes no espectro visível, chegando o mais próximo da realidade. Conforme a figura 16a, por exemplo, observam-se as medições feitas em uma maçã, no qual o ponto A indicado equivale as coordenadas cartesianas $L^*a^*b^*$. A figura 16b indica o espaço de cores com variação da luminosidade, alterando assim a tonalidade da cor.

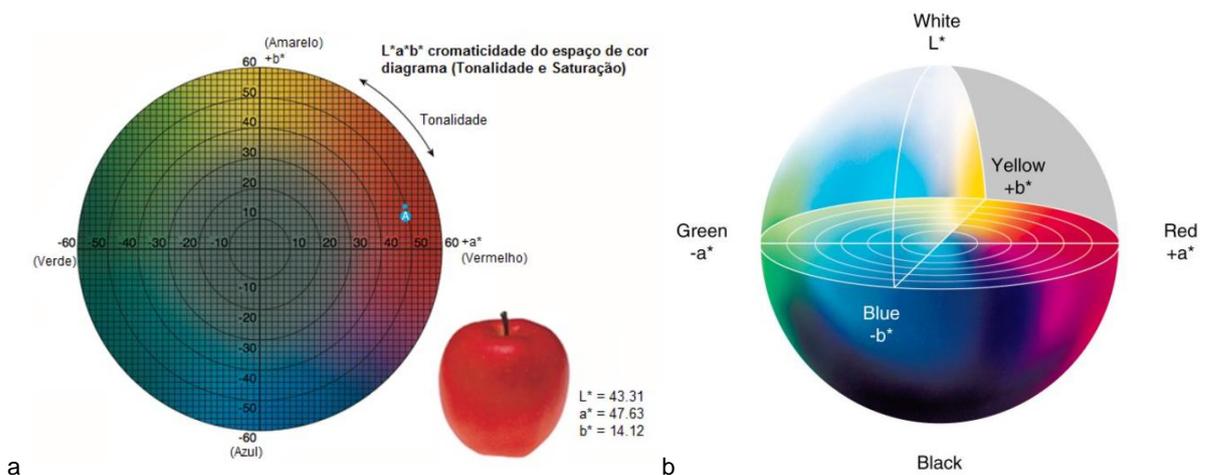


Figura 16 - a) Espaço de cores CIELAB e b) Espaço de cores CIELAB com variação de tonalidade.

Fonte: Konica Minolta, 2022.

As etapas de medição das cores das amostras estão ilustradas com fotos no apêndice F.1.

4.7. Caracterização da composição elemental por Fluorescência de Raios-X

Para compreensão dos mecanismos que diferenciam a cor dos solos e conciliar com as análises de DRX, as amostras foram encaminhadas para a análise química de Fluorescência de Raios-X (FRX). É um método não destrutivo que permite a identificação e a quantificação de elementos com número atômico maior que 12 (magnésio). Pode-se dizer que a FRX hoje está bem disseminada na comunidade científica, por sua habilidade em determinar elementos químicos, geralmente de forma rápida, sem destruir a matriz, com baixo custo operacional e mínimo, ou mesmo nenhum, preparo da amostra. O método auxilia na solução de certos problemas químicos, na obtenção rápida de um perfil de constituintes metálicos e não-metálicos, além de inúmeras aplicações em outras áreas da ciência como medicina, geologia, biologia, arqueologia, entre outras (BORJESSON et al., 2003; POTTS et al., 2003).

O princípio da técnica consiste em incidir raios X sobre a região a ser analisada de modo a excitar os elementos presentes, que emitirão assim raios X com energias características de cada elemento. As intensidades dos picos obtidos crescem com os teores dos elementos, permitindo, em certas condições, análises quantitativas (NEIVA et al., 2008).

Conforme ilustrado na figura 17, quando os elétrons da camada mais interna do átomo (por exemplo, K e L) interagem com fótons com energia na região dos raios-X, pode ocorrer a foto ejeção de E_0 (zero), criando-se uma vacância. Para promover a estabilidade, ocorre imediatamente o preenchimento das vagas eletrônicas por elétrons das camadas mais próximas (E_1 e E_2). Como resultado, há um excesso de energia no processo, que é manifestado na forma de emissão de raios-X característicos de cada átomo presente na amostra (JENKINS, 1999).

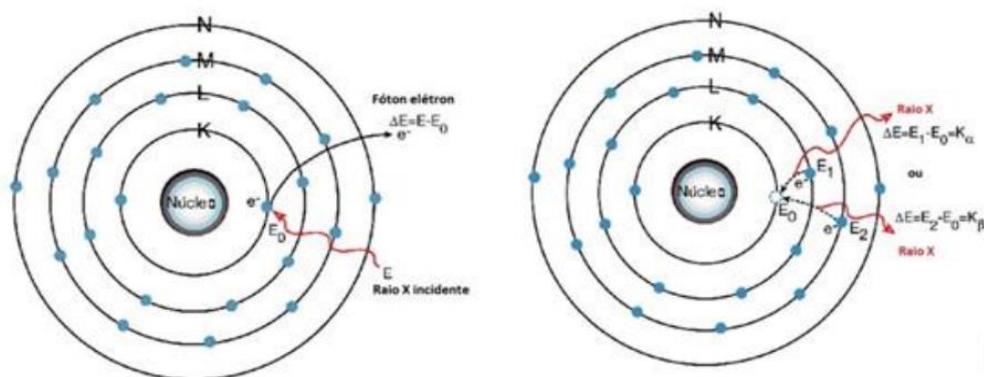


Figura 17 - Esquema do processo de Fluorescência de Raios-X.

Fonte: BORJESSON et al. (2003); POTTS et al.(2003).

Para realização das análises de FRX das amostras de solos coletadas durante os trabalhos de campo, pequenas porções de cada solo foram moídas à granulometrias menores que 0,063mm em um almofariz de ágata com auxílio de um pistilo, também de ágata. As análises nas amostras moídas foram realizadas com o aparelho analisador Bruker S1 Titan do Instituto de Geociências da USP, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Daniel Atencio.

As etapas de preparação das amostras para FRX estão ilustradas com fotos no apêndice G.1.

4.8. Oferecimento de oficinas

Oficinas intituladas “Pintando com o solo” foram oferecidas nas dependências do IGc-USP, durante os eventos da Semana de Arte e Cultura da USP e no Sábado da Geodiversidade, com o objetivo de apresentar e ensinar ao público visitante sobre a extração de pigmentos e produção de tinta a partir do solo.

A Semana de Arte e Cultura é um evento anual oferecido pela Pró-Reitoria de Cultura em conjunto com a Extensão Universitária da USP, além de diversas unidades de ensino, institutos e órgãos de cultura, com o objetivo de promover a reflexão sobre a questão da cultura na Universidade. Desta forma, busca-se dar visibilidade às manifestações artísticas e culturais de grupos estáveis, órgãos culturais, e Unidades e de iniciativas voluntárias de professores, funcionários e estudantes da USP, estimulando a comunidade acadêmica a participar das atividades (PRCEU, 2022). Em 2022, a Semana foi promovida entre 26 e 30 de setembro, sendo a oficina oferecida em parceria com o Museu de Geociências do IGc-USP, no dia 27/09/2022.

Já o Sábado da Geodiversidade foi um evento em comemoração ao Dia Internacional da Geodiversidade (6 de outubro) promovido pela UNESCO, ocorrido em 08/10/2022. Esta data foi aprovada pela 41ª Assembleia Geral da UNESCO em 2021, e foi criada com o objetivo de divulgar a geodiversidade em diversos aspectos. Durante o dia, o Instituto de Geociências da USP promoveu diversas atividades em prol da divulgação da Geodiversidade e das Geociências, através de oficinas temáticas com a participação de estudantes, docentes e funcionários.

4.9. Entrevista com artista

A fim de estudar as obras e os trabalhos de artistas nacionais, promoveu-se um encontro no dia 10/11/2022 com a artista Denise Valarini, idealizadora do projeto “Poética do Habitar”, no Instituto de Geociências da USP. O contato prévio com a artista deu-se após sua oficina, oferecida no Museu de Arte Moderna (MAM) do Parque Ibirapuera,

portanto havia um interesse de ambas as partes para a troca de experiências e informações sobre o trabalho com os pigmentos.

Durante a visita, foram apresentadas à artista as dependências públicas do IGc-USP e o Laboratório de Geoquímica, onde estão concentrados os trabalhos com os pigmentos. Foram exibidos todos os materiais coletados e utilizados durante o ano, além de expor os resultados obtidos nas oficinas oferecidas no Instituto. A partir daí criou-se uma roda de conversa sobre o trabalho e os projetos realizados pela artista, juntamente com a Profa. Christine, abordando temas como os motivos que a levaram a trabalhar com estes materiais, descrição do processo de seu trabalho e seu entendimento das geociências relacionadas com os materiais utilizados.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Produção da tinta

A produção da tinta realizada no Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da USP se iniciou, primeiramente, com o preparo prévio dos materiais, como a têmpera de goma arábica. Para este processo foram utilizados os seguintes materiais: goma arábica em pó, vinagre branco, água destilada, mel, um conta-gotas, uma espátula, dois béqueres, uma placa de vidro temperado, uma muleta de vidro e o pigmento em pó.

A princípio, o uso da goma arábica possibilita grandes vantagens pois atua como um poderoso aglutinante nas tintas para aquarela e como forte adesivo em alguns médiums de têmpera, promovendo efeitos variados e facilidade no controle das camadas de tintas durante a pintura.

Oliveira (1995) explica que a goma arábica, também conhecida como goma turca ou goma do Senegal, é uma substância segregada por diversas espécies de acácias, como por exemplo, a *acacia nilotica*, *acacia tortilis*, *acacia arabica* e *acacia gummifera*, nativas da África, Índia e Austrália. Apresenta-se geralmente em fragmentos sólidos, arredondados, transparentes, brancos, amarelados ou avermelhados, de sabor adocicado, completamente solúvel em água e insolúvel no álcool, no éter e nos óleos fixos ou voláteis. A goma arábica é forrada por uma goma solúvel (arabina) que é a combinação de ácido arábico (ou gúmico) com hidrato de cálcio, hidrato de potássio e hidrato de magnésio, além de fosfato de cálcio e resíduos vegetais.

De acordo com Oliveira (1995), uma das grandes vantagens da têmpera de goma arábica é a pastosidade ideal criada, contribuindo ainda com o aproveitamento das tintas alguns dias após seu preparo. Esta é uma diferença importante em relação às outras

têmperas, principalmente a têmpera de ovo, que deve ser aproveitada apenas nas horas seguintes do seu preparo. Ainda, acrescenta-se a capacidade da goma arábica em formar soluções ácidas, devido ao permalato de cal em sua composição que se associa à óxidos facilmente. A autora cita registros históricos em que a goma arábica foi utilizada, a partir do século XVII, como aglutinante na fabricação do guache e aquarela.

Foi preparada uma solução de goma arábica misturando 2 partes de goma arábica em pó, com 1 parte de água destilada, sendo utilizados o conta gotas e uma colher como utensílios de medida. Ainda, adicionou-se algumas gotas de vinagre branco como conservante. A solução, portanto, foi aquecida em banho-maria para reação dos componentes, e mexida até se dissolver completamente. Após isto, permaneceu em repouso para resfriamento e obteve-se um líquido espesso ao final.

Finalmente, com a têmpera de goma arábica pronta, iniciou-se a produção da tinta, onde foram misturadas partes iguais de aglutinante com pigmento, e mel para dar plasticidade e hidratação à tinta.

Foi utilizada uma espátula para auxiliar o procedimento, sobre uma placa de vidro temperado, e com auxílio de uma muleta, também de vidro, os componentes foram misturados até formar uma pasta. Assim, eventuais grãos remanescentes foram moídos para garantir uma textura homogênea, e para a tinta adquirir boa consistência e plasticidade no momento da pintura. Por fim, obteve-se a tinta pronta para uso, sendo armazenada em um pequeno pote de vidro.

Para verificar a qualidade da tinta obtida e concluir o processo, esta foi encaminhada e testada pela funcionária Thelma Maria Collaco Samara da seção de ilustração geológica do IGc, para realizar um teste de pintura aquarela com a tinta recém feita. O resultado foi um sucesso.

As etapas de produção da tinta estão ilustradas com fotos no apêndice H.

5.2. Difração de Raios-X

Os resultados dos difratogramas dos solos da Mineradora Argilas Morro Grande (SP) apresentam uma assembleia mineralógica composta por quartzo; argilominerais dos grupos da mica (muscovita), da caulinita (caulinita) e da esmectita (montmorillonita); grupo dos feldspatos: alcalinos (ortoclásio) e plagioclásio (albita); além de óxidos de ferro como hematita e goethita. A figura 18 ilustra a estimativa da composição mineralógica das argilas coletadas, de acordo com a nomenclatura das cores previamente nomeadas pelo responsável da mineradora.

