

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Nivaldo Timóteo de Arruda Filho

**GEOTECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
CAUSADOS PELA ATIVIDADE MINERADORA NA CIDADE DE PEDRA
LAVRADA – PB**

Campina Grande – PB

2015

Nivaldo Timóteo de Arruda Filho

**GEOTECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
CAUSADOS PELA ATIVIDADE MINERADORA NA CIDADE DE PEDRA
LAVRADA – PB**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial à obtenção do título de **Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais**.

Orientador: Prof. Dr. Romualdo Rodrigues Menezes.

Co-orientador: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves.

Campina Grande – PB

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A779g	<p>Arruda Filho, Nivaldo Timóteo de Geotecnologias para avaliação de impactos ambientais causados pela atividade mineradora na cidade de Pedra Lavrada - PB / Nivaldo Timóteo de Arruda Filho. - - Campina Grande, 2015. 103 f. : il., color. tabelas, figs., quadros.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Romualdo Rodrigues Menezes. Co-orientador: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves.</p> <p>Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 2015.</p> <p>1. Caracterização de materiais. 2. Impacto ambiental. 3. Mineração. 4. Sensoriamento remoto. I. Menezes, Romualdo Rodrigues, orient. II. Neves, Gelmires de Araújo, coorient. III. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. IV. Título.</p> <p>CDD 21.ed. 620.112</p>
-------	---

VITAE DO CANDIDATO

- Engenheiro Agrônomo pela UFPB (2008).
- Mestre em Engenharia Agrícola pela UFCG (2011)

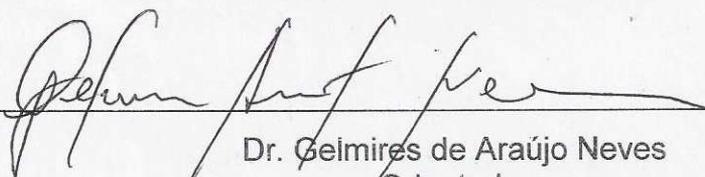
**GEOTECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
CAUSADOS PELA ATIVIDADE MINERADORA NA CIDADE DE PEDRA
LAVRADA-PB**

NIVALDO TIMOTEO DE ARRUDA FILHO

Tese Aprovada em 29/04/2015 pela banca examinadora constituída dos seguintes membros:



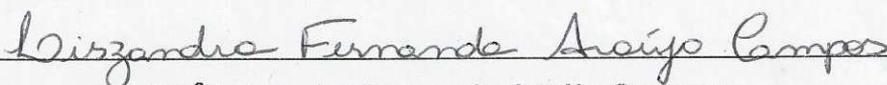
Dr. Romualdo Rodrigues Menezes
Orientador
PPG-CEMat/UAEMA/UFCG



Dr. Gelmires de Araújo Neves
Orientador
PPG-CEMat/UAEMA/UFCG



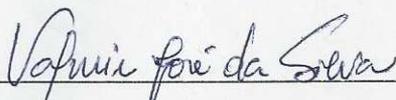
Dr.ª Lisiane Navarro de Lima Santana
Examinadora Interna
PPG-CEMat/UAEMA/UFCG



Dr.ª Lizandra Fernanda Araújo Campos
Examinadora Externa
UFPB



Dr. José Mácio Ramalho
Examinador Externo
UFC



Dr. Valmir Jose da Silva
Examinador Externo
UFCG

DEDICO

*Primeiramente, a **DEUS**, pai todo poderoso, pelo dom da vida, pela força, saúde e coragem para enfrentar e superar os momentos mais difíceis onde, na hora em que pensei em desistir, tocou em minha cabeça e coração, me dando forças para continuar e vencer toda a caminhada, nunca deixando que as dificuldades cancelassem as vitórias por **ELE** programadas.*

*Em especial ao meu pai, meu anjo, **NIVALDO TIMÓTEO DE ARRUDA** (in memorian) que, de onde quer que esteja, tenho a certeza da infinita torcida e vibração de mais este degrau alcançado e, ao mesmo tempo, da tristeza de não estar presente, compartilhando seu grande sonho, em ver seu filho se tornar um doutor na área de engenharia. Agradeço por todo seu carinho, incentivo, compreensão e por toda sua dedicação, quando em vida, para comigo. Saudades eternas. AMO VOCÊ PAI.*

*A minha mãe **JOSEFA LOPES DE ARRUDA** e a minha irmã **JAQUELINE LOPES TIMÓTEO DE ARRUDA**, por toda dedicação e apoio, estando sempre presente nas dificuldades que a vida oferece, ajudando a enfrentar e superar cada uma delas individualmente.*

*A minha segunda família, meus tios **GILDIVAN LOPES E YARA ROCHA**, aos meus primos **ANDRÉ, ADRIANA, ALESSANDRA, WALTER, ARTHUR, BRUNO, JANDUÍ, ISABELLA, HALEX, MARIA EDUARDA, WALTINHO, ANDREZINHO E ANINHA**, que sempre me acolheram e proporcionaram momentos especiais e inesquecíveis.*

*A meu primo **AGAMENILSON**, e aos meus tios **OÊMIO TIMÓTEO** (in memorian), **CLÁUDIO TIMÓTEO** e **FRANCISCO TIMÓTEO** por, na ausência do meu pai, me mostrarem o caminho de um homem vencedor, honesto e honroso com suas atividades.*

*Aos meus **AVÓS** (in memorian), **TIOS, PRIMOS, CUNHADOS E AMIGOS**, que de alguma forma contribuíram para a chegada desta grande realização.*

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, por me tornar um doutor em minha profissão, abrindo portas para um futuro melhor.

Ao CNPq pelo apoio financeiro para conclusão deste trabalho e auxílio para novas pesquisas.

Ao Orientador e Professor Dr. Romualdo Rodrigues Menezes e ao Co-orientador e Professor Dr. Gelmires de Araújo Neves, por toda paciência, dedicação, ensinamento e, além de tudo, toda sua amizade nesses anos de pesquisas e trabalhos, mostrando-me sempre a melhor maneira de enfrentar as dificuldades que a vida estudantil oferece.

Aos Professores, Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana e Dr. José Mácio Teódulo Ramalho, por fazerem parte da minha banca examinadora.

Ao meu companheiro de pesquisa, Thiago Henrique de Oliveira, por todo apoio e acompanhamento em cada passo da pesquisa. Deixo aqui meu profundo agradecimento.

A todos os professores, funcionários e alunos do CCT/UFCG, em especial, ao programa de Ciências e Engenharia de Materiais.

Aos meus companheiros de Centro e a todos os professores do Programa, que nunca falharam nas horas que mais precisei, estando presente em todos os momentos e, em cada passo dado para minha nova formação.

Aos meus amigos e irmãos: Bolinha, Rafael, Renato, Flor, Belle, Marina, Mariana, Jéssica, Mariana 2, Cristiene, Oliviene, Dani, Cesar Neto, Galego Nunes, Galego da Pêa, Guto, Boró, Júlia, Paloma, Raquel, Joao Hugo, Daniel, Israel, Valdecir, Leidimar, Vital, Michelle, Vitória, Cordão, Altamir, Jamilton, César, Laércio, Indra, Carol, Fagner, Pedro, Êgly, Weligton, Fábio (Fabinho), Jessé, Camilo, Maurício, Luiz Paulo, Richardson, Gustavo (galalau), André (doido), Flaviano (vaqueiro), Antônio (Tonhão-*in memoriam*), Fernando (vereador), Luizinho (batman), Maira, Ana Emília, Daieny...dentre tantos outros, pelo simples fato de acreditarem em mim e fazerem parte da minha história...