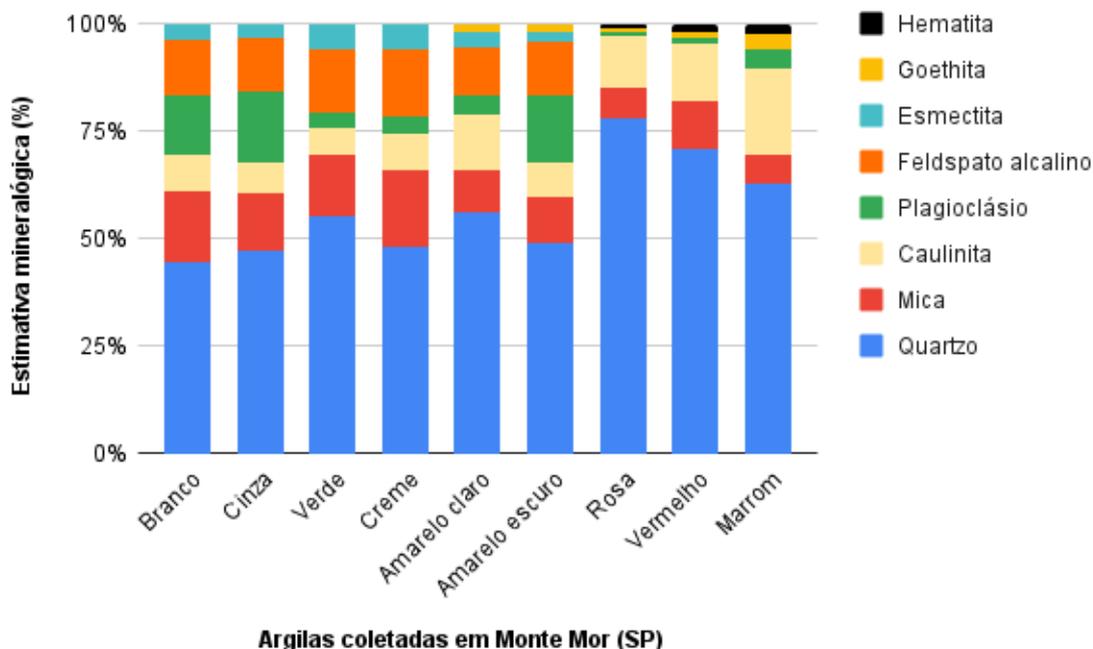


Figura 18 - Composição mineralógica estimada para as amostras de argilas coletadas na Mineradora Argilas Morro Grande em Monte Mor (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).

Os solos coletados em Ribeirão Preto, no Parque da Pedreira de Santa Luzia e em Araraquara, na Pedreira Cristine (Sanen Engenharia), de coloração marrom com diferentes tonalidades, contém uma assembleia mineralógica com minerais ricos em ferro e alumínio. Os difratogramas apontam a presença de quartzo, um mineral do grupo da caulinita (caulinita); hidróxido de alumínio (gibbsita); e óxidos de ferro: hematita e maghemita. A figura 19 ilustra a estimativa de composição mineralógica dos solos coletados.

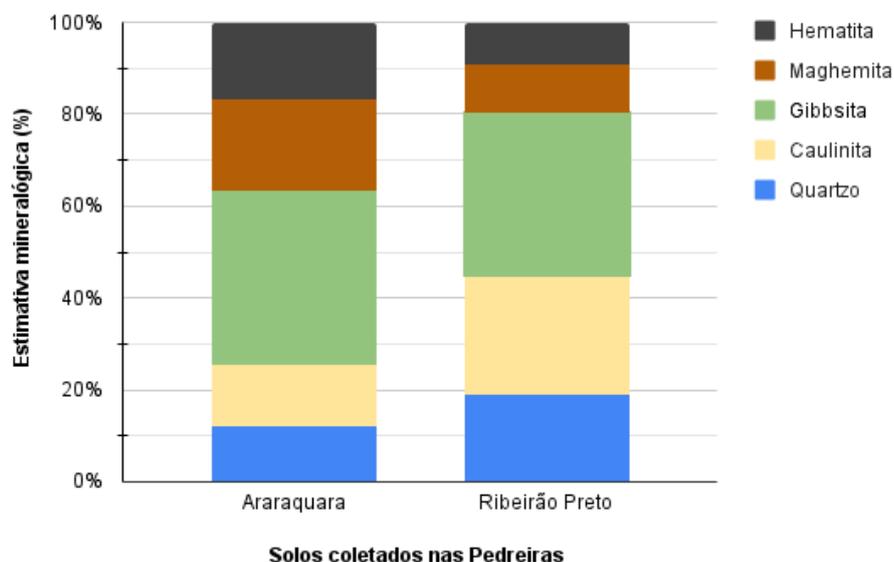


Figura 19 - Composição mineralógica estimada para as amostras dos solos coletados nas pedreiras de Ribeirão Preto e Araraquara (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).

Por fim, para os solos coletados no barranco escola da Cidade Universitária, os difratogramas dos solos dos pontos #1 e #2, de coloração rósea com diferentes tonalidades, identificaram uma assembleia mineralógica composta pela presença de quartzo; mineral do grupo da caulinita (caulinita); minerais do grupo dos feldspatos: alcalinos (ortoclásio) e plagioclásio (anortita); e óxido de ferro (hematita). A figura 20 ilustra a estimativa de composição mineralógica dos solos coletados.

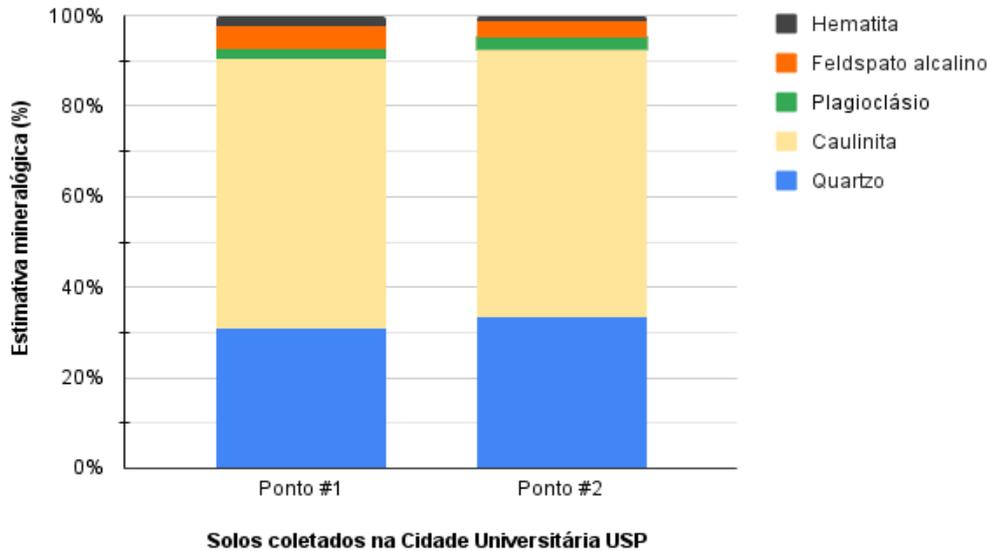


Figura 20 - Composição mineralógica estimada para as amostras dos solos coletados no barranco escola na Cidade Universitária - USP, Campus Butantã (SP) com os grupos minerais definidos (%; método de DRX-RIR).

Os difratogramas resultantes das análises de Difração de Raios-X estão apresentados no apêndice E.2.

5.3. Espectrofotometria

Para os resultados das medições de espectrofotometria, foram gerados os gráficos de reflectância espectral para todos os grupos de cores e localidades. Como exemplo, para a cor vermelha coletada na Mineradora Argilas Morro Grande em Monte Mor (SP), o gráfico gerado é exposto na figura 21, no qual contém as medições de todas as amostras brutas e moídas da cor vermelha, e os valores de $L^*a^*b^*$.

Ressalta-se que para a nomenclatura das argilas de Monte Mor (SP) foram utilizadas as cores previamente nomeadas pelo responsável da mineradora.

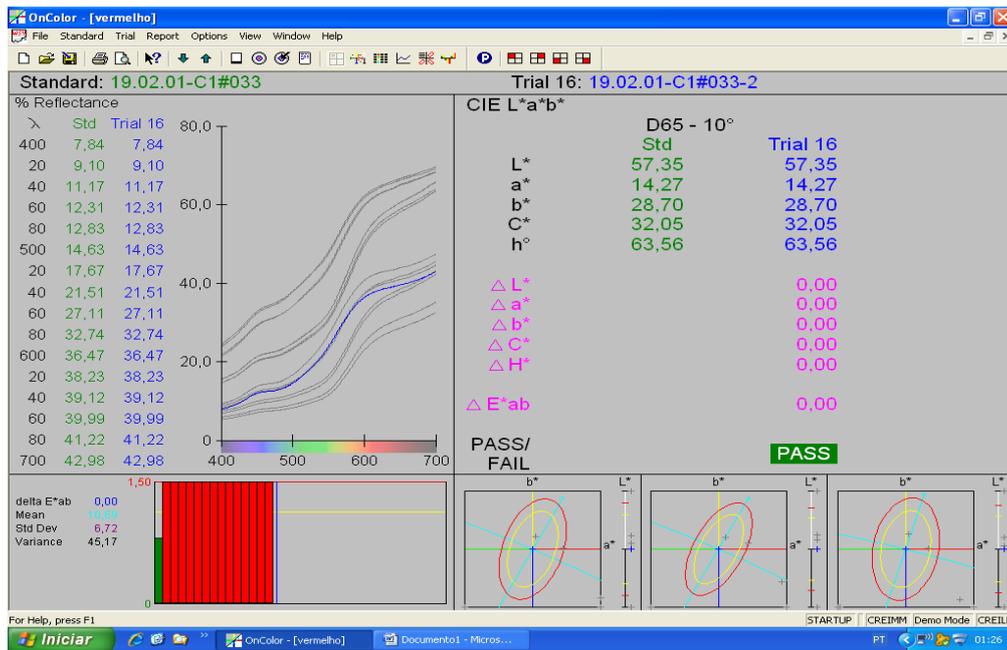


Figura 21 - Resultado da análise física de espectrofotometria do solo vermelho coletado em Monte Mor (SP).

Dado que foram realizadas 4 medidas em cada amostra, verificou-se então os valores médios de $L^*a^*b^*$ para cada grupo de cor, de cada amostra bruta e moída. Desta forma, foi gerado o gráfico exposto na figura 22, com os valores médios das coordenadas.

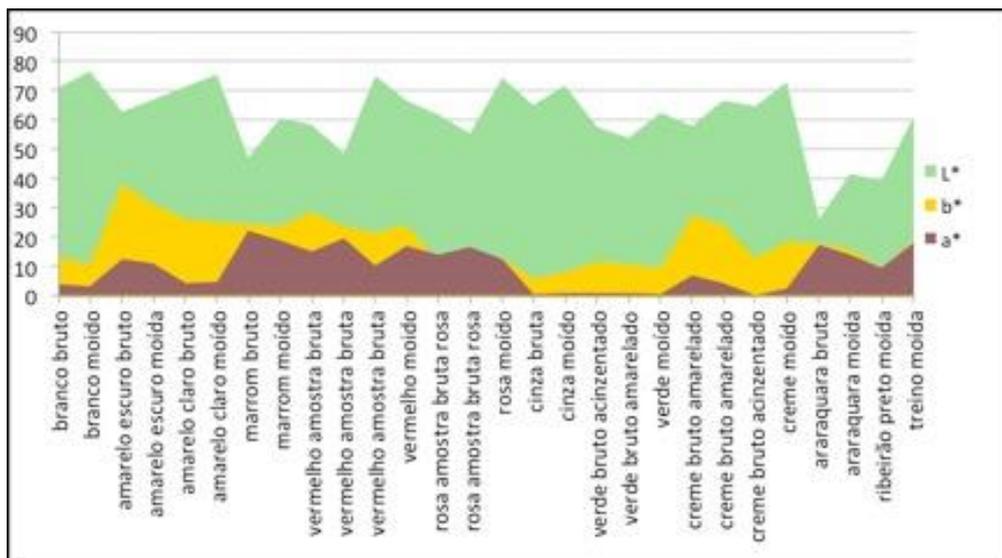


Figura 22 - Valores médios de CIE $L^*a^*b^*$ para cada cor das amostras brutas e moídas dos solos coletados.

Em seguida, foram plotados os valores médios de $L^*a^*b^*$ no Espaço de Cores CIELAB, conforme a figura 23.