RESUMO

Praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento e até, contaminação dos corpos d'água do entorno. Com isso, o presente estudo objetiva avaliar os impactos ambientais gerados pela atividade mineradora na cidade de Pedra Lavrada – PB. Para coleta de dados ambientais, foram elaborados quadros, segundo a metodologia utilizada na norma ISO 14001 (ABNT, 2004d). Para a realização do estudo dos dados radiométricos foram utilizadas sete imagens, em diferentes datas, do sensor *Thematic Mapper* (TM), de órbita e pontos 215/65, a bordo do satélite Landsat 5. Já na atividade de campo foi utilizado um GPS Garmin Etrex Vista HCX onde foram coletadas as coordenadas dos indivíduos utilizados na espectroradiometria. A caracterização das amostras dos produtos beneficiados das mineradoras (sienito e feldspato) bem como, dos solos de cobertura do entorno, foram efetuadas através da análise granulométrica por difração de laser (AG), análise química (AQ); difração de raios X (DRX). Os principais impactos da atividade de mineração na região de Pedra Lavrada - PB resume-se a destruição da vegetação; movimentação exposição de solos a processos erosivos, geração de poeira, ruídos e gases; afugentamento da fauna e flora e geração de resíduos para os recursos hídricos. Através dos mapas de Albedo da superfície e do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) foi observado que o entorno das Indústrias de Beneficiamento encontraram-se destacadas com valores mais elevados de albedo e mais baixos de IVAS. Já às áreas utilizadas para a extração apresentavam valores de albedo superiores a 0,301 e valores de IVAS variando entre 0 e 0,10. Também foi possível observar mudanças significativas do uso e cobertura do solo no entorno da sede municipal de Pedra Lavrada e diferenças nos valores de reflectância da curva espectral dos indivíduos afetados pelos resíduos de atividade mineradora apresentado. A caracterização dos materiais de cobertura de solo no entorno das fábricas de beneficiamento, mais especificamente de sienito e feldspato, mostraram que os mesmos atingiram de forma direta pela poeira residual gerada as faixas de solo, a favor do vento, de até 400m e 200m, respectivamente. A composição química e mineralógica dos solos do entorno das beneficiadoras de sienito e do próprio feldspato, mostraram que os

mesmos, teoricamente, são inviáveis para serem utilizados como matéria prima para produção de cerâmica branca pelo seu alto teor de ferro presente ($> 2\%$). As águas armazenadas em cava de extração a céu aberto da Mineradora B podem ser utilizadas para o consumo humano e animal bem como, para projetos de irrigação e necessidades básicas familiar

Palavras-chave: Caracterização de materiais. Impacto ambiental. Mineração. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Virtually all mining activity involves removal of vegetation or impediment of its regeneration. In many situations, the most fertile portion of the soil, the top, is also removed, and the remaining soils are exposed to erosion, it may cause siltation and even contamination of the water bodies at surrounding environments. Thus, this study aimed to evaluate the environmental impacts caused by mining activity in the municipality of Pedra Lavrada - PB. To collect environmental data, tables were prepared according to the methodology used in the standard ISO 14001 (ABNT, 2004d). For the study of the radiometric data were used seven images on different dates, from the Thematic Mapper (TM) sensor, orbit and points 215/65 on board Landsat 5 satellite. Yet, in field activities a Garmin GPS model Etrex Vista HCX was used to collect coordinates from individuals point used on spectroradiometry data. The samples characterizations from benefited products at the mining activity areas (syenite and feldspar) as well as, the land cover data in the vicinity of these areas, were made through particle size analysis by laser diffraction (LD), chemical analysis (CA) and X-Ray Diffraction (XRD). The main environmental impacts caused by mining activity in the municipality of Pedra Lavrada - PB are the destruction of natural vegetation; handling and exposure to soil erosion, dust generation, noise and gas emissions; resulting in scaring the fauna and flora and waste generation for water resources. Through Albedo surface map and Vegetation Index adjusted to Soil was observed that the environment surroundings the Industries Processing Facilities are highlighted with higher albedo values and lower UAI. The areas used for feature extraction albedo values exceeding 0.301 and ARI values ranging between 0 and 0.10. It was also possible to observe significant changes in land use and land cover surrounding Pedra Lavrada Township and differences in reflectance values of the spectral curve on individuals affected by mining activity waste. The characterization of the land cover material in the vicinity of processing facilities more specifically syenite and feldspar, showed that they were hit directly by the residual dust generated by soil tracks downwind up to 400m and 200m respectively. The chemical and mineralogical composition of the soils surrounding the syenite and feldspar facilities showed that they theoretically are not feasible for use as raw material on white ceramic production because of its high iron content (> 2%). The waters stored in mining digging open pits extraction at the one of the evaluated plants (Mining A)

can be used for human and animal consumption as well as for irrigation projects and family basic needs.

Keywords: Characterization of materials. Environmental impact. Mining. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	(A) Satélite com sensor ótico Landsat 8, (B) Imageamento por radar	32
Figura 2	(A) Fotografia aérea de alta resolução espacial (30cm); (B) Imagem do satélite Landsat 8 com média resolução espacial de (30m)	33
Figura 3	Comportamento espectral de uma folha sadia	37
Figura 4	Fluxograma das atividades desenvolvidas	43
Figura 5	Localização do município de Pedra Lavrada – PB	45
Figura 6	Fluxograma de pré-processamento das imagens	46
Figura 7	Armazenamento irregular do sienito processado	51
Figura 8	Distribuição das amostragens de solo no entorno da mineradora A	51
Figura 9	Distribuição das amostragens de solo no entorno da mineradora B	52
Figura 10	(1) Descarga, (2) processamento, (3) transporte e (4) armazenamento do material	56
Figura 11	(1) Vegetação contra o vento, (2) carregamento do material processado e (3) vegetação a favor do vento	56
Figura 12	Números de elementos por classe (pixels) de Albedo da superfície	58
Figura 13	Albedo da superfície para o município de Pedra Lavrada – PB	59
Figura 14	Precipitação mensal para os anos de 1999, 2007, 2008, 2010 e 2013	60
Figura 15	Mapa de uso e cobertura do solo do município de Pedra Lavrada – PB	62
Figura 16	Detalhe de Albedo da superfície para a área urbana de Pedra Lavrada e entorno	64
Figura 17	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo para a área urbana de Pedra Lavrada e entorno	66
Figura 18	Distribuição dos pontos de coleta de vegetação na Indústria de	68

	beneficiamento “A”, Pedra Lavrada – PB	
Figura 19	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora sem influência da atividade de mineração, ponto 253, Pedra Lavrada – PB	69
Figura 20	Carregamento de caminhão com material de mineração na Indústria de beneficiamento “A”, Pedra Lavrada – PB	69
Figura 21	Diferença de coloração da folha afetada e da não afetada pelo material residual em suspensão da Indústria de beneficiamento “A”	70
Figura 22	Diferença na coloração da vegetação no entorno da Indústria de beneficiamento “A”, Pedra Lavrada – PB	70
Figura 23	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 254, Pedra Lavrada – PB	71
Figura 24	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 255, Pedra Lavrada – PB	71
Figura 25	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 258, Pedra Lavrada – PB	72
Figura 26	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 259, Pedra Lavrada – PB	72
Figura 27	Distribuição dos pontos de coleta de vegetação na Indústria de beneficiamento “B”, Pedra Lavrada – PB	73
Figura 28	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 260, Pedra Lavrada – PB	74
Figura 29	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com influência da atividade de mineração, ponto 261, Pedra Lavrada – PB	74
Figura 30	Curva espectral de indivíduo da espécie Mimosa tenuiflora com pouca influência da atividade de mineração, ponto 262, Pedra	75