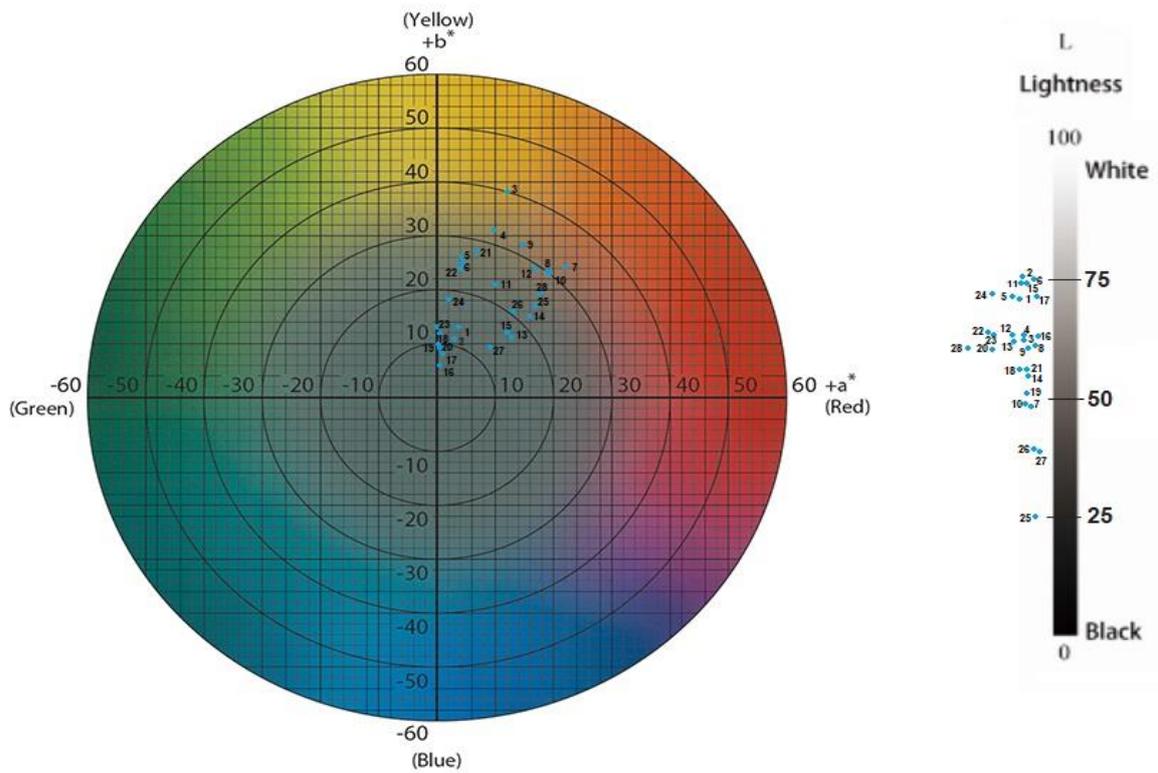


Figura 23 - Espaço de Cores CIELAB com os valores médios de cada grupo de cor medido (Fonte: Modificado de Konica Minolta, 2022).

O tratamento destes dados de valores médios foram feitos através do gerenciamento de cores do Photoshop, ao inserir os valores para cada coordenada $L^*a^*b^*$. As lacunas circuladas na figura 24 ilustram os valores inseridos para cada grupo de cor de amostras moídas.

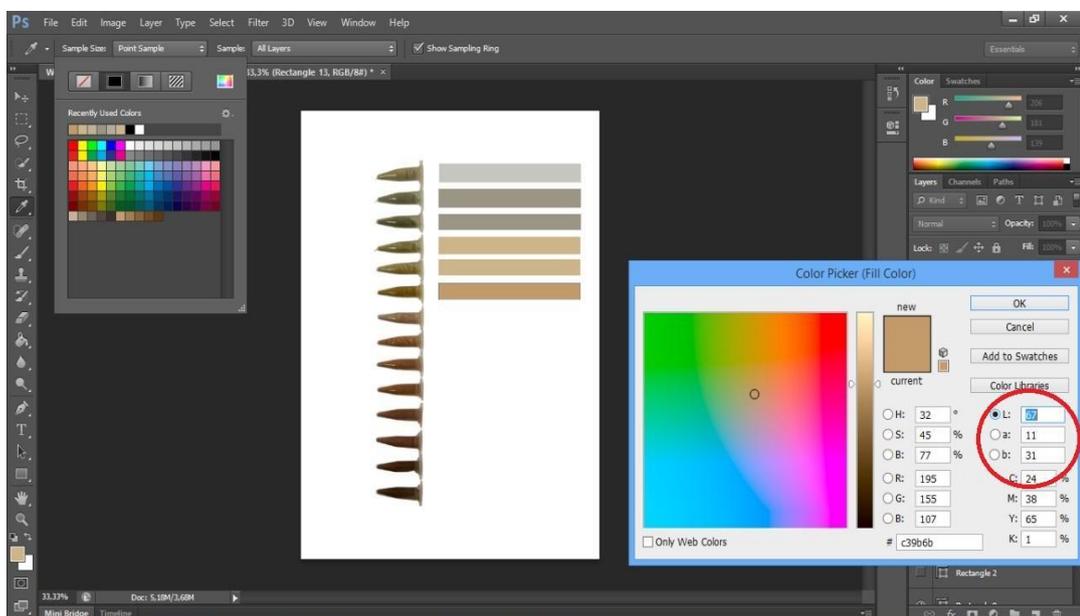


Figura 24 - Configurações de cor no Photoshop selecionando os valores das coordenada $L^*a^*b^*$.

Por fim, apresenta-se o tratamento feito no Photoshop (figura 25) com as cores resultantes dos valores médios de $L^*a^*b^*$ plotados, em comparação com as cores reais dos solos dentro das embalagens e a nomenclatura utilizada para as argilas pelo responsável da mineradora.

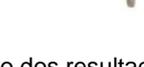
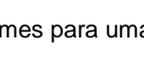
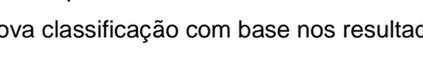
Nomenclatura	Solos	$L^*a^*b^*$	Classificação
Branco			Cinza claro
Cinza			Cinza
Verde			Cinza escuro
Creme			Creme
Amarelo claro			Amarelo claro
Amarelo escuro			Amarelo escuro
Rosa			Rosa
Vermelho			Vermelho claro
Treino			Vermelho amarronzado
Marrom			Marrom claro
Cid. Univ. #2			Marrom rosado claro
Cid. Univ. #1			Marrom rosado escuro
Araraquara			Marrom
Ribeirão Preto			Marrom escuro

Figura 25 - Comparativo dos resultados da espectrofotometria com as cores dos solos e argilas, e sugestão de nomes para uma nova classificação com base nos resultados obtidos.

Os resultados da espectrofotometria estão ilustrados com fotos no apêndice F.2.

5.4. Fluorescência de Raios-X

Os resultados da Fluorescência de Raios-X indicam a composição elementar das amostras de cada solo. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas análises de todos os solos coletados.

Tabela 1 - Composição química dos solos coletados obtida por FRX.

Mineral / Cor (%)	Branco	Cinza	Verde	Creme	Amarelo claro	Amarelo escuro	Rosa
SiO ₂	40,308	32,506	32,470	32,919	35,577	33,824	28,890
Al ₂ O ₃	6,571	4,861	6,770	6,200	6,197	4,663	8,258
K ₂ O	2,416	2,008	2,863	2,370	1,960	1,852	0,614
Fe ₂ O ₃	1,789	1,813	5,525	5,416	4,928	8,292	1,527
TiO ₂	0,987	0,772	0,896	0,878	0,869	0,739	0,760
MgO	-	-	0,931	1,191	0,894	-	-
CaO	0,324	0,311	0,608	0,413	0,287	0,353	0,150
P ₂ O ₅	0,284	0,302	0,344	0,483	0,332	0,334	0,264
S	0,164	0,158	0,159	-	0,175	0,165	0,175
Ba	0,048	-	-	0,150	-	-	-
Ce	-	-	-	-	-	0,054	-
Zr	-	-	-	-	-	-	0,033
Cl	-	0,054	-	-	-	-	-

Mineral / Cor-Local (%)	Vermelho	Marrom	Araraquara	Ribeirão Preto	Cidade Universitária #1	Cidade Universitária #2	Treino
SiO ₂	31,314	23,055	7,529	8,114	25,857	27,786	18,672
Al ₂ O ₃	6,841	10,430	12,111	10,752	8,963	11,582	9,704
K ₂ O	0,769	0,603	0,084	0,178	0,105	0,109	0,268
Fe ₂ O ₃	6,922	9,555	28,380	24,557	7,625	10,130	5,398
TiO ₂	0,967	1,904	8,265	7,971	1,269	1,412	0,999
CaO	0,148	0,198	0,091	1,630	0,095	0,122	0,147
P ₂ O ₅	0,296	0,173	0,203	0,392	0,246	0,262	0,284
S	0,182	0,109	-	0,144	0,208	0,207	0,194
Ce	0,041	-	-	-	-	0,050	-
Zr	-	0,052	-	-	-	-	-
Cl	-	-	-	-	-	-	0,030
V	-	-	0,151	0,137	0,017	-	-
MnO	-	-	0,095	-	-	-	-

Os resultados das análises de FRX estão ilustradas com fotos no apêndice G.2.

5.5. Oferecimento de oficinas

Durante as oficinas foram preparadas bancadas com diversos tipos de solos com colorações diferentes, a fim de apresentar de forma didática a origem dos pigmentos, o processo de extração e a produção da tinta, proporcionando aos participantes executarem as etapas práticas juntamente com os responsáveis pelas oficinas.

Durante as atividades, a Prof. Christine concedia breves explicações sobre a formação das rochas e minerais, ilustrando sua evolução em função do tempo através de amostras em diferentes etapas de intemperismo, tornando-se argiloso e sofrendo alteração da cor, além da textura. Desta forma, os participantes poderiam compreender a origem dos pigmentos e os motivos pelos quais se dão as diferentes colorações para cada horizonte do solo, favorecendo uma paleta de cores diversa para a pintura.

Em seguida, nas etapas de extração dos pigmentos e confecção das tintas, foi adotada a metodologia *Hands-on* ou "mão na massa", no qual cada participante foi o protagonista de sua aprendizagem pois teve a oportunidade de praticar a moagem, peneiramento e preparação da tinta com os materiais disponíveis, juntamente com a orientação dos responsáveis pela oficina. Foram utilizados os solos coletados durante os trabalhos de campo, bem como os minerais malaquita e lápis-lazúli previamente moídos e, diferentes aglutinantes tais como goma arábica, clara e gema de ovo.

Ao final, cada participante criou sua própria obra pictural, utilizando as tintas preparadas durante a oficina. De forma geral, o comportamento do público foi estimulado pelo método prático adotado, que proporcionou o entendimento sobre as explicações e participação ativa nos processos envolvidos. Os participantes, principalmente as crianças, foram capazes de compreender e associar a origem dos pigmentos com a formação das rochas e os estágios de alteração intempérica, através de explicações simples e didáticas. Também se envolveram de forma dinâmica com os processos práticos de extração e confecção das tintas.

Os resultados das oficinas estão ilustrados com fotos no apêndice I.

5.6. Entrevista com artista

Denise Valarini é graduada em Artes Visuais pela PUC-Campinas, e atuou durante 20 anos como professora de educação artística, ministrando aulas de pintura e coordenando projetos em cinco escolas de ensino infantil, institutos e na faculdade,

atuando como docente de cursos de dança e pedagogia. Atualmente reside em Americana (SP).

No início da pandemia da COVID-19, assim como grande parte da população, fez-se necessário isolar-se junto com sua família. Com o tempo e a necessidade de criar novas experiências educativas e artísticas para sua filha Lina, de apenas 1 ano e meio à época, decidiu então praticar incursões pela natureza, através de caminhadas em trilhas isoladas e seguras. *“Nessas caminhadas eu comecei a observar as coletas da Lina, e durante o percurso alguns elementos eram selecionados, e isso chamava minha atenção”* afirmou a artista. Começaram a surgir então certas curiosidades da filha ao brincar com a terra no chão, a mistura de terra com a água do lago, e isto despertou em Denise reflexões sobre o contato de sua filha com a natureza e o desejo de levar toda aquela paisagem natural para casa.

Desta forma, Denise passou a coletar estes materiais naturais e investigar os processos de extração de pigmentos dos solos. Ela começou então a produzir tintas em um ateliê improvisado dentro de casa, fazendo testes com diferentes tipos de solos e conduzindo o processo de forma intuitiva neste início: *“se manchava minha mão e tinha uma textura que me ajudava, eu continuava com o processo”* disse a artista.

Suas investigações sobre metodologias para aperfeiçoar o processo, e a preocupação com a origem e transformação dos materiais, levou-a a estabelecer certo rigor na qualidade das tintas. E assim, surgiu seu primeiro projeto intitulado “O Trajeto da Formiga”, que é uma paleta de aquarelas de solos próximos ao Lago de Furnas (MG).

Em paralelo criou o “Estojo do Lago”, também feito com pigmentos extraídos dos solos próximos ao Lago de Furnas, porém com acréscimo de um aglutinante importado. Naquele momento, também foi lançado o “Giz de Terra” para compor seu armazém. Com estes três produtos, Denise elaborou a Semana Solo em suas redes sociais, em comemoração ao Dia Mundial do Solo celebrado anualmente em 05 de dezembro, e atraiu a atenção de artistas visuais, de dança, poesia e alunos da Geologia da Unesp de Rio Claro.

A partir daí, começou a obter auxílio de profissionais, aproximando-se de pessoas com conhecimento na área e formando parcerias importantes para o crescimento de seu trabalho. Em um projeto para o Ateliê Quero Quero, localizado em Cotia (SP), a artista criou novas paletas temáticas como “Céu Infinito”, “Madeiras Brasileiras”, “Frutos e Vegetais” e “Pó de Estrela”, todas destinadas para um primeiro contato com o ensino infantil em escolas, pois de acordo com a artista: *“as escolas carecem pela falta deste tipo de conhecimento e embasamento”*.