	Lavrada – PB	
Figura 31	Curva espectral de indivíduo da espécie <i>Mimosa tenuiflora</i> com pouca influência da atividade de mineração, ponto 263, Pedra Lavrada – PB	75
Figura 32	Difração de raio X das amostras da mineradora A	79
Figura 33	Difração de raio X das amostras da mineradora A	80
Figura 34	Difração de raio X das amostras da mineradora B	81
Figura 35	Distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora A	82
Figura 36	Distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora B	85
Figura 37	Mapa geológico da microrregião homogênea do Seridó paraibano	89
Figura 38	(1) Águas armazenadas em cavas de extração pertencentes à mineradora A; (2) mineradora B	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Metodologia para análise físico química das águas armazenadas em cavas de extração	53
Quadro 2	Atividades, aspectos e impactos da atividade de extração mineral ...	54
Quadro 3	Atividades, aspectos e impactos da atividade beneficiamento e carregamento mineral	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de Albedo para alguns tipos de alvos da superfície terrestre	35
Tabela 2	Georreferenciamento dos pontos coletados de vegetação para espectroradiometria	50
Tabela 3	Valores estatísticos (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação de Person) das imagens do Albedo da superfície	57
Tabela 4	Composição química (porcentagem mássica) das amostras da mineradora A	76
Tabela 5	Composição química (porcentagem mássica) das amostras da mineradora B	78
Tabela 6	Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora A	82
Tabela 7	Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora A	83
Tabela 8	Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora B	84
Tabela 9	Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora B	86
Tabela 10	Análises físico-química da água de cavas de extração da mineradora A	88
Tabela 11	Análises físico-química da água de cavas de extração da mineradora B	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Produção mineral na Paraíba e no município de Pedra Lavrada – PB	22
2.2	Impactos ambientais e resíduos sólidos da atividade mineradora	23
2.3	Pesquisas para reutilização de resíduos	27
2.4	Sensoriamento remoto	30
2.4.1	Albedo da superfície e detecção de mudança	34
2.4.2	Comportamento espectral da vegetação	36
2.4.3	Sensoriamento remoto e impactos ambientais	40
3	MATERIAS E MÉTODOS	43
3.1	Materiais	43
3.2	Metodologia	43
3.2.1	Atividades desenvolvidas na pesquisa	43
3.2.2	Dados ambientais	44
3.2.3	Dados radiométricos	44
3.2.3.1	Etapas de pré-processamento das imagens do satélite Landsat	46
3.2.3.2	Obtenção do Albedo da superfície e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	47
3.2.3.3	Atividade de campo	49
3.2.4	Coleta do material	50
3.2.4.1	Caracterização das amostras	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	Identificação dos aspectos e impactos ambientais da mineração na cidade de Pedra Lavrada – PB	54
4.2	Dados radiométricos	57
4.2.1	Albedo da superfície	57
4.2.2	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)	65
4.2.3	Dados obtidos com atividade de campo <i>in loco</i>	67
4.3	Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa	76
4.4	Análise das águas armazenadas em cavas de extração	87

4.4.1	Análise físico-química de águas armazenadas em cavas de extração da mineradora A	87
4.4.2	Análise físico-química de águas armazenadas em cavas de extração da mineradora B	89
5	CONCLUSÕES	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1 INTRODUÇÃO

Os mesmos processos geológicos que dão origem aos depósitos minerais condicionam a sua localização na crosta terrestre. A abundância ou escassez dos elementos que compõem essa crosta determina a frequência de ocorrência dos diversos tipos de depósitos minerais. A estas peculiaridades associa-se o termo rigidez locacional, que expressa a restrição na seleção de áreas que possam gerar menores impactos ambientais na implantação de empreendimentos minerários. Muitas vezes, os locais de ocorrência são ambientalmente sensíveis e importantes para a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos, da paisagem ou de demais recursos naturais com função ambiental de grande importância. Por esses aspectos, além da necessidade frequente de escavações vultosas para a retirada do bem mineral, que resultam em grandes volumes de rejeito, é que se vincula a mineração a impactos negativos significativos para o meio ambiente.

Praticamente, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar em assoreamento e até, contaminação dos corpos d'água do entorno. A qualidade das águas dos reservatórios da mesma bacia, a jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carregadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxas, metais pesados. Estes últimos podem também atingir as águas subterrâneas.

Com frequência, a mineração também provoca a poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra, beneficiamento e transporte, ou por gases emitidos da queima de combustível.

Segundo Mechi e Sanches (2010), todos os impactos anteriormente referidos podem ter efeitos danosos no equilíbrio dos ecossistemas, tais como a redução ou destruição de hábitat, afugentamento da fauna, morte de espécimes da fauna e da flora terrestres e aquáticas, incluindo eventuais espécies em extinção, interrupção de corredores de fluxos gênicos e de movimentação da biota, entre outros. Em relação ao meio antrópico, a mineração pode causar não apenas o

desconforto ambiental, mas também impactos à saúde causados pela poluição sonora, do ar, da água e do solo.

Os danos ambientais causados pela ação antrópica desordenada afetam os ecossistemas, comprometendo a qualidade de vida do próprio homem. No entanto, o emprego de tecnologias que facilitem um diagnóstico mais amplo, e com maior rapidez, como por exemplo, o Sensoriamento Remoto e em especial os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), podem auxiliar na solução de vários problemas ligados aos interesses e às necessidades das comunidades envolvidas.

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto constitui uma poderosa ferramenta para realizar o planejamento de uma unidade ambiental. Os mapeamentos obtidos com auxílio dessas técnicas podem integrar toda a região de estudo, podendo ademais utilizar metodologias adaptadas às condições específicas de cada área.

As informações obtidas através de imagens de Sensoriamento Remoto são de extremo valor para diversas e importantes aplicações, entre as quais destacamos a avaliação de desflorestamentos e reflorestamentos, a análise de cobertura do solo, o suporte à previsão de safras, o monitoramento ambiental, entre outros. Atualmente grande parte da superfície terrestre encontra-se imageada, por satélites como o LANDSAT (americano) e o SPOT (francês).

O estudo de uma região por meio das técnicas de sensoriamento remoto é essencial para um prévio conhecimento e seu posterior planejamento. Assim, o trabalho aqui relatado apresenta um instrumento que poderá ser capaz de compor um planejamento físico-territorial, levando-se em conta a dimensão ambiental da região em estudo.

A classificação da capacidade de uso da terra de um município, associado a outros dados relevantes, proporcionará uma análise completa e detalhada de sua situação atual, permitindo o mapeamento das atividades predominantes, bem como sua distribuição espacial.

Na identificação dos usos da terra pode-se acompanhar a evolução do processo de ocupação antrópica, bem como, os efeitos residuais da atividade mineradora, podendo criar simulações dos impactos dessas sobre o meio ambiente.

Deste modo, as ferramentas geotecnológicas podem ser estruturadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para caracterizar, avaliar e propor ações de controle de uso dos recursos naturais que visem à conservação da biodiversidade (Sausen, 2004). Diante do exposto, o presente estudo objetivou

avaliar os impactos ambientais gerados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada – PB utilizando o sensoriamento remoto e dados de campo *in loco* como também:

- Identificar os aspectos e impactos ambientais da mineração na cidade de Pedra Lavrada – PB;
- Realizar a análise dos impactos ambientais da extração e beneficiamento mineral utilizando sensoriamento remoto e dados de campo *in loco*;
- Caracterizar física, química e mineralogicamente o material de extração beneficiado e resíduos da mineração nos solos de cobertura da região circunvizinha das duas maiores fábricas de processamento da região;
- Analisar as características físico-químicas das águas armazenadas em cavas de extração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção mineral na Paraíba e no município de Pedra Lavrada – PB

Os investimentos previstos no setor mineral no Brasil no ano de 2014 ao ano de 2018, baseados no Código de Mineração, podem chegar em torno de US\$ 53,6 bilhões (IBRAM, 2012). A Indústria Mineral Brasileira registrou ao longo da última década, crescimento vigoroso, graças a fatores, como as grandes mudanças socioeconômicas e de infraestrutura que o País tem vivenciado, impulsionado pelo processo de urbanização, em países emergentes com expressivas áreas territoriais, alta densidade demográfica e alto PIB (Produto Interno Bruto) (IBRAM, 2012).

A Paraíba apresenta uma gama de minérios distribuídos em 98% do território do estado, os quais são explorados comercialmente em sua grande maioria para a construção civil, indústria cerâmica, indústria química e indústria de extração de petróleo. A estimativa do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) é que a atividade deve movimentar cerca de R\$ 200 milhões por ano no estado, se concentrando, a maior parte em 17 municípios do Seridó (IBRAM, 2012).

O Estado da Paraíba, com uma geologia diversificada, possui jazidas e ocorrências minerais de vários tipos: bentonitas, minerais de titânio, calcário para produção de cimento, calcários calcíticos, rochas de revestimento, rochas ornamentais, minerais pegmatitos, vermiculita, água mineral, argila para cerâmica vermelha e, minerais da construção civil (Brasil, 2012).

Alguns municípios paraibanos juntamente com alguns municípios do Rio Grande do Norte detêm mais de 400 corpos pegmatíticos, que são corpos de rochas de composição basicamente granítica (quartzo, feldspatos e mica), que constituem a maior fonte de alguns metais raros, a exemplo do tântalo, além de importantes depósitos de berilo, feldspatos, minerais de lítio, mica, estanho, caulim e quartzo (Brasil, 2009).