Atualmente, a artista expandiu seu ateliê com maquinário para produção dos materiais, e foi saindo aos poucos das escolas, dedicando-se integralmente ao projeto

“Poética do Habitar”. No início, apenas educadores compravam seus produtos, mas com o crescimento de seu armazém, composto por paletas de cores e materiais diversos, hoje a maioria de seus clientes são artistas visuais.

Denise também trabalha como formadora do MAM no projeto de formação de professores ligados à arte, e trabalha em ateliês apenas com público adulto. Ela elabora e ministra suas aulas com conteúdos associados aos seus estudos e experiências, pois de acordo com a mesma, não possui conhecimentos geocientíficos para aprofundar temas como a origem, o reconhecimento e a caracterização mineralógica dos solos.

Recentemente criou as paletas “Serra da Mantiqueira” e “Serra da Canastra”, que são estojos de aquarelas de solos coletados nestes locais, compostas por pigmentos minerais e aglutinantes naturais, com cores que variam entre vermelho, amarelo ocre, terracota, marrom e verde ftalo. Também conta com orgulho que é a primeira e única produtora nacional a produzir tinta com grafite.

O processo de seu trabalho para extração dos pigmentos constitui na moagem e, logo em seguida, na decantação para separação da areia do silte e argila. O processo é então repetido algumas vezes a fim de se obter uma granulometria mais fina possível, se este for o objetivo. Ela não faz uso de fungicidas, conservantes ou vinagre para a produção das tintas, garantindo assim sua marca registrada de naturalidade dos produtos, e reforçando sua preocupação com a sustentabilidade, ao fazer uso mínimo de plástico e papéis impressos.

Como a demanda nos últimos anos cresceu com a expansão de seu ateliê, foi necessário que ela passasse a comprar a matéria prima que utiliza para confecção de suas paletas: “*não tenho condições de ir lá coletar grandes quantidades para produzir as tintas, portanto faço com argilas e óxidos comprados*”, afirmou. Com a evolução digital, passou também a ministrar cursos *online*, favorecendo assim a inclusão de pessoas que não têm acesso físico às suas oficinas.

Por fim, Denise também está elaborando novos projetos pedagógicos, ela pretende criar o “Solos Brasileiros”, um projeto em escolas no qual deseja simular a cor com pigmentos minerais através de argilas e óxidos de ferro. Ao ser questionada sobre sua opinião quanto ao kit pedagógico elaborado pela Profa. Christine, a artista explicitou que “*o kit é muito interessante para educar as crianças e trabalhar com seu imaginário, levando conhecimentos geocientíficos importantes aos alunos*”.

A entrevista com a artista está registrada com fotos no apêndice J.

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De modo que a artista Denise Valarini ministra seus conteúdos artísticos em escolas, mas não possui conhecimentos geocientíficos para ensinar seus alunos, o kit pedagógico da Profa. Christine e este Trabalho de Formatura, irão contribuir para promover uma relação multidisciplinar da arte com as geociências, auxiliando com análises físico-químicas e conhecimentos geológicos acerca dos pigmentos minerais.

Quanto às análises físico-químicas, destaca-se que a Difração de Raios-X e a Fluorescência de Raios-X são técnicas complementares que, apesar de fornecerem informações diferentes, ambas utilizam uma fonte de raios X e um detector de raios X. A DRX fornece informações sobre as fases cristalinas presentes em uma amostra e pode distinguir entre compostos, por exemplo, estados de oxidação diferentes ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$) ou entre polimorfos diferentes (hematita e maghemita, ambos óxidos de ferro Fe_2O_3). Já a FRX fornece informações sobre a composição química (elementar) de uma amostra, ou seja, indica quais elementos (Mg, Al, Fe) estão presentes e os níveis de concentração.

Conforme os resultados obtidos das análises físico-químicas dos solos coletados na Mineradora Argilas Morro Grande em Monte Mor (SP), observa-se que as fases esperadas estão de acordo com as rochas sedimentares do Subgrupo Itararé (Grupo Tubarão), ou seja, arenitos, diamictitos e lamitos, no qual predominam quartzo, e minerais dos grupos do feldspato e da mica. Verifica-se, portanto, uma maior ocorrência de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , e de forma menos expressiva K_2O , TiO_2 , CaO e P_2O_5 .

A hematita (Fe_2O_3), óxido de ferro não-hidratado, é o óxido de ferro mais comum nas amostras observadas, e confere aos solos uma cor vermelha forte, já a goethita, óxido de ferro hidratado ($\text{FeO}(\text{OH})$), confere ao solo uma cor amarelada. Destaca-se que os solos de coloração amarela manifestam ausência de hematita, porém a goethita faz-se presente em solos de coloração escura, junto a hematita.

Estes óxidos de ferro apresentam cores diferentes devido à absorção seletiva da luz na região do visível, que é causada pela transição de elétrons na camada orbital (DALMOLIN et al., 2005). Quando a hematita absorve um comprimento de onda de 530 nm, ocorre a transição de elétrons entre os orbitais moleculares, sendo observada a cor vermelha, enquanto a transição eletrônica da goethita ocorre quando é absorvida uma radiação eletromagnética no comprimento de onda de 480 nm, sendo observada a cor amarela (SHERMAN et al., 1985). A goethita absorve um comprimento de onda menor, apresentando maior reflectância que a hematita (VITORELLO et al., 1996; KOSMAS et al., 1984).

Ainda, Stoner et al. (1991) observaram que a presença de hematita no solo eleva o poder de absorção de luz deixando-o mais opaco, desta forma, mesmo em pequenas quantidades (em amostras heterogêneas), o matiz avermelhado da hematita mascara o matiz

amarelo da goethita, sobressaindo a cor vermelha (RESENDE, 1976; SCHAETZL et al., 2005; SCHWERTMANN, 1988) nos solos de coloração rosa, vermelha e marrom.

A concentração de quartzo nos solos também é outro fator que influencia diretamente nas colorações. A cor cinza-clara do quartzo implica que quanto maior a porcentagem de SiO₂ na rocha, menores serão os teores de minerais de coloração escura, maiores serão as quantidades de feldspato alcalinos, e mais sódico será o plagioclásio, e ao contrário, quanto menor a porcentagem de SiO₂, maior a porcentagem de minerais escuros e mais cálcico será o plagioclásio (IGc, 2022).

Comprova-se isto por conta da presença dos feldspatos alcalinos, que são compostos por silicatos de alumínio combinados com sódio, potássio, cálcio e, às vezes, bário. No caso das análises de DRX, observa-se a presença de ortoclásio (K(AlSi₃O₈)) principalmente em amostras de cores mais claras, como branco, cinza, verde, creme e os amarelos. Porém, não estão presentes em amostras de coloração mais escura, como rosa, vermelho e marrom, sendo confirmada pela FRX, no qual o potássio (K) apresenta concentrações menores (abaixo de 1%).

Já os plagioclásios variam significativamente na sua ocorrência de acordo com a composição mais sódica ou então mais cálcica. Percebe-se nas análises de DRX, portanto, que as concentrações de albita (Na(AlSi₃O₈)) decrescem conforme a coloração escurece. Vale ressaltar que não é possível confrontar com dados de FRX, neste caso, pois este método identifica e quantifica elementos com número atômico maior que 12 (magnésio), e o sódio possui número atômico 11.

Os solos desenvolvidos nas regiões das pedreiras de Araraquara e Ribeirão Preto (SP) estão inseridos no contexto da formação Serra Geral, com intensa pedogênese e intemperismo por localizarem-se em um ambiente tropical úmido. Assim, tornaram-se solos de alteração basáltica, com diminuição nos teores de sílica (dessilicação), e aumento das concentrações de óxidos de ferro (hematita e maghemita) e hidróxido de alumínio (ferralitização) (TEIXEIRA et al., 2016). Estas rochas evoluíram para solos mais profundos e argilosos, com elevado teor de ferro e macronutrientes, a chamada “terra roxa”. Foram encontrados, portanto, o quartzo como mineral primário, e foi possível verificar picos característicos de minerais secundários como caulinita, gibbsita, hematita e maghemita pedogênica.

A maghemita ((Fe³⁺_{0.67}□_{0.33})Fe³⁺₂O₄), é um óxido de ferro secundário de estrutura cristalina muito parecida com a magnetita (Fe²⁺Fe³⁺₂O₄), mas é um polimorfo da hematita. Sua presença é comum em solos de alteração basáltica, sendo assim responsável pela forte magnetização que esses solos apresentam. É facilmente identificada na fração argila em solos de clima tropical e subtropical, sendo formada durante a pedogênese pela oxidação da magnetita, intemperismo físico ou por aquecimento de outros óxidos de ferro na presença de

compostos orgânicos, o que era o caso dos solos das pedreiras de Araraquara e Ribeirão Preto (SILVA, 2010).

A gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) é uma das formas minerais do hidróxido de alumínio e é originada do intenso intemperismo químico (hidrólise total) de rochas ricas em feldspatos ou outros minerais aluminosos em climas quentes e úmidos. No caso de solos provenientes de basalto, a formação de gibbsita está associada predominantemente a alteração da caulinita, visto que os basaltos são pobres em feldspatos potássicos e ricos em plagioclásios (GOMES et al., 2004).

Já a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) é um argilomineral composto por alumínio, silício, oxigênio e OH, com estrutura simples de camadas 1:1. A formação da caulinita se dá, preferencialmente, em ambientes com muita lixiviação ou presença de ácidos orgânicos e CO_2 , provenientes de compostos ricos em matéria orgânica. Pode apresentar variação na cristalinidade, em função da substituição isomórfica de silício por alumínio nos tetraedros e de alumínio por ferro nos octaedros, relacionada com o pedoclima e material de origem (CARVALHO JR, 2000).

Por fim, para os solos coletados no trabalho de campo no “barranco escola” na Cidade Universitária, esperava-se encontrar minerais característicos do embasamento gnáissico. Os resultados confirmaram as expectativas da assembleia mineralógica, com aumento acentuado na proporção do grupo da caulinita, indicando forte alteração de feldspatos, e outros silicatos durante o intemperismo químico.

Tratando-se dos trabalhos com a espectrofotometria, nota-se como é impressionante a capacidade do olho humano para perceber milhões de cores, e como essas diferenças são tão subjetivas para cada indivíduo. Duas pessoas olhando para o mesmo objeto podem fornecer diferentes referências para expressar exatamente a mesma cor com diversas definições. Por isso, nota-se que a maior gama possível de cores do espectro visível está contida no espaço de cores do sistema CIE $L^*a^*b^*$, conforme o gráfico exposto na figura 26. Os padrões de cor RGB dependem de Hardwares (monitores, câmeras), e o CMYK do papel, tipo de tinta, tecnologia de impressão, entre outros fatores, enquanto que os valores no sistema CIELAB são consistentes em qualquer dispositivo (monitores e impressoras) (Konica Minolta, 2022).

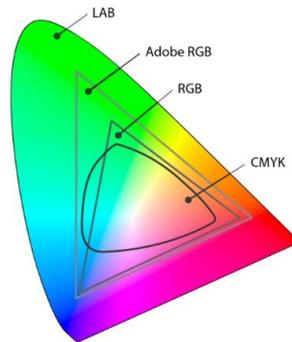


Figura 26 - Diagrama do Espaço de Cores para cada sistema. Fonte: Konica Minolta, 2022.

Desta forma, a fim de avaliar e expressar corretamente as cores das amostras de forma padronizada e objetiva, as análises de espectrofotometria forneceram uma identificação adequada quanto às cores esperadas para cada solo.

Observa-se que a distribuição dos valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^*b^*) indicaram solos variando entre tons amarelo e vermelho no Espaço de Cores CIELAB. Conforme esperado, os solos escuros rosas, vermelho, marrom, treino, Araraquara e Ribeirão Preto apresentam os maiores valores de a^* ; enquanto os solos amarelos e creme apresentam valores mais elevados de b^* .

Todas as amostras contém altos níveis de luminosidade, sendo os maiores valores pertencentes aos solos mais claros, como o branco, o cinza, o amarelo e o creme. Os branco e o cinza são cores neutras, assim apresentam valores de cromia baixos. Já os solos marrom, Araraquara e Ribeirão Preto apresentam, conforme esperado, os menores valores de luminosidade, tendendo ao preto.

Destaca-se que para o solo, inicialmente nomeado como “verde”, não foi obtido valor de a^* negativo, conforme o Espaço de Cores CIELAB prevê. Ao comparar com as medidas de outras cores, nota-se a semelhança com as coordenadas do solo cinza, e de fato, fisicamente são cores similares. Porém, ao verificar o resultado da tinta produzida pela cor “verde”, esta confirmou ser realmente verde quando pintada em aquarela nas oficinas oferecidas.

Portanto, pode-se supor algumas hipóteses para o comportamento de tons esverdeados nos solos (verde e creme): a presença de MgO (indicado pela FRX) em um mineral do grupo das esmectitas (provável montmorillonita $(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), pois apresenta características de coloração verde em solos argilosos; ou ainda pela possível presença de glauconita.