Dentre os corpos pegmatíticos, o município de Pedra Lavrada – PB, destaca-se pela configuração da mineração, intrinsecamente associada à Província Pegmatítica da Borborema – Seridó. As primeiras atividades de exploração dos pegmatitos da Província datam do início da Primeira Guerra Mundial (1914-1918). No entanto, sua ascensão ocorreu mais expressivamente durante a Segunda Guerra Mundial (1941-1945), com o aumento da produção de minerais de berilo, de lítio, e de tântalo. Na década de 1980, a mineração ressurgiu com a demanda por minerais

não metálicos, notadamente feldspatos, quartzo, calcário e caulim; persistindo com essas características até os dias atuais (Lima, 2013).

Geologicamente, o município de Pedra Lavrada integra um dos arcabouços mineralógicos mais diversificados e importantes do Brasil, e entre os minerais destacam-se os feldspatos, que representam 82% quanto à produção em toneladas e 54% quanto ao valor da produção, quartzos, micas (representando 73% do valor nacional), as argilas e os calcários, que são componentes básicos nas indústrias de cerâmica, vidro, tintas, esmalte, porcelanas, elétrica, eletrônica, isolante térmicos, eletrodos, borracha, plásticos, cosméticos, entre outros (Lima, 2013).

Por outro lado, a exploração mineral na região Seridó, especificamente, em Pedra Lavrada, é um dos grandes responsáveis por vários problemas ambientais na região, tais como: alterações do ecossistema; alteração da qualidade do solo; alteração da qualidade das águas superficiais; susceptibilidade do terreno a erosão e assoreamento; aumento da taxa de evaporação; perturbação a fauna terrestre; emissão de poeiras fugitivas e gases; poluição sonora; transporte de sedimentos; perda das características do solo fértil; degradação da morfologia; alagamento; instabilidade; entre outros. Nesse contexto já foram registrados, segundo dados da Secretaria de Saúde do Estado da Paraíba, cinco casos de morte em decorrência da silicose no período de 2000 a 2012 no município de Pedra Lavrada.

2.2 Impactos ambientais e resíduos sólidos da atividade mineradora

No Brasil, os principais problemas ambientais, referentes à atividade mineradora, correspondem à poluição da água, ar e sonora, subsistência do terreno, incêndios causados pelo carvão, rejeitos radioativos e degradação do subsolo (Martin e Santos, 2013).

Deve-se ressaltar, além dessas, outras atividades presentes em fases diferenciadas da exploração mineral e beneficiamento de minérios que podem ser consideradas prejudiciais ao meio ambiente como: a construção de barragens e represas, retificação e desvio de curso natural de rios, lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, desmatamento e uso inadequado do solo e introdução de espécies exóticas, reduzindo a vegetação nativa. Segundo Callisto, Gonçalves Jr. e Moreno (2004), as atividades podem ser consideradas causadoras de impactos ambientais negativos na medida em que influenciam na queda

acentuada da biodiversidade aquática, além de causar grande impacto sobre a vegetação e os microrganismos.

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, à diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação da terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha sobre pressão atmosférica, vibração do terreno, ultra lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (Patrício, Silva e Ribeiro, 2013).

A observação de impactos ambientais de um determinado empreendimento é o primeiro passo para proposição de medidas redutoras e, no caso da mineração, e o estudo dos impactos ambientais causados pelas atividades mineradoras ou por qualquer outra atividade industrial é de fundamental importância, uma vez que as questões referentes ao meio ambiente têm se tornado uma preocupação crescente, devido à diminuição da qualidade de vida e aos riscos oferecidas à saúde humana (Quadros, 2009).

O estudo desses impactos indica que a proteção ambiental está deixando de ser considerada responsabilidade exclusiva dos órgãos de meio ambiente, passando a ser dividida por todos os setores da sociedade, como descrito pelo Art. 225, da Constituição Federal de 1988, que diz: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, para as presentes e futuras gerações”.

A forma de utilização de recursos naturais não renováveis é fator determinante em um processo de desenvolvimento sustentável onde, torna-se necessário, esclarecimento de toda população local, que usufrui de forma direta ou indireta de tais recursos, que os mesmos só estarão presentes e disponíveis para uso das futuras gerações se forem utilizados de forma racional, e em consonância, com os tempos necessários à sua geração.

Os impactos ambientais mais característicos da atividade de mineração são os que se referem: à degradação visual da paisagem, por meio do desmonte de material consolidado (maciços rochosos e terrosos muito compactados), que por vezes, é feito através de explosivos, resultando, também em ruídos; e a emissão de resíduos sólidos, muitas vezes na forma de poeira (Silva, 2007).

A poeira da atividade de mineração pode ter origem tanto nos trabalhos de perfuração da rocha como nas etapas de beneficiamento e de transporte da produção e vem sendo um dos maiores transtornos sofridos pelos habitantes próximos e/ou os que trabalham diretamente em mineração.

Os resíduos sólidos da mineração também provocam a poluição das águas das regiões circunvizinhas, sendo o seu descarte em barragens muitas vezes os investimentos mais onerosos em controle ambiental realizado pelas empresas de mineração (Silva, 2007).

De acordo com a NBR 10.004, da ABNT (2004a), são considerados resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Ainda segundo a NBR 10.004, da ABNT (2004a), os resíduos sólidos são classificados, por sua periculosidade, em:

- Classe I (perigosos): são aqueles que apresentam periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, ou uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, ou patogenicidade;
- Classe II-A (não-inertes): são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II-B. Os resíduos classe II-A podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Classe II-B (inertes): quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a Norma NBR 10007 (ABNT, 2004c), e submetidos a teste de solubilização, segundo a Norma NBR 10006 (ABNT, 2004b), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Na atividade mineradora grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados. A quantidade de resíduos gerada pela atividade depende do processo utilizado para extração do minério, da concentração da substância mineral estocada na rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície. Na atividade de mineração existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis, que são materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não tendo valor econômico, ficando dispostos em pilhas, e os rejeitos, que são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais. Além desses existem ainda outros resíduos, constituídos por um conjunto bastante diverso de materiais, tais como efluentes do tratamento de esgoto gerado nas plantas de mineração, carcaças de baterias e pneus utilizados pela frota de veículos, provenientes da operação das plantas de extração e de beneficiamento das substâncias minerais (Silva, 2001).

Quanto às dimensões de desenvolvimento sustentável no município de Pedra Lavrada - PB, na Dimensão Social, a mesma, apresenta seu índice em uma situação de alerta (0,4861) e, com relação à dimensão econômica, que trata do desempenho macroeconômico e financeiro e dos impactos no consumo de recursos naturais e uso de energia primária (Martins e Cândido, 2008), o município de Pedra Lavrada - PB atinge um valor de 0,3760. Com relação à questão ambiental, que esta relacionada, de acordo com Martins e Cândido (2008), ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, o município de Pedra Lavrada - PB encontra-se em estado de alerta (0,6424) indicando pelos estudos de Balbino, Freitas e Maia (2009), uma precariedade nos índices de sustentabilidade do município, necessitando de forma urgente de métodos que auxiliem no crescimento econômico e na melhoria ambiental.

Assim como algumas práticas de mineração afeta o ambiente de forma degradativa, no município de Pedra Lavrada – PB não seria diferente, e essa situação é confirmada pelo trabalho de Assis, Barbosa e Mota (2011) ao avaliarem alguns impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada – PB e indicam que não há políticas públicas e gerenciamento ambiental cabíveis no local, onde, muitas vezes a forma de determinadas extrações se dá demasiadamente sem pensar nas gerações futuras, até porque a mineração na cidade hoje movimenta cerca de 40 a 50% da mão de obra local ficando claro que uma queda mineral seria um colapso para o município. Os autores afirmam,

também, que há um vasto impacto ambiental no município, e as paisagens resultantes apresentam-se muito alteradas e desequilibradas ecologicamente, mostrando que a população está vivendo uma situação de alerta.

O controle da degradação por meios públicos seria de forma a amenizar essa desarmonia ecológica, uma vez que tendo o controle dessa degradação também haveria uma melhor qualidade de vida em termos até de expectativa de vida. Dessa forma, Assis, Barbosa e Mota (2011), sugerem que práticas que poderiam ser utilizadas no município como forma de amenizar tais problemas como: minimização de resíduos e reciclagem, aproveitamento de resíduos, e o mais importante: um desejo real de enfrentar e resolver problemas causados pela produção, uso e deposição final de seus produtos, sem que deixe de explorar os minerais, levando em conta o interesse das empresas, principalmente dos pequenos mineradores, bem como da população local.

2.3 Pesquisas para reutilização de resíduos

A busca pelo aprimoramento da qualidade de vida, fez com que a humanidade desenvolvesse suas técnicas de transformação, principalmente da matéria inorgânica. A quantidade, sazonalidade e a heterogeneidade dos resíduos gerados ao longo do tempo podem recriar a história vivida pela humanidade (Fiore e Rutkowski, 2013).

Reciclagem é o conjunto das técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e rejeitos e reintroduzi-los no ciclo de produção. A reciclagem de resíduos, independentemente do seu tipo, apresenta várias vantagens em relação à utilização de recursos naturais “virgens”, dentre as quais se tem: redução do volume de extração de matérias-primas, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da população. A vantagem mais visível da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, prolongando sua vida útil e reduzindo a destruição da paisagem, fauna e flora (Menezes, Neves e Ferreira, 2002).

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo o mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisa e tecnologia, o que aumenta a qualidade do

produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo. Paralelamente, a reciclagem de resíduos urbanos ganha evidência, em virtude do crescente volume de rejeitos sólidos e da indisponibilidade cada dia maior de locais para descarte desse material, em particular em grandes centros urbanos, com elevada densidade demográfica.

No Brasil, diversos pesquisadores têm-se dedicado ao estudo desse tema, obtendo-se resultados bastante relevantes; todavia, a reciclagem ainda não faz parte da cultura dos empresários e cidadãos. A reciclagem de resíduos industriais ainda possui índices insignificantes frente ao montante produzido e, a cada dia, os rejeitos urbanos agridem mais o meio ambiente, em virtude da falta de tratamentos adequados e fiscalização sobre a manipulação e descarte desses rejeitos.

O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais; primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo (Menezes, Neves e Ferreira, 2002).

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica como uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos. Ademais, é uma das poucas áreas industriais que podem obter vantagens no seu processo produtivo com a incorporação de resíduos entre suas matérias-primas, a exemplo da economia de matérias-primas de elevada qualidade, cada dia mais escassas e caras, a diversificação da oferta de matérias primas, e a redução do consumo de energia e, por conseguinte, redução de custos (Wender e Baldo, 1998).

Vários são os resíduos industriais absorvidos pela indústria cerâmica, podendo-se citar os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica, energética etc. que, independentemente de sua origem, têm utilização cada dia maior como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica, enquanto

praticamente todos os tipos de resíduos urbanos podem ser incorporados nas formulações cerâmicas após tratamento adequado.

As massas utilizadas na indústria cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes.

Desta forma, a reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novas matérias primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições, que buscam soluções que conciliem vários aspectos, como custo de disposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduo, tecnologia e processos de utilização e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

Diversos estudos de reaproveitamento de resíduos vêm sendo desenvolvidos, dentre eles Trindade *et al.* (2013) fazendo o estudo e caracterização para o reaproveitamento dos rejeitos remanescentes da mineração de cobre. Através de análise mineralógica e testes de rotas elementar, verificaram que a caracterização dos rejeitos minerais apresentaram resultados satisfatórios, permitindo acompanhar trabalhos futuros, e a mineralogia estudada, confirma a grande participação de feldspato e quartzo respectivamente. Com essa situação é possível observar qual o mineral mais presente no rejeito e, o seu destino para uma possível reutilização.

Piuzana e Alvarenga (2011) procurando reaproveitar rejeito de mineração de ferro para confecção de pavimento ecologicamente correto, propõem um projeto de Educação Ambiental que contribua com o desenvolvimento local e socioambiental realizando levantamentos bibliográficos, cartográficos, fotográficos, visitas técnicas, análises, interpretações, discussões e revisões de dados e a proposta de um programa de Educação Ambiental.

Procurando utilizar, de forma sustentável, rejeito de carvão mineral para produção de sulfato ferroso, Silva *et al.* (2012) avaliaram toda a rota econômica da produção desse material, levando em consideração aspectos como energia elétrica, quantidade de água e de álcool empregados no processo, quantidade do produto obtido e comparando-os com o preço de venda do sulfato ferroso, desenvolvendo, por fim, uma rota inovadora para produção do sulfato ferroso comercial, tendo como matéria prima os rejeitos de carvão.

Em virtude disso, a quantificação do volume de resíduos sólidos gerados pela atividade de mineração se tornou indispensável, mas de difícil obtenção, devido à complexidade e à diversidade das operações e tecnologias utilizadas nos processos de extração e beneficiamento das substâncias minerais. Além disso, as informações estão dispersas entre várias agências governamentais, tanto no âmbito federal, quanto nos estados. Não existe, por exemplo, um controle sistemático e em escala nacional sobre a quantidade de estéreis gerados pela atividade de mineração.

Um dos principais desafios quando se trata de desenvolvimento sustentável com a minimização da produção de resíduos, principalmente em áreas de elevada alerta socioeconômica e ambiental, é o de construir instrumentos de mensuração que sejam aplicáveis e que ofereçam as informações necessárias para uma boa análise. Indicadores são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem. Neste sentido, indicadores de sustentabilidade são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável (Balbino, Freitas e Maia, 2009).

Além de análises diretas, o monitoramento repetitivo, de áreas de mineração, pode auxiliar e facilitar o inventário rápido, frequente e econômico da expansão e recomposição ambiental dessas áreas. Com isso, o sensoriamento remoto, por sua inerente repetitividade, é potencialmente uma ferramenta fundamental à execução do monitoramento de áreas de mineração, levando em consideração que a legislação federal requer, constantemente, monitoramento de áreas mineradas e como o reconhecimento constante no campo e a pesquisa aérea são caros e demandam muito trabalho, sistemas por imagens de satélite aparecem como sendo uma promissora ferramenta para esses programas de monitoramento.

2.4 Sensoriamento remoto

As diferentes visões de mundo e os vários modelos de desenvolvimento econômico adotados ao longo do tempo levaram a uma rápida e insustentável exploração dos recursos naturais. Na contemporaneidade os efeitos da utilização irracional dos recursos da natureza se fazem sentir através do eminente risco de

esgotamento de tais recursos, como por exemplo a água potável, petróleo, espécies vegetais e animais dentre outros (Christofololetti, 2004; Primo e Vaz, 2006; Souza *et al.*, 2008).

Diante de tal situação o sensoriamento remoto tem apresentado grande destaque tendo em vista a possibilidade de monitoramento espaço temporal dos recursos naturais de forma rápida e precisa através da aquisição de imagens de satélites, dados de radar e/ou laser e fotografias aéreas com diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais (Oke, 1987; Asner, 2001; Odum e Odum, 2001; Simard, 2008; Jensen, 2009).

Conforme Elachi (1987, p. 10), o sensoriamento remoto consiste:

[...] na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

Já Schowengerdt (1997) apresenta uma definição mais restrita; este autor defini o sensoriamento remoto como sendo a obtenção de medidas de propriedades de objetos da superfície terrestre a partir do uso de dados adquiridos de aviões e satélites.

A origem do Sensoriamento Remoto tem relação com o desenvolvimento das fotografias e pesquisa espacial. O primeiro método de sensoriamento remoto utilizado foram as fotografias aéreas. Conforme Novo (2008), os termos fotogrametria e fotointerpretação são anteriores ao termo sensoriamento remoto. Já em 1858 o setor de Engenharia francês utilizava fotografias para a realização de mapeamentos topográficos. O desenvolvimento e conseqüente aperfeiçoamento da técnica ocorreu de forma tão rápida que já em 1930 haviam fotografias aéreas coloridas disponíveis.

O uso sistemático de sensores a nível orbital teve início em 1972 com o lançamento do satélite norte-americano Landsat (Land Remote Sensing Satellite). A partir de então seguiram-se uma série de satélites orbitais com diferentes tipos de sensores, resoluções espaciais e temporais ampliando e tornando cada vez mais viáveis as aplicação das técnicas de sensoriamento remoto. As informações são coletadas pelos sensores a partir da interação da energia eletromagnética com os

diferentes alvos presentes na superfície terrestre variando de acordo com o comportamento espectral de cada alvo (Jensen, 2009).