A glauconita $((\text{K,Na})(\text{Fe}^{3+},\text{Al,Mg})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ é um filossilicato do grupo das micas, hidratado e rico em potássio e ferro, de cor verde e sua formação pode ocorrer por diagênese marinha sob condições de águas rasas e ambientes redutores (MEUNIER et al., 2007), o que corresponde com o contexto geológico do local onde encontra-se a mineradora

Argilas Morro Grande, afinal, o Subgrupo Itararé é descrito pela presença de arenitos finos e argilosos formados em ambiente marinho de águas rasas. Ainda, nota-se que os solos esverdeados apresentam os maiores teores de potássio entre todas as amostras, e de ferro entre os solos mais claros, e a glauconita é rica em potássio e ferro, além de ser os únicos com óxido de magnésio na composição, indicados pela FRX, o que pode indicar a presença de glauconita, ou ainda algum mineral do grupo das esmectitas, conferindo a cor verde.

7. CONCLUSÕES

Os pigmentos minerais têm sido utilizados durante toda a história, nos mais diversos locais e objetos, por conta da necessidade do ser humano em marcar sua passagem pela Terra. Independente do momento histórico, ou o local físico que se encontra, este comportamento dos humanos, expresso de forma artística, revela exatamente o que a vida é, um constante ciclo de criação e aprendizagem, manifestação dos pensamentos e harmonia com o ambiente em que se vive.

Desta forma, o uso dos pigmentos minerais configura o resultado do equilíbrio entre meio ambiente, regras de organização social e modos de ver o mundo de cada grupo humano, tribo, nação ou civilização. É um importante registro histórico, pois mantém preservada a evolução de uma espécie, e a preservação destes patrimônios culturais, seja por representações de práticas cotidianas, condutas ou crenças, revelam os sentimentos da consciência e espírito de cada pessoa, em cada época.

Há uma reflexão por trás de cada solo, mineral e outros elementos naturais utilizados durante este trabalho, pois cada um conta uma história diferente, sensações, cheiros e cores. É valorosa a percepção do poder de transformação que estes elementos possuem, pois se tornam tintas para desenhos, aquarelas e outras obras de arte, ou seja, é uma experiência cíclica de renovação, sempre conectada com a natureza.

Observou-se que a grande vantagem do processo utilizado para produção das tintas à base de pigmentos minerais é a acessibilidade, devido sua “fórmula caseira” e o simples modo de preparo. Destaca-se também que a “receita” é financeiramente acessível, pois a compra da maioria dos utensílios será efetuada apenas uma vez, e os materiais que necessitarem reposição, como a goma arábica, o vinagre e o mel, apresentam um custo relativamente barato, em relação a outros materiais artísticos disponíveis no mercado.

Portanto, trata-se de um processo artesanal simples, sendo replicável e facilmente realizado por crianças e adultos, além de seu baixo custo e do impacto positivo na saúde mental da pessoa, proporcionando a sensação de bem-estar ao explorar a criatividade e a capacidade de gerar certa autonomia na criação do próprio material. Estes fatos foram

confirmados através das oficinas oferecidas, pois geraram fácil engajamento com o público através de atividades práticas simples. Da mesma forma, as explicações geocientíficas foram didáticas e concisas a fim de despertar o interesse, principalmente das crianças.

Revela-se, portanto, a multidisciplinaridade que o ramo dos pigmentos concilia, pois reúne conhecimentos das geociências, artes, química, física, filosofia e história, e isto promove uma eficiência na troca de informações, possibilitando uma visão mais ampla dos processos envolvidos, e melhora no desempenho das atividades.

Quanto aos resultados das análises físico-químicas realizadas durante o trabalho, conclui-se que a DRX, a espectrofotometria e a FRX foram excelentes ferramentas para a caracterização da origem e uso dos pigmentos. O auxílio quanto às caracterizações mineralógicas, classificação de cores e composições elementares foram pontuais e coerentes, pois coincidiram com a gênese dos locais de coleta, e obteve-se as cores esperadas.

A DRX e a FRX mostraram-se ferramentas ágeis e eficientes para a classificação da assembleia mineralógica em um grande conjunto de amostras, diferenciando os grupos mineralógicos através de estimativas legítimas de suas porcentagens e possibilitando inferir possíveis hipóteses. Vale ressaltar que, é necessário analisar melhor algumas cores com outras técnicas, como o verde, por exemplo, para esclarecer se a coloração é consequência da presença de glauconita ou então de algum mineral do grupo das esmectitas.

Portanto, conclui-se que os principais mecanismos que proporcionam as diferentes cores dos solos são, principalmente, a composição mineralógica e os teores de ferro dos solos e minerais, além de outros fatores, tais como o conteúdo de matéria orgânica, a umidade e luminosidade do ambiente e a alteração das rochas. A cor é uma característica importante na identificação e descrição dos solos no campo, e alguns parâmetros afetam a aparência da cor, tais como as diferenças: na fonte de luz; de um observador para outro; de fundo, por efeito de contraste; direcionais; e no tamanho.

Já para a espectrofotometria, notou-se que este método é excepcional para a classificação das cores, é de fácil manuseio do aparelho e possibilita a realização das medições em qualquer lugar e ângulo, seja em amostras moídas ou *in situ*. A identificação pela classificação CIE L*a*b* e o Espaço de Cores CIELAB foi realizada de forma dinâmica e rápida, conferindo às cores padrões de valores cromáticos que podem ser facilmente reconhecidos em qualquer dispositivo. Esta é uma das grandes vantagens deste sistema, pois o CIE L*a*b* abrange a maior gama possível de cores do espectro visível.

Por fim, conclui-se que a contribuição deste trabalho de formatura para o kit pedagógico “pintando com minerais” da Profa. Christine foi positiva, pois reuniu uma paleta de cores diversa e abrangente, disponibilizando uma grande variedade de pigmentos e combinações para as oficinas e kits pedagógicos. Além disto, as análises geocientíficas

adquiridas são importantes para a divulgação dos conhecimentos ao público, pois fornecem conceitos básicos e aprofundados para o entendimento da origem dos pigmentos e poderá ser utilizada na confecção do conteúdo pedagógico que acompanhará o kit. Para composição do kit, sugere-se então a elaboração de mapas, brochuras, e informativos sobre os locais de origem e formação dos solos coletados, com breves explicações sobre o contexto geológico e composição mineralógica, além de fotos dos solos brutas e moídas com comparativos da cor formada após a extração dos pigmentos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T.L., BRITO, M.A.M.L. de, LAGE, M.C.S.M., CAVALCANTE, L.C.D., FABRIS, J.D., 2011, Pigmentos de pinturas rupestres pré-históricas do sítio Letreiro do Quinto, Pedro II, Piauí, Brasil, *Quim. Nova*, Vol. 34, No. 2, p. 181-185.

ARRUDA, T., 2022, Catálogo “Brasilidade Pós-Modernismo 1922-2022”, Centro Cultural Banco do Brasil (CCBB), p. 154.

Arqueologia e Pré-História, 2022. Acesso em abril de 2022. Disponível em <<https://arqueologiaeprehistoria.com>>.

BARNETT, J.R., MILLER, S., PEARCE, E., 2005, *Colour and art: A brief history of pigments*, School of Plant Sciences, The University of Reading, PO Box 221, Reading RG6 6AS, UK and Winsor & Newton, Whitefriars Avenue, Harrow Middlesex HA3 5RH, UK.

BORJESSON, J., ISAKSSON, M., MATTSSON, S.; 2003, X-ray fluorescence analysis in medical sciences: a review. *Acta Diabetologica*, v. 40, n. 1, p. S39-S44.

BRUKER, 2021, Manual Addendum, DIFFRAC.EVA V6.0, Bruker AXS GmbH, Last update: 2021-05-28.

CARVALHO JUNIOR, I. A., 2000, *Influência da mineralogia e da matéria orgânica na agregação, cor e radiometria de solos altamente intemperizados do Estado de Minas Gerais*, Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CPRM, 2015. Acesso em abril de 2022. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Pigmentos-Minerais-1263.html>>.

CRUZ, A.J., 2007, Os pigmentos naturais utilizados em pintura, Departamento de Arte, Arqueologia e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar, Quinta do Contador, Estrada da Serra, 2300-31 3 Tomar, Portugal. Centro de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-01 6 Lisboa, Portugal.

DALMOLIN, R.S.D. et al., 2005, Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral, *Ciência rural*, Santa Maria, vol. 35, n. 2 (mar./abr. 2005), p. 481-489.

DEL LAMA, E. A., 2016, Estudos de conservação em pedra, Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 189 f.

EASTAUGH, N., 2004, *Pigment Compendium, A Dictionary of Historical Pigments*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam.

EEL - USP, 2022 - Difração de Raios-X - Pereira, L. G. G., Escola de Engenharia de Lorena - USP, Física Experimental IV, Aula 4 - Difração de Raios-X.

ELIAS M., CHARTIER C., PRÉVOT G., GARAY H., VIGNAUD C., 2006, The colour of ochres explained by their composition, *Materials Science and Engineering*, B 127: p. 70–80.

FARIA, D.L.A., LOPES, F.N., SOUZA, L.A.C., BRANCO, H.D. de O.C., 2011, Análise de pinturas rupestres do Abrigo do Janelão (Minas Gerais) por microscopia Raman, *Quim. Nova*, Vol. 34, No. 8, 1358-1364.

GOMES, J.B.C.; et al., 2004, Principal component analysis of physical, chemical, and mineralogical attributes of the Cerrado biome soils, *R. Bras. Ci. Solo*, 28:137-153.

GOMES, H., ROSINA, P., OOSTERBEEK, L., 2014, Natureza e processamento de pigmentos de pinturas rupestres, p. 193-212.

IGc-USP, 2022, acesso em agosto de 2022. Disponível em <<https://didatico.igc.usp.br/geologia-do-campus/>>.

IPHAN, acesso em maio de 2022. Disponível em <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/42>>.

IPT, 1981a - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo. 2v. (IPT. Monografias, 6. Publicação, 1 184).

JENKINS, R., 1999, X-Ray Fluorescence Spectrometry, Second edition, New York, Wiley.

Konica Minolta, 2022, acesso em novembro de 2022. Disponível em <<https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>.

KOSMAS, C.S. et al., 1984, Characterization of iron oxide minerals by second-derivate visible spectroscopy, Soil Science Society of America Journal, Madison, v.48, p.401-405.

Materiais Didáticos, IGc-USP, acesso em novembro de 2022. Disponível em <<https://didatico.igc.usp.br/minerais>>.

MELO JÚNIOR, A. S., Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação sincrotron, Tese (Doutorado em Química), Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MEUNIER, A., ALBANI, A., 2007, The glauconite–Fe-illite–Fe-smectite problem: a critical review, University of Poitiers, Poitiers Cedex, France, Terra Nova, Vol 19, No. 2, p. 95–104.

MUGNAINI, S., BAGNOLI, A., BENSI, P., DROGHINI, F., SCALA, A., GUASPARRI, G., 2006, Thirteenth century wall paintings under the Siena Cathedral (Italy), Mineralogical and petrographic study of materials, painting techniques and state of conservation, Journal of Cultural Heritage 7, p. 171–185.

MUNE, S.E., OLIVEIRA, M.E.C.B., 2007, Revisão da tafoflora interglacial neocarbonífera de Monte Mor, SP (Subgrupo Itararé), nordeste da Bacia do Paraná, Revista Brasileira de Geociências, Pós-Graduação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 427-444.

- NAP-Geoanalítica, IGc-USP, 2022, acesso em novembro de 2022. Disponível em <<https://igc.usp.br/geoanalitica/laboratorios-de-pesquisa/laboratorio-de-fluorescencia-de-raios-x-frx/>>.
- NASCIMENTO, M.A.L., SANTOS, O.J., 2013, Geodiversidade na arte rupestre no Seridó Potiguar, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), Superintendência do Iphan no Rio Grande do Norte, Natal, Iphan-RN.
- NEIVA, A. C.; DRON, J.; 2008, Caracterização de bens culturais por espectroscopia de fluorescência de raios X, Revista CPC, (6), p. 188-197.
- OLIVEIRA, D.R.P. de, 1995, Arqueologia do fazer: Uma trajetória e o uso tecno-expressivo dos pigmentos na fatura da têmpera, Dissertação de Mestrado em Artes, Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 116-120.
- ORNA, M.V., 2015, Historic Mineral Pigments: Colorful Benchmarks of Ancient Civilizations, The College of New Rochelle, New Rochelle, New York 10805, United States, Chapter 2.
- PEREIRA, A.R.P., Silva, M.J. de S.F. da, Oliveira, J.A. dos S., 2007, Análise química de pigmentos minerais naturais de Itabirito (MG), Departamento de Química, ICEX, Universidade Federal de Minas Gerais, MG. Cerâmica 53, p. 35-41.
- PICHLER, L.S., 2017, Sobre as correlações entre geomorfologia e pedologia na caracterização do hidromorfismo no barranco escola, Trabalho de Graduação Individual, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PINTO, R.H., SANTOS, M.G.M., The Quaternary stratigraphy of the São Paulo Basin, southeastern Brazil, GMG, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil; CECS, Universidade Federal do ABC, Santo André, Brazil, Journal of Maps, Taylor & Francis Group.
- Poética do Habitar, 2022 - Acesso em julho de 2022. Disponível em <<https://www.poeticadohabitar.com.br/quem-somos/>>.
- POTTS, P. J. et al., 2003, Atomic spectrometry update, X-ray fluorescence spectrometry, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, v. 18, n. 10, p. 1289-1326.

PRCEU, 2022 - Acesso em outubro de 2022. Disponível em <<https://prceu.usp.br/semanaartecultura22/>>.

REICHE, I., 2019, Mineral pigments: the colourful palette of nature, National Museum, Berlin and CNRS, Paris, EMU Notes in Mineralogy, Vol. 20, Chapter 7, p. 283–322.

RESENDE, M., 1976, Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil, 237f, Thesis (PhD in Soil Science) – Purdue University.

RESENDE, M., CURI, N., KER, J.C., REZENDE, S.B., 2011, Mineralogia de Solos Brasileiros: Interpretação e Aplicações, Universidade Federal de Lavras, 2ª Edição revisada e ampliada.

ROCHA CAMPOS, A.C., 1967, The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin, In J.J. Bigarella, R.D. Becker e I.D. Pinto (Eds.), Problems in Brazilian Gondwana Geology, pp. 27 -109, Curitiba.

SAAD, A.R., 1977, Estratigrafia do subgrupo Itararé no centro e sul do estado de São Paulo, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo.

SANTOS, P. de S., 1989, Ciência e Tecnologia de Argilas, 2ª edição revisada e ampliada, Volume 1, Cap. 12 - Identificação de argilas - Difração de Raios X, p.252.

SANYOVA, J., 2011, Lapis et azurite, minerais bleus utilisés pour la fabrication des pigments, p. 162 - 183.

SARON, C., FELISBERTI, M.I., Ação de colorantes na degradação e estabilidade de polímeros, Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 124-126, jan./fev. 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/9f5PvxkJ6cbvKYkWvTHyLkm/?lang=pt>>. Acesso em agosto de 2022.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S., 2005, Soils: genesis and geomorphology, Cambridge University Press.

SCHWERTMANN, U., 1988, Some properties of soil and synthetic iron oxides, In: STUCKI, J. W. et al. Iron in soils and clay minerals, Dordrecht: Nato Advanced Study Institute, p.203-250, (NATO 451 studies).

- SHERMAN, D.M.; WAITE, T.D., 1985, Electronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV, *American Mineralogist*, Washington, v.70, p.1262-1269.
- SILVA, A.R.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S.; 2010, Suscetibilidade magnética do horizonte B de solos do Estado do Paraná, *Química e mineralogia do solo, Rev. Bras. Ciênc. Solo* 34 (2).
- SOUZA FILHO, E.E. de., 1986, Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas (SP), *Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*, 121 p.
- SOUZA, P.A.; SAAD, A.R.; LIMA, M.R., 1997, Palinologia dos carvões paleozóicos do Estado de São Paulo. II: o carvão de Monte Mor. *Revista do Instituto Geológico*, v. 18, n. 1-2, p. 7-21.
- STONER, E.; DERKSEN, I.; MACEDO, J., 1991, Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, p.1599- 1606.
- TEIXEIRA, R.S.; VENDRAME, P.R.S.; CHRISTONI, A.R.F.; SILVA, P.R.C.; 2016, Química e mineralogia de um solo desenvolvido de basalto, coletado através de sondagem SPT, *Universidade Estadual de Londrina - UEL, Maringá*, v. 34, n. 2, p. 116-126.
- TOLEDO, C.E.V., 2001, Análise paleoictiológica da Formação Corumbataí na Região de Rio Claro, Estado de São Paulo, *Dissertação de Mestrado (Inédita), Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Rio Claro*, 146p.
- VALLADAS, H., 2003, Direct radiocarbon dating of prehistoric cave paintings by accelerator mass spectrometry, *Measurement Science and Technology*, 14(9), p. 1487-1492.
- VITORELLO, I.; GALVÃO, L. S., 1996, Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2500 nm range: Review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. In: POUGET, M. J.; GUYOUT, G. Spectral properties and remote sensing of soils and rocks. Photo interpretation. Paris: ESKA, 1996. V.34, p.77-96. (Special issue).

APÊNDICES

APÊNDICE A - Exposição “Brasilidade Pós-Modernismo”



a) e b) Exposição “Brasilidade Pós-Modernismo” de Marlene Almeida.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 25/02/2022.



c) Mapas geológicos e solos coletados e d) Amostras de solos craqueladas .
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 25/02/2022.



e) Processo de moagem dos solos com almofariz; f) Paleta de cores quentes e g) Mapas geológicos e solos coletados.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 25/02/2022.



h

h) e i) Mapas geológicos e solos coletados.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 25/02/2022.



j

k

j) e k) Amostras de solos coletados e paleta de cores amarelas criada.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 04/06/2022.

APÊNDICE B - Oficina Poética do Habitar



a) Coleta de materiais naturais no Parque Ibirapuera e b) Coleta de solo do Parque.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 04/06/2022.



c) Materiais coletados pelo Parque e d) Moagem dos solos na oficina do MAM.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 04/06/2022.



e



g



h

e) Processo de filtragem do solo; f) Processo de decantação; g) Diferentes solos coletados passando por decantação e h) Fração argila do solo decantada.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 04/06/2022.

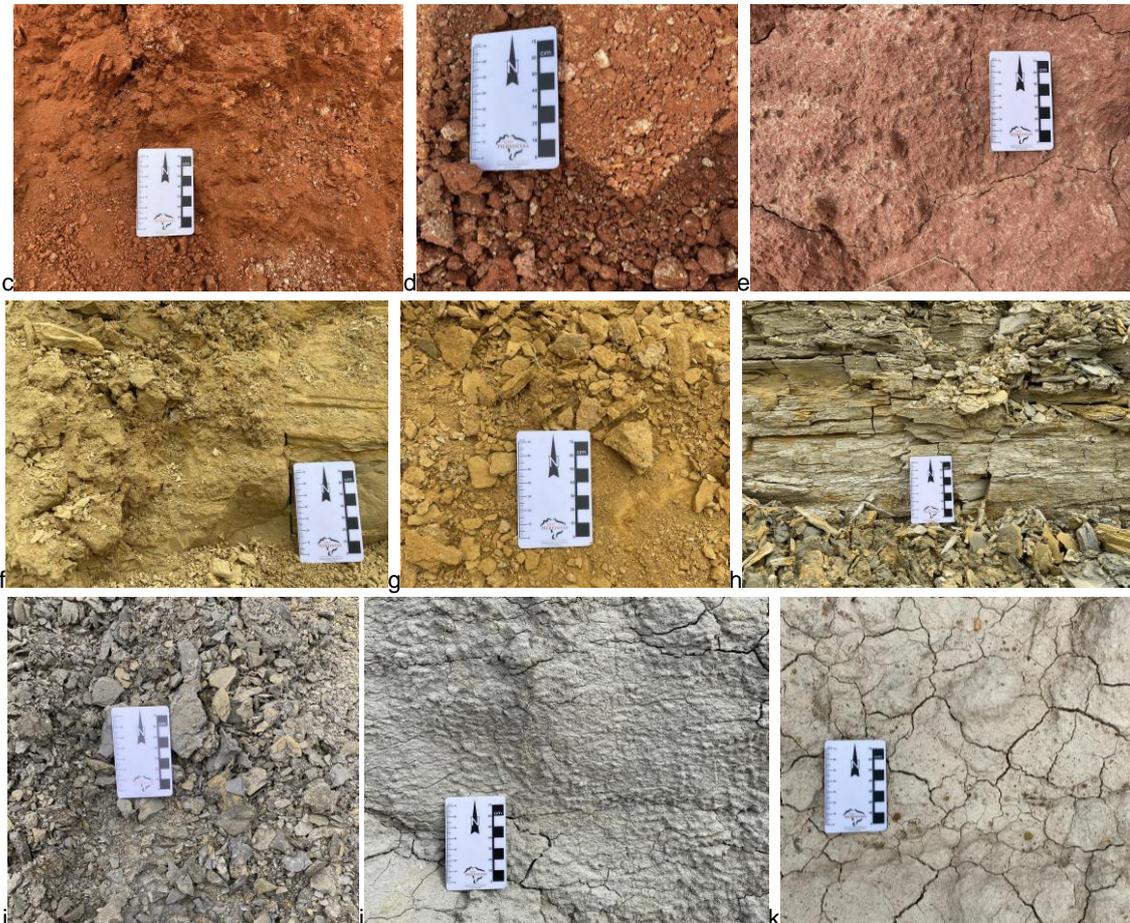


i) Processo de preparação da tinta e j) Inventário cromático com tintas de pigmentos minerais.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira em 04/06/2022.

APÊNDICE C - Trabalhos de campo



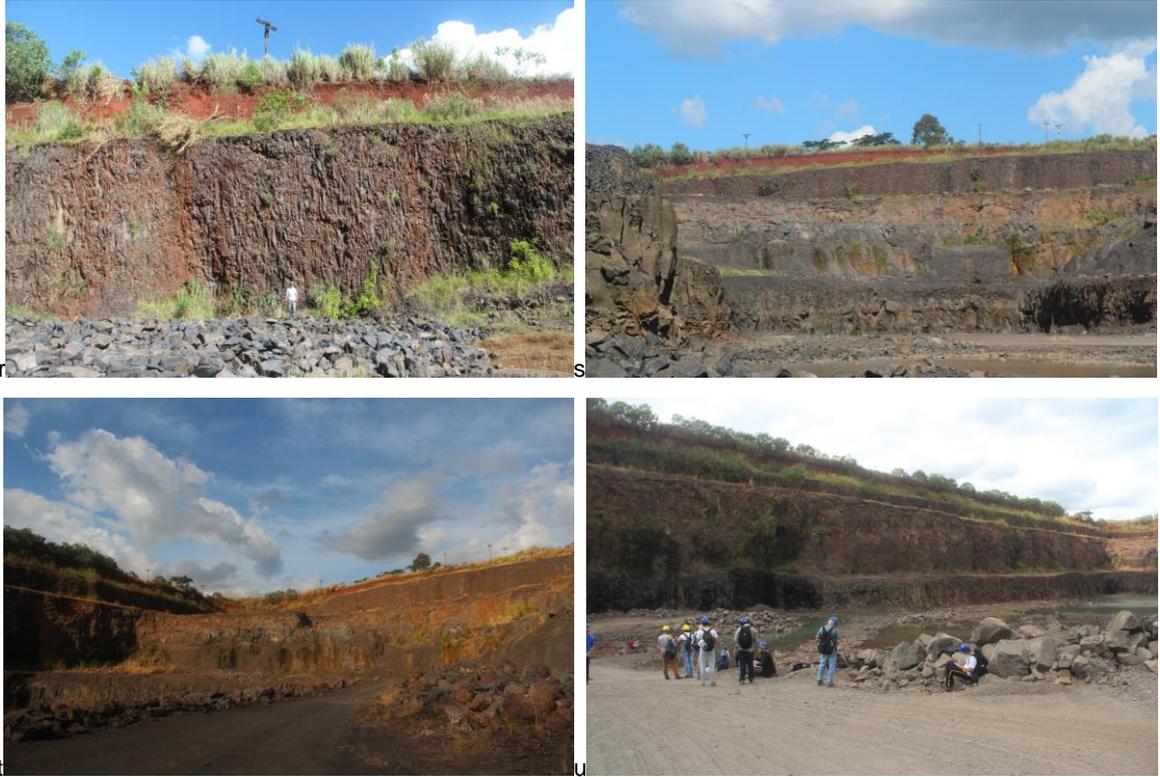
a) Mineradora Argilas Morro Grande e b) Vista interna da Mineradora Argilas Morro Grande.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 09/06/2022.



Solos coletados em Morro Grande: c) Marrom; d) Vermelho; e) Rosa; f) Amarelo claro;
g) Amarelo escuro; h) Creme; i) Verde; j) Cinza e k) Branca.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 09/06/2022.



Solos coletados na Cidade Universitária - USP, Campus Butantã: l), m) e n) Ponto #1; o), p) e q) Ponto #2.
 Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 22/07/2022.



r), s), t) e u) Solos coletados na Pedreira Cristine (Sanen Engenharia) em Araraquara (SP).
Fotos: Profa. Christine Laure Marie Bourotte.



v) Solo “terra roxa” coletado em Ribeirão Preto (SP) e w) Solos moídos de Ribeirão Preto (SP) e Araraquara (SP).