A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) teve continuidade com os lançamentos dos satélites Landsat 2, 3, 4, 5, 7 e 8 com maior sucesso na obtenção de imagens através dos satélites Landsat 5 e 7, responsáveis pela construção de um amplo banco de dados de imagens. Atualmente o Landsat 8 fornece uma série de imagens com resoluções espaciais distintas com um período de revisita de 16 dias. No Brasil a série Landsat é amplamente utilizada nas pesquisas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e também pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA, 2009).

A Missão Landsat tem como principal objetivo o mapeamento multiespectral em alta resolução espectral da superfície terrestre subsidiando o monitoramento, análises e mapeamentos dos elementos presentes na superfície se apresentando como um sensor passivo.

Os sistemas sensores podem ser classificados em passivos e ativos. Os sensores do tipo passivo são os que se utilizam da energia emitida pelo sol e refletida pela superfície terrestre (sensores óticos) conforme pode ser observado na Figura 1A. Já os sensores ativos como os radares e laser possuem fonte de energia própria onde emitem sua própria energia e detecta a reflexão dos alvos da superfície terrestre, conforme pode ser observado na Figura 1B.

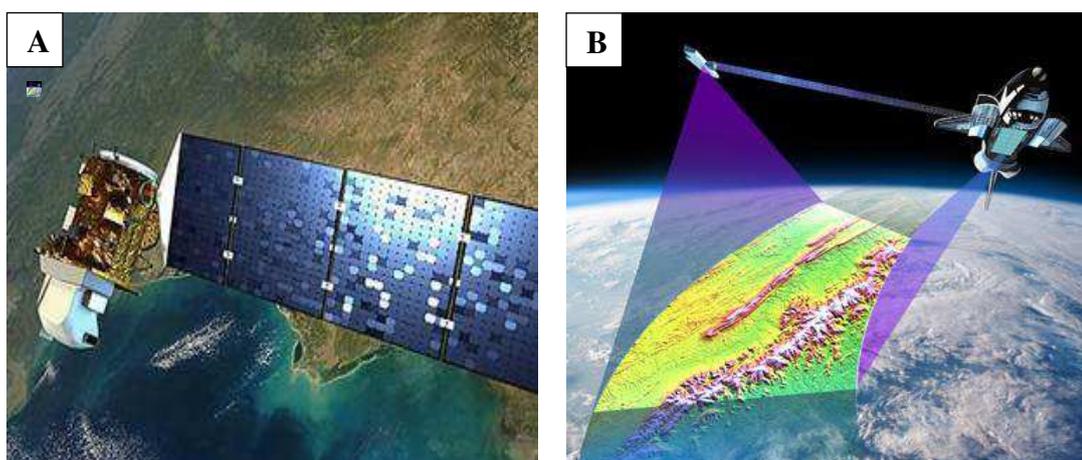


Figura 1 – (A) Satélite com sensor ótico Landsat 8, (B) Imageamento por radar (Google).

Os sistemas sensores existentes e utilizados na atualidade aplicam-se a uma infinidade de objetivos, tais como: estudos e monitoramentos geológicos, florestais, ecológicos, cartográficos, oceanográficos, hidrológicos, militares, urbano e

agrícolas. Os diferentes tipos de sensores e resoluções se adequam a determinadas aplicações, por exemplo, os estudos urbanos demandam imagens de satélites com alta resolução espacial, já o monitoramento de grandes áreas de florestas podem ser realizados com aplicação de imagens de média e baixa resolução espacial (Moller-Jensen, 1997; Ippoliti-Ramilo, 2003; Rudorff *et al.*, 2004; Rudorff *et al.*, 2005).

A resolução espacial tem relação com a menor parcela que o pixel de uma imagem é capaz de observar na superfície, quanto menor a dimensão do pixel melhor será a resolução espacial de uma imagem e maior a capacidade de diferenciar alvos. Através da Figura 2A é possível observar uma fotografia aérea de alta resolução espacial (pixel de 30cm x 30cm) enquanto que na Figura 2B é visualizado uma imagem de média resolução espacial (pixel de 30m x 30m).

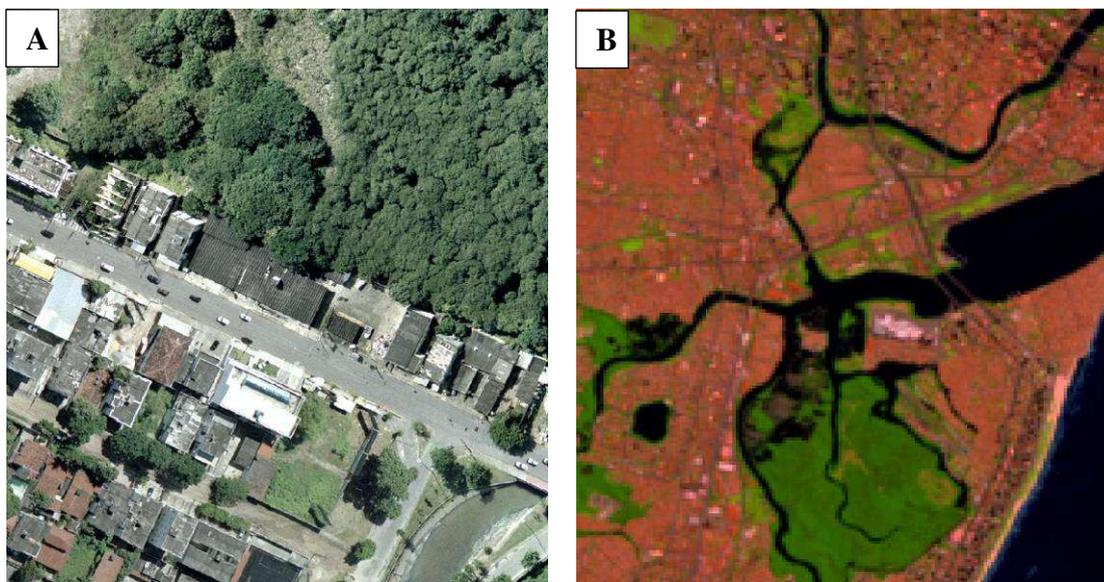


Figura 2 – (A) Fotografia aérea de alta resolução espacial (30cm); (B) Imagem do satélite Landsat 8 com média resolução espacial de (30m) (Prefeitura do Recife, 2014; USGS, 2014).

A resolução temporal consiste no tempo de revisita do satélite, ou seja, no tempo que um satélite leva para passar novamente por um mesmo ponto. Por exemplo, o satélite Landsat possui resolução temporal de 16 dias, enquanto o SPOT apresenta resolução temporal de 26 dias.

Por outro lado, as ondas eletromagnéticas propagam-se em diferentes comprimentos de ondas que no sensor do satélite são divididos em bandas espectrais. A capacidade e os tipos de informações obtidas pelos sensores variam de acordo com a quantidade de bandas espectrais que os sistemas sensores operam. Quanto maior a quantidade de bandas e/ou menor for a faixa espectral que

um sensor cobrir maior e melhor será a resolução espectral das imagens de satélite (Boggione, 2003).

Conforme Novo (2008), a capacidade de um sistema sensor em distinguir a quantidade de energia refletida, emitida ou retro-espalhada pelos diferentes alvos presentes na superfície da terra é denominada de resolução radiométrica. Quanto maior a capacidade em detectar a quantidade de energia emitida por um determinado objeto maior será a resolução radiométrica do sistema sensor (Schowengerdt, 1997).

2.4.1 Albedo da superfície e detecção de mudança

Diariamente, a superfície terrestre recebe a energia solar. Do total da radiação solar recebida uma parte é refletida pela superfície terrestre, sendo chamada de Albedo. O albedo, segundo autores como Blad e Baker (1972), Leitão (1989), Azevedo *et al.* (1990), Leitão e Oliveira (2000) representa a “[...] razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes, sendo também denominada como coeficiente de reflexão”.