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE D - Extração de pigmentos



a

a) Materiais utilizados para moagem.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira.



b



c



d

b) Solo para treino; c) Início da moagem e d) Andamento da moagem.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



e



f



g

e) Peneira de abertura de 0,063mm; f) Mesa vibratória para peneiramento e g) Frações de silte e argila peneiradas.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



h) Mistura da fração silte e argila em béquer com água e i) Fração argila decantada.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



j) Placas de petri com fração argila; k) Placas dispostas na estufa para secagem e l) Fração argila seca e craquelada.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



m) Material seco e fragmentado; n) Moagem dos pigmentos e o) Pigmento do solo de treino extraído.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



- p) Processo de extração de pigmentos aplicado às amostras de solo coletadas em Morro Grande, no campus da USP, em Ribeirão Preto e Araraquara.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE E.1 - Caracterização mineralógica por Difração de Raios-X



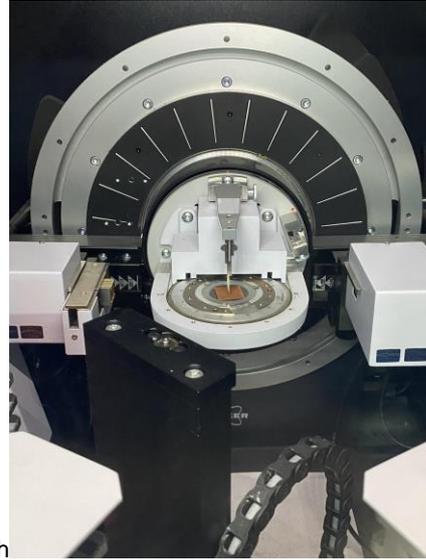
a) Solo coletado pronto para moagem e b) Moagem do solo em almofariz de ágata.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



c) Amostra de argila pós moagem e d) Amostras dos solos encaminhados para DRX.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



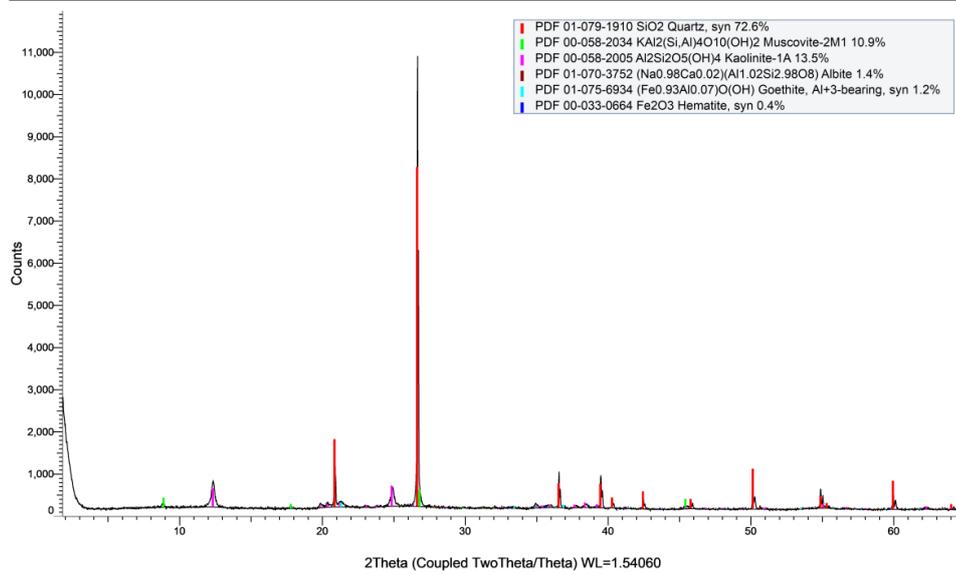
e) Preparação do espécime com água destilada para DRX e f) Espécime em lâmina pronto para DRX.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



g) Equipamento de Difração de Raios-X e h) Espécime passando por DRX.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE E.2 - Resultados Difração de Raios-X

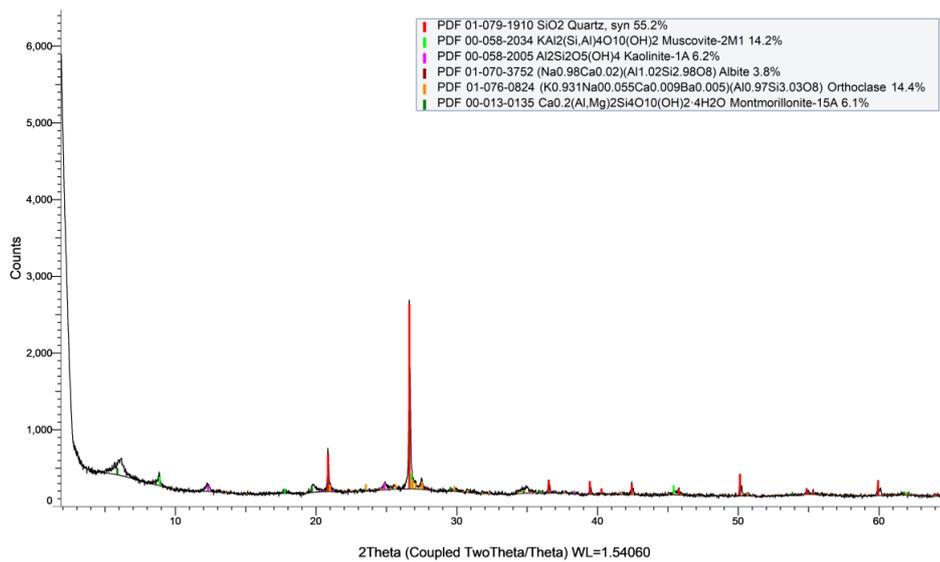
VERMELHO



a

a) Difratoograma do solo vermelho coletado em Monte Mor (SP).
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

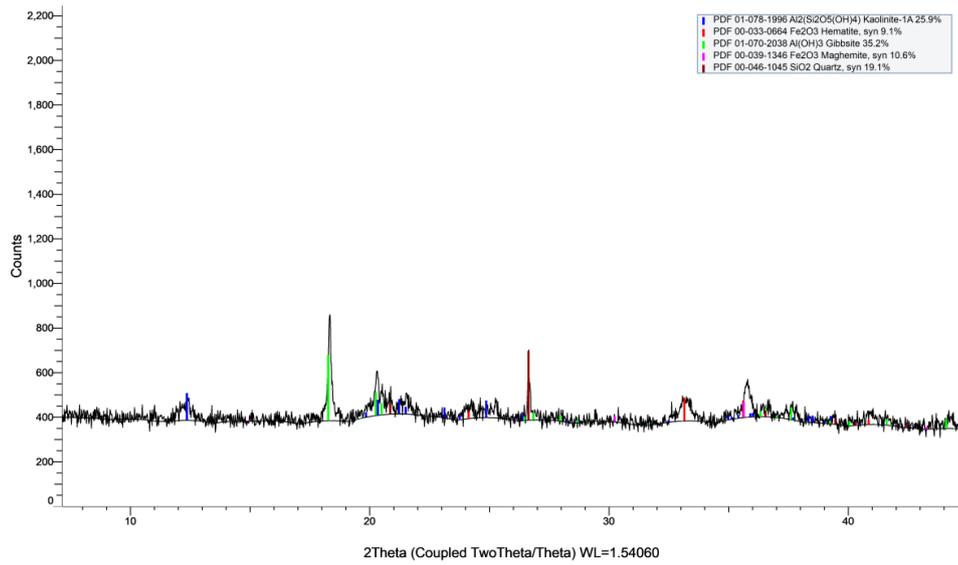
VERDE



b

b) Difratoograma do solo verde coletado em Monte Mor (SP).
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

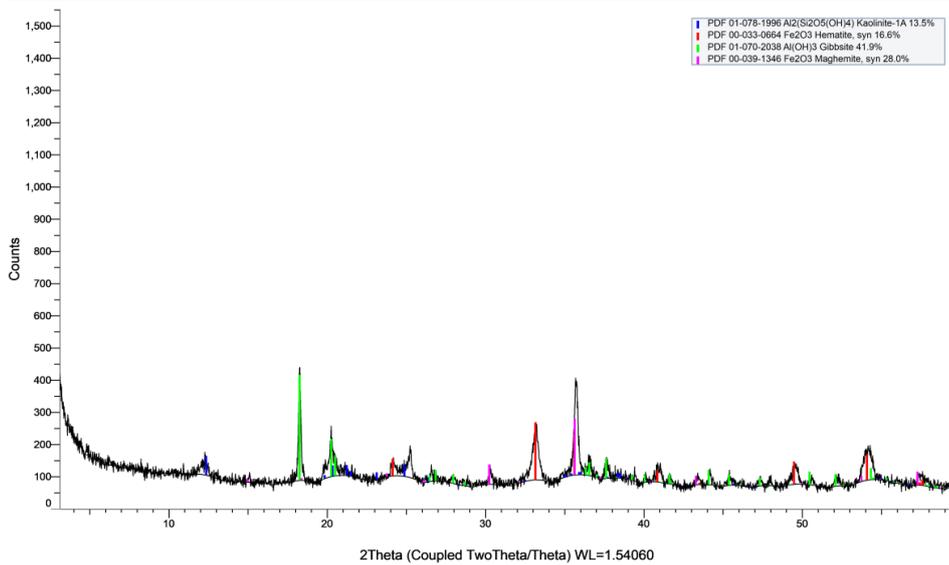
RIBEIRÃO PRETO



C

c) Difratograma do solo de Ribeirão Preto (SP).
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

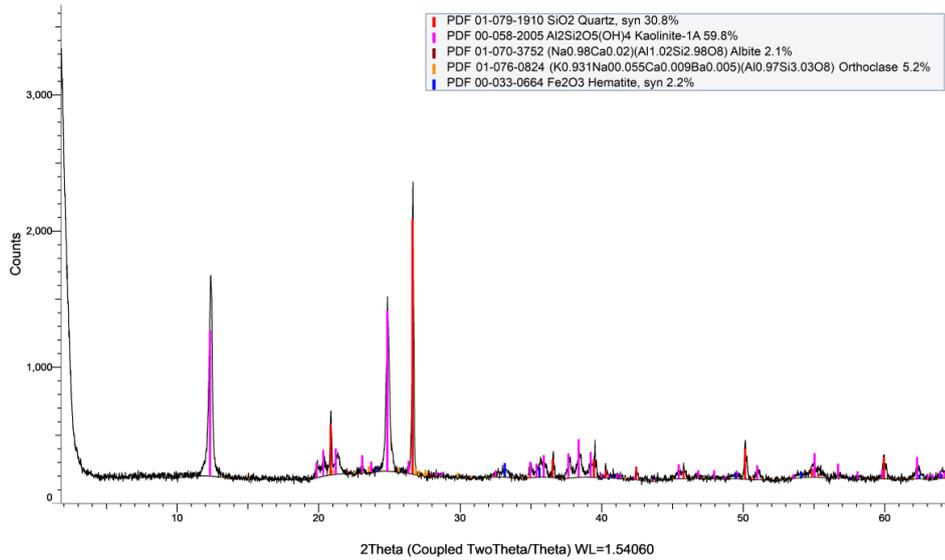
ARARAQUARA



d

d) Difratograma do solo de Araraquara (SP).
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

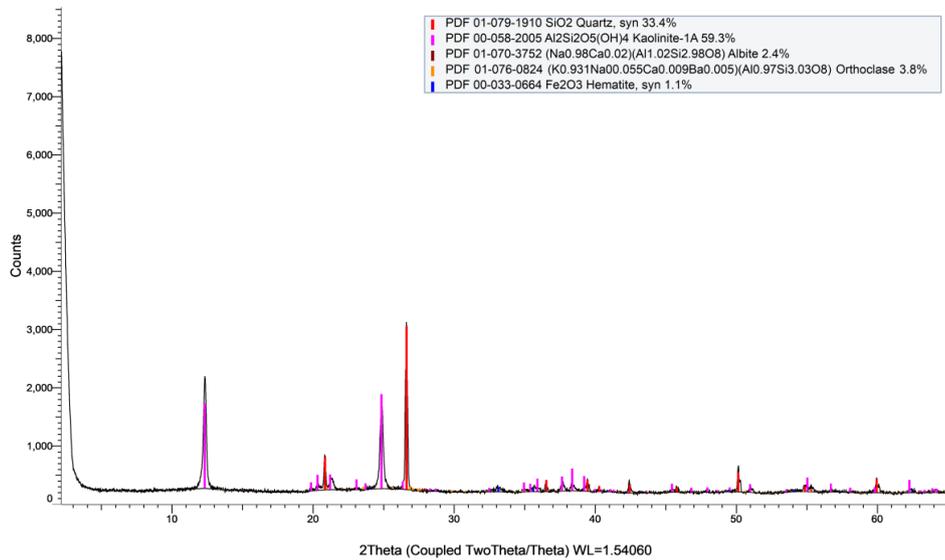
USP CIDADE UNIVERSITÁRIA #1



e

e) Difratoograma do solo do Ponto 1 da Cidade Universitária - USP Butantã.
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

USP CIDADE UNIVERSITÁRIA #2



f

f) Difratoograma do solo do Ponto 2 da Cidade Universitária - USP Butantã.
Foto: DIFFRAC.EVA por Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE F.1 - Espectrofotometria

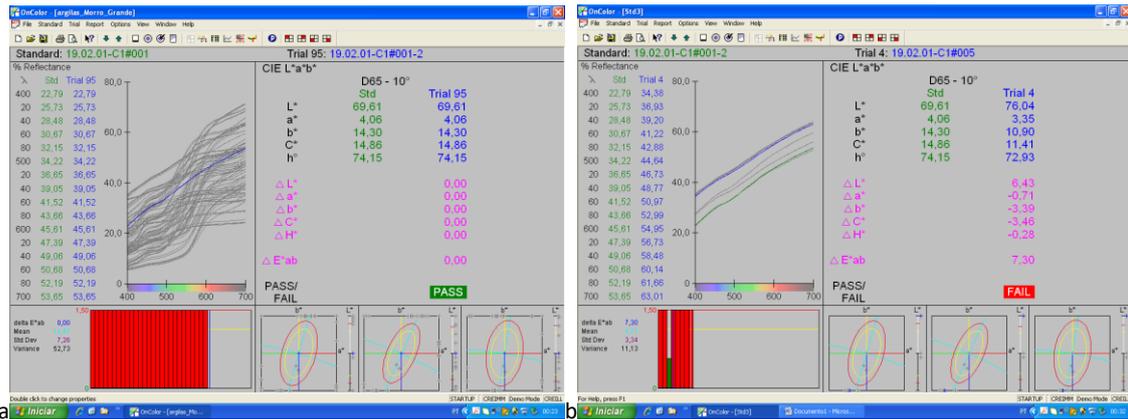


a) e b) Medição de cor por espectrofotometria de solos brutos.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 15/07/2022.

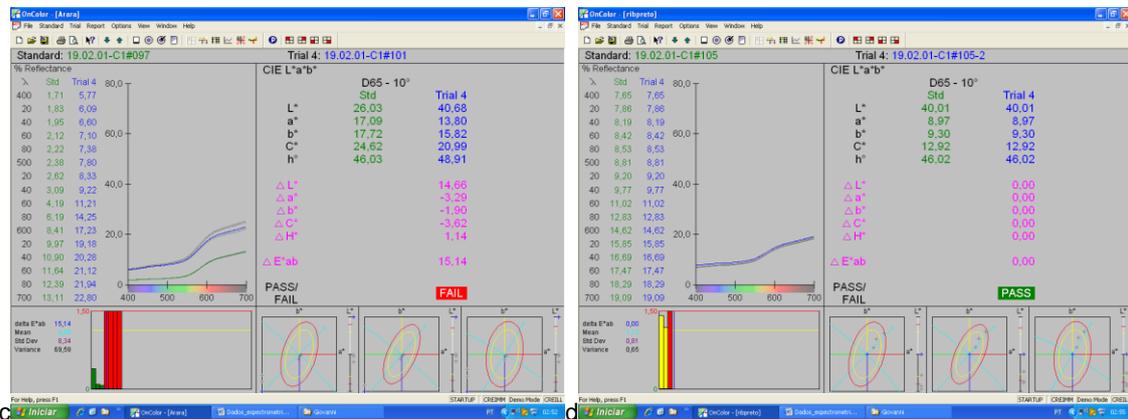


c) Amostras de solos brutas e moída para espectrofotometria e d) Limpeza da superfície da amostra com um pincel para eliminar impurezas e grãos soltos.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 15/07/2022.

APÊNDICE F.2 - Resultados Espectrofotometria



- a) Resultado da análise física de espectrofotometria de todos os solos coletados na mineradora Argilas Morro Grande (brutas e moídas) e b) Solo branco: curvas inferiores amostras brutas (curva verde) e curvas superiores amostras moídas (curva azul). Obs: algumas curvas podem estar sobrepostas.
Fotos: OnColor por Giovanni Bueno de Oliveira em 22/09/2022.



- c) Resultado da análise física de espectrofotometria do solo moído obtido no Parque da Pedreira de Santa Luzia em Ribeirão Preto (SP) e d) Resultado da análise física de espectrofotometria do solo moído obtido da Pedreira Cristine em Araraquara (SP). Obs: algumas curvas podem estar sobrepostas.
Fotos: OnColor por Giovanni Bueno de Oliveira em 22/09/2022.

APÊNDICE G.1 - Fluorescência de Raios-X



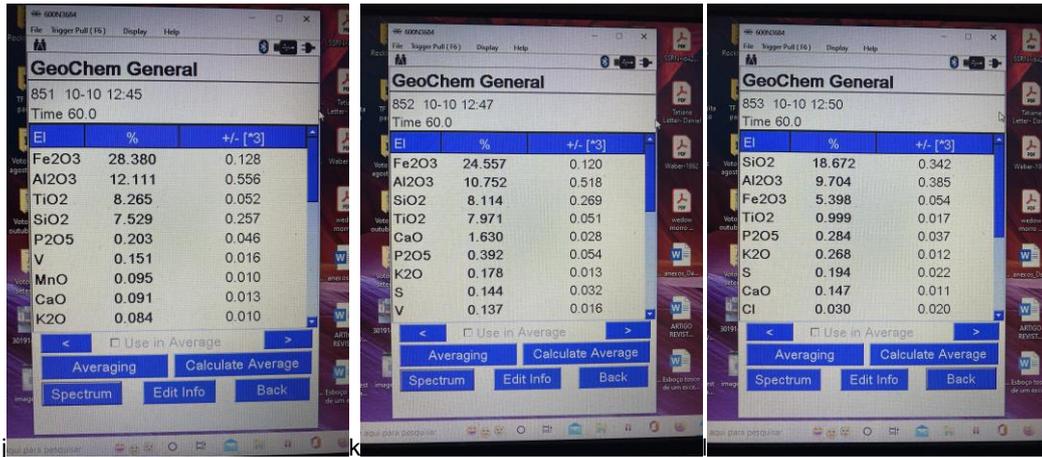
a) Amostras de solos moídas enviadas para análise química de FRX.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/10/2022.



b) Analisador Bruker S1 Titan utilizado para análise química de FRX.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/10/2022.

APÊNDICE G.2 - Resultados Fluorescência de Raios-X

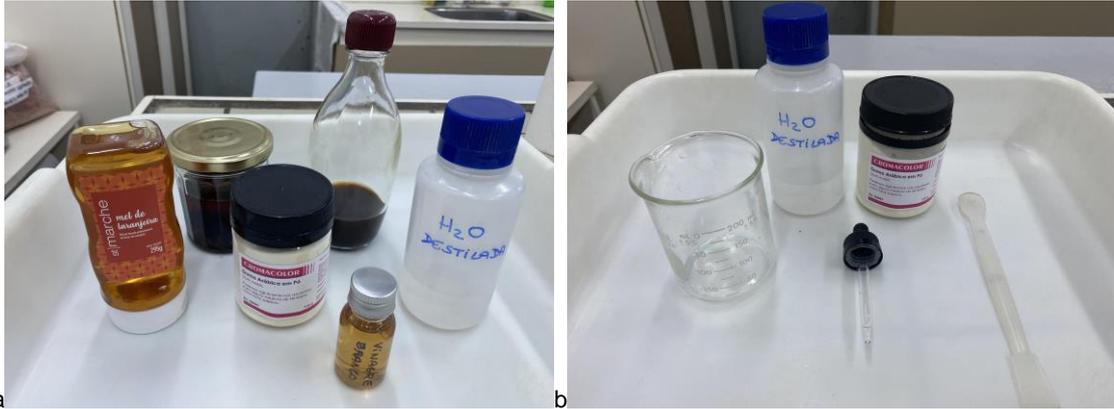




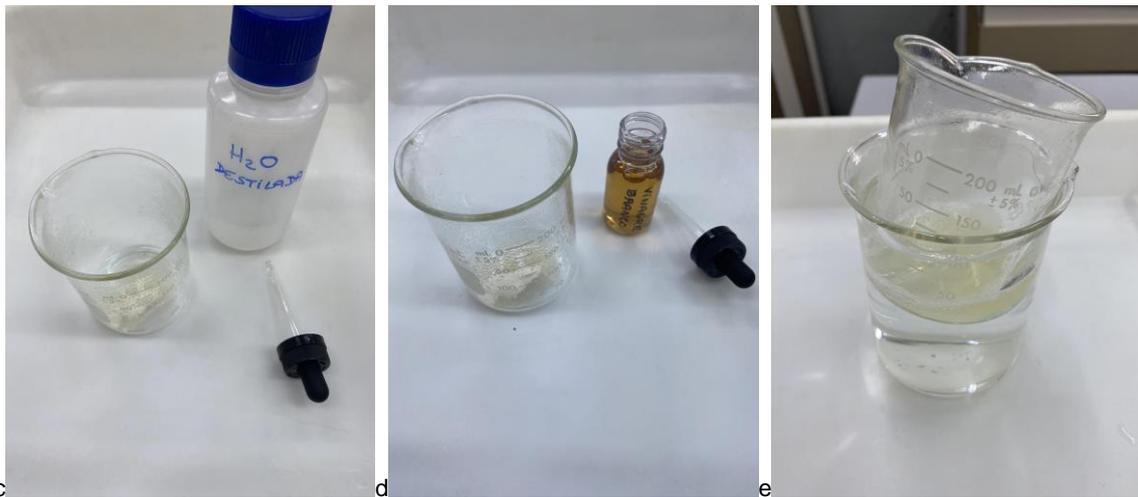
Resultados das análises de FRX dos solos: a) Branco; b) Amarelo escuro; c) Amarelo claro; d) Marrom; e) Vermelho; f) Rosa; g) Cinza; h) Verde; i) Creme; j) Araraquara; k) Ribeirão Preto; l) Treino; m) Cidade Universitária #2; e n) Cidade Universitária #1.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/10/2022.

APÊNDICE H - Produção da tinta

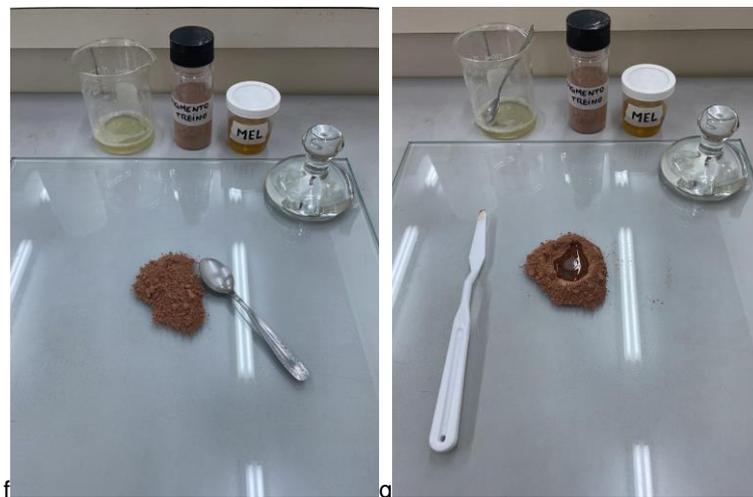


a) e b) Materiais utilizados na preparação da tinta.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



c) Mistura de água destilada com goma arábica; d) Adição de vinagre à mistura e e) Solução aquecida por banho-maria.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.





f); g); h) e i) Processo de mistura da têmpera de goma arábica e pigmento em p .
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



j) Processo de mistura e moagem do aglutinante com o pigmento e k) Mistura e moagem concluídas.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



l) e m) Tinta pronta para uso.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira.



n) Teste de pintura aquarela com a tinta natural preparada a partir do “solo para treino”.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE I - Oferecimento de oficinas



a) Oficina "Pintando com Solos" na Semana de Arte e Cultura da USP e b) Solos e materiais utilizados na oficina. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



c) Amostras de minerais e rochas e d) Breves explicações sobre a formação das rochas e minerais. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



e) Amostras de basalto e granito em diferentes etapas de intemperismo e f) Amostras de minerais e gemas. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



g) Participantes da oficina praticando a moagem dos solos e h) Participantes da oficina praticando o peneiramento dos solos. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



i) Ovo utilizado como aglutinante durante as oficinas e j) Participantes da oficina praticando a produção das tintas. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



k) Participantes da oficina praticando a produção das tintas e l) Participantes da oficina pintando com as tintas produzidas. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



m) Participantes da oficina pintando com as tintas produzidas e n) Participantes da oficina.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



o) Participantes da oficina pintando com as tintas produzidas e p) Resultado das produções artísticas da oficina com tintas minerais. Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 27/09/2022.



q) Oficina "Pintando com Solos" no Sábado da Geodiversidade da USP e r) Crianças participando da oficina "Pintando com Solos" no Sábado da Geodiversidade da USP.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 08/10/2022.



s) Participantes da oficina “Pintando com Solos” no Sábado da Geodiversidade da USP e t) Recados dos participantes após a participação nas oficinas do Sábado da Geodiversidade da USP.
Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 08/10/2022.



u) Equipe responsável pelo oferecimento das oficinas “Pintando com Solos” (esq. para dir.: Laiz, Alexia, Giovanni e Profa. Christine).
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira.

APÊNDICE J - Entrevista com artista



a



b

a) e b) Entrevista com a artista Denise Valarini do projeto “Poética do Habitar” durante sua visita ao Instituto de Geociências - USP.

Fotos: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/11/2022.



C

c) Paleta de solos como lembrança de Denise Valarini.
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/11/2022.



d

d) *Feedback* de Denise Valarini postado em seu perfil profissional do Instagram (esq. para dir.: Laiz, Alexia, Denise, Profa. Christine e Giovanni).
Foto: Giovanni Bueno de Oliveira em 10/11/2022.