Atualmente sensores a bordo de satélites da série Landsat e NOAA apresentam as bandas necessárias aos cálculos do Albedo no topo da atmosfera e da superfície o que permite realizar estudos de mudanças de uso e cobertura do solo com uma boa série temporal de dados. A variação nos valores do Albedo ocorre em função do ângulo de elevação solar, grau de cobertura vegetal, umidade solar, rugosidade da superfície, entre outros.

Deste modo o estudo da influência das variáveis micrometeorológicas no albedo, tais como o vento e o orvalho, também é considerado importante. Minnis *et al.* (1997, p. 10) afirmam que “[...] as variáveis micrometeorológicas podem causar uma assimetria no albedo diurno tão alto quanto 10%, sendo esta assimetria também detectada em dados oriundo de satélite”. O valor de Albedo da superfície terrestre varia entre 5% e 55%.

Estudos desenvolvidos e publicados por Oke (1987) apresentam a variação dos valores de Albedo para diversos alvos da superfície terrestre. Através da Tabela 1 é possível observar os valores de albedo para diversos alvos e verificar, por exemplo, a influência da quantidade de água e umidade no valor exibido por um mesmo alvo.

Tabela 1 – Valores de Albedo para alguns tipos de alvos da superfície terrestre.

NATUREZA DA SUPERFÍCIE	VALOR DE ALBEDO
Água (ângulo zenital pequeno)	0,03 – 0,10
Água (ângulo zenital maior)	0,10 – 1,00
Pastagem com folhas longas	0,16
Pastagem com folhas curtas	0,26
Solos nus úmidos e escuros	0,05
Solos nus secos e claros	0,40
Asfalto	0,05 – 0,20
Concreto	0,10 – 0,35
Tijolos	0,20 – 0,40
Rochas	0,20 – 0,35
Telhados com tinta e cascalhos	0,08 – 0,18
Vidro limpo com ângulo zenital < 40°	0,08
Vidro limpo com ângulo zenital 40° - 80°	0,09 – 0,52
Pinturas Brancas de gelo ou neve	0,50 – 0,90
Pinturas de vermelho, marrom ou verde	0,20 – 0,35
Pinturas pretas	0,02 – 0,15
Áreas urbanas	0,10 – 0,27

Fonte: Adaptado de Oke (1987).

De acordo com Ayoade e Ayoade (1983, p. 10), “os maiores valores de albedo de uma superfície ocorrem ao nascer e um pouco antes do pôr-do-sol, enquanto que os menores valores ocorrem por volta do meio dia”. Outros fatores também contribuem para o aumento do albedo como a diminuição da cobertura vegetal conforme afirmado Charney (1975) e constatado em diversos estudos.

Robinove *et al.* (1981) afirmam que a utilização de series temporais de albedo pode ser usada na detecção de mudanças de uso na superfície terrestre. Para Robinove *et al.* (1981) o acréscimo no valor de albedo é inicialmente devido ao aumento de áreas de solo exposto, enquanto que a diminuição no albedo é devido ao aumento dos valores de umidade do solo e aumento na densidade da vegetação.

Para a obtenção dos valores de albedo através de técnicas de sensoriamento remoto é necessário realizar a correção da influencia dos constituintes atmosféricos podendo ser utilizado modelos de simulação de transferência radiativa.

Em pesquisa realizada por Silva, Lopes e Azevedo (2005) e Silva *et al.* (2006) no lago de Sobradinho e em áreas do leito do rio São Francisco e por Bastiaanssen (2000) na bacia do rio Gediz na Turquia foram obtidos valores de Albedo da superfície superiores à 10% nos corpos hídricos. Ainda, com os resultados encontrados por Silva, Lopes e Azevedo (2005) nas áreas que apresentavam solos descobertos e área urbana do município de Petrolina foram

estimados valores de albedo superiores a 35%, assim como uma predominância de valores de albedo classificados entre 10 a 25% em áreas irrigadas e com vegetação nativa. Chandrapala e Wimalasuriya (2003) estimaram valores de albedo entre 34 e 36% para o cinturão da costa do Sri Lanka com dunas de areia.

Valores de albedo superiores a 35% em áreas com solo descoberto também foram constatados por Boegh, Soegaard e Thomsen (2002), em estudo realizado na Dinamarca com imagens TM do satélite Landsat 5. Lopes *et al.* (2005) encontraram valores de albedo superiores a 0,32 para áreas com exploração mineral na parte oeste da bacia do rio Brígida, sertão pernambucano.

Pesquisa realizadas por Silva *et al.* (2013) em áreas com atividades antrópicas, principalmente áreas com cultivos irrigados as margens do rio São Francisco obtiveram valores médios de albedo entre 16 a 40%. Rodrigues *et al.* (2009) estimaram valores de albedo variando entre 26 e 36% para áreas desprotegidas no semiárido nordestino enquanto que Silva, Braga e Braga (2011) encontraram uma variação entre 25 e 45% na região do Perímetro irrigado de São Gonçalo - PB.

Diversos outros estudos tem demonstrado a importância da utilização do Albedo da superfície em pesquisas que envolve mudanças de uso e cobertura da terra podendo ser citados os estudos de Liang (2000), Lyapustin *et al.* (2007), Painter *et al.* (2009), Román *et al.* (2009), Bsaibes *et al.* (2009) e Schaaf, Wang e Strahler (2011).

2.4.2 Comportamento espectral da vegetação

Como mencionado anteriormente, diversas pesquisas tem demonstrado a aplicabilidade do Sensoriamento Remoto em diversos estudos, de diversas áreas, em virtude do fornecimento de uma grande quantidade de plataformas orbitais que fornecem informações precisas e com ampla possibilidade de revisita, a uma mesma área, fornecendo informações que ajudam, por exemplo, na identificação de desmatamento e queimadas (Zhang *et al.*, 2003; Costa e Souza Jr., 2005; Teillet e Ren, 2008; Yebra *et al.*, 2013; Casas *et al.*, 2014).

Novo (2008) afirma que o conhecimento do comportamento espectral de alvos além de permitir a extração de informações de imagens obtidas pelos sensores também se torna importante na própria definição de novos sensores e nas características

associadas ao mesmo. Múltiplos sensores com as mais variadas resoluções espectrais e espaciais tem permitido mensurar espécies que estejam sofrendo com estresse hídrico ou algum tipo de prega, por exemplo, em áreas de agricultura ou em áreas florestais sem que necessariamente o técnico esteja em campo (Ceccato *et al.*, 2001; Jackson *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2010). Deste modo é possível enviar uma equipe de técnicos para resolver o problema em uma determinada floresta mais rapidamente evitando deste modo o alastramento do problema.

Grande parte dos estudos realizados hoje utilizam informações provenientes de índices de vegetação. A base física dos índices de vegetação é dada pela absorção da radiação, na região espectral do vermelho, pelos pigmentos foliares da planta (clorofila, xantofilas e outros) e ao espalhamento da radiação pelas folhas da planta na região espectral do infravermelho próximo, Figura 3. Desta forma, “[...] cada banda é um indicador do total de vegetação, porém contribuições do solo e da atmosfera fazem com que ocorra uma incerteza na estimativa dos parâmetros biofísicos da vegetação” (Giongo, 2008).

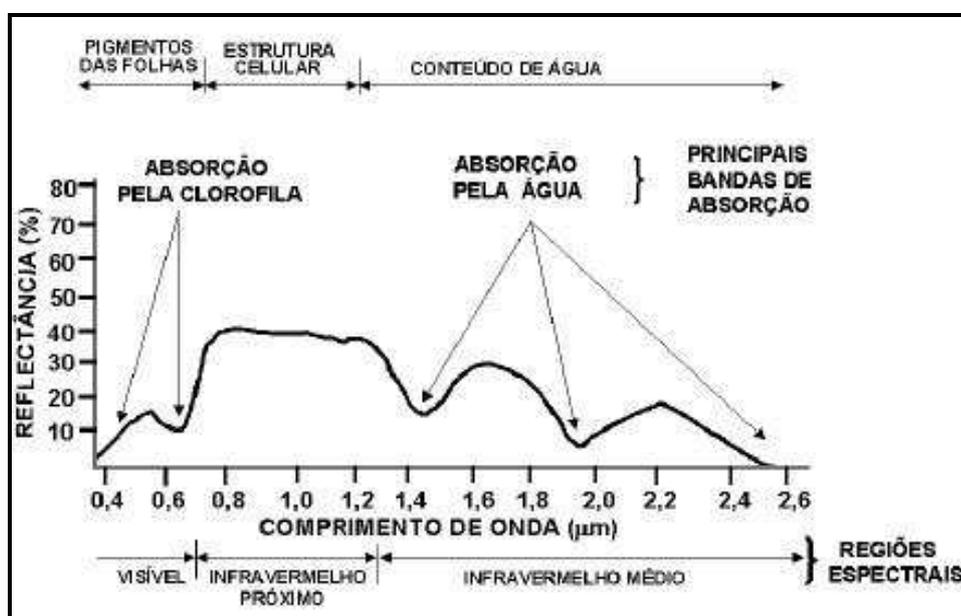


Figura 3 – Comportamento espectral de uma folha sadia (adaptado de Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Para Ponzoni (2001), o estudo do comportamento espectral da vegetação em todo o seu intervalo (visível, infravermelho e micro-ondas) permite a observação das curvas de absorção, reflexão ou transmitância permitindo a continuidade e o avanço das pesquisas (Figura 3). Rosa (2003) afirma que as faixas do vermelho e

infravermelho próximo apresentam cerca de 90% da variação na resposta espectral da vegetação. Dai a grande utilização da mesma em grande parte dos estudos.

Naturalmente na região do visível é observado que a faixa espectral correspondente a região do verde (500 a 600) apresenta maior reflexão devido a baixa qualidade da radiação solar para os pigmentos foliares da vegetação nesta faixa. Já a região do azul (compreendida entre 400 e 500) e vermelho (compreendida entre 600 e 700) apresentam maior absorção da radiação solar pelos pigmentos foliares (clorofila, xantofila, entre outros) para realização da fotossíntese.

Já na região do infravermelho próximo (compreendida entre 700 e 1100) esta associada às características estruturais da folha como tamanho, espessura, dentre outros. Apesar da complexidade no estudo da vegetação alguns parâmetros espectrais, como índice de área foliar, percentagem de cobertura do solo, concentração de clorofila e fração da radiação fotossinteticamente ativa tem sido avaliado através do sensoriamento remoto (Epiphanyo *et al.*, 1996).

Apesar da complexidade no estudo da vegetação alguns parâmetros espectrais, como índice de área foliar, porcentagem de cobertura do solo, concentração de clorofila e fração da radiação fotossinteticamente ativa tem sido avaliado através do sensoriamento remoto (Epiphanyo *et al.*, 1996).

Segundo Giongo (2008), vários trabalhos têm sido realizados para estimar variáveis biofísicas através de imagens índices, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - IVDN (Rouse Jr. *et al.*, 1973) e o Índice de Vegetação Ajustado ao efeito do Solo - IVAS (Huete, 1988). No caso de regiões como a Caatinga a utilização de índices que trabalhem com a atenuação dos efeitos do solo e com correção dos efeitos atmosféricos como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) apresentam-se mais eficientes que os demais.

Rodrigues *et al.* (2009) utilizando imagens do sensor ETM+ verificou a variação temporal do albedo, do NDVI, do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo sobre a bacia hidrográfica do Rio Trussu, decorrente da sazonalidade climática através a aplicação do algoritmo SEBAL. Os mesmos verificaram que o NDVI apresentou maior sensibilidade ao regime hídrico, mostrando alto potencial de recuperação da vegetação ao efeito da precipitação.

Zanzarini *et al.* (2013), em estudo realizado em área do município de Itajobi – SP, utilizando uma imagem do sensor ETM+ do satélite Landsat 5 analisaram variabilidade espacial do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e

avaliaram se existia correlação espacial com os índices aos teores de argila, fósforo e pH do solo. Deste modo os mesmos verificaram que a argila e o fósforo apresentaram correlação espacial com o NDVI na área de estudo.

Milton (1987) afirma que a espectroscopia de campo é uma técnica essencial ao sensoriamento remoto, podendo ser utilizada em pesquisa básica ou para aplicações práticas, envolvendo o estudo das relacionais entre as características espectrais do alvo e seus atributos biofísicos no ambiente. Lippert *et al.* (2009, p. 10) acrescenta que:

Estudos da interação da energia eletromagnética com alvos terrestres como a vegetação, apresenta grande importância tendo em vista o fornecimento de valiosas informações sobre a tipologia, a estrutura do dossel, o estado fenológico, as condições de estresse, a falta de nutrientes, entre outros.

Para Milton (1987, p. 10) é essencial que os dados espectrais coletados no campo sejam apoiados por informações adequadas e detalhadas sobre:

[...] as condições de medição por dados auxiliares, tais como a precisa localização da área de estudo (latitude e longitude), o tempo de cada medição e tempo total das medições, condições meteorológicas e variações nas condições do céu (presença de nuvens) no momento do levantamento, altura do instrumento em relação ao terreno e em relação ao alvo, área efetiva do alvo vista pelo sensor em virtude do seu campo de visada e da sua altura, geometria de aquisição dos dados, variações nas posições do sensor e do alvo devido a problemas ambientais tais como vento, acamamento da cultura, variações no declive, entre outras.

Em virtude da diferença dos valores de reflectância nas faixas do visível (400 nm a 740nm) e do infravermelho próximo (740 a 1400nm) e das diferenças nas informações contidas nestas faixas do espectro, é que se utilizam razões entre bandas para inferir as condições de vigor e produtividade da vegetação (Wiegand *et al.*, 1991).

Estudos realizados por Lippert *et al.* (2009), em um talhão de *Eucalyptus camaldulensis* localizado no campus da UFSM – RS, através da utilização do espectrorradiômetro FieldSpec 3 revelaram alterações metabólicas através da leitura da reflectância no espectro visível devido a presença de patógeno. O mesmo afirma que a quantificação da área foliar afetada é uma tarefa laboriosa, deste modo a

utilização da espectrorradiometria é importante no auxílio a detecção de danos a vegetação.

2.4.3 Sensoriamento remoto e impactos ambientais

Através da evolução tecnológica presenciada nas últimas décadas do século passado, como o desenvolvimento e popularização de micro computadores e internet, a difusão da tecnologia GPS (Global Position System) e a utilização de satélites para a coleta de informações da superfície terrestre, a detecção de mudanças na superfície terrestre assim como a avaliação de impactos ambientais têm sido beneficiados com uma coleta mais rápida e com dados mais precisos.

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas em diferentes ambientes da superfície terrestre através da utilização de imagens orbitais visando o estudo de fenômenos naturais ou a detecção de mudanças ocorridas no meio ambiente costeiro ou litorâneo (Chan e Rau, 1998; Nayak, 2002; Moore *et al.*, 2014), em áreas urbanas (Baycu *et al.*, 2006; Xu, Wooster e Grimmond, 2008; Moreira, 2010), em áreas florestais (Accioly *et al.*, 2002; Xian, Homer e Fry, 2009; Zhang, Zhang e Zhou, 2010) e em áreas agrícolas (Bastiaanssen, 2000; Silva, Lopes e Azevedo, 2005; Ruhoff, Saldanha e Collischonn, 2009).

Behum (2004), através da utilização de fotografias aéreas em ambiente SIG e dados LIDAR, geolocalizaram a melhor área para a instalação de área para tratamento de rejeito ácido de drenagem Woldai e Teranik (2008) utilizando dados InSAR, dados de geologia, uso e cobertura do solo e imagens Landsat e ASTER avaliaram a deformação da superfície do solo e os impactos ambientais de uma mina a céu aberto onde a desidratação intensiva foi intensamente utilizada durante os anos de 1996 e 2001.

Fadhil (2009) utilizou imagens TM e ETM+ do satélite Landsat visando mapear e monitorar a degradação do solo e problema de desertificação na Planície da Mesopotâmia – Iraque. Para tal ele utilizou o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Água da Diferença Normalizada (NDWI) e propôs e aplicou o Índice de Areia de Duna da Diferença Normalizada (NDSDI) identificando aumento na degradação do solo elevando a sensibilidade do solo e erosão eólica. Como resultado deste processo erosivo a saúde pública e o meio ambiente foram negativamente impactados com a formação de tempestades de areia.

Firmino *et al.* (2009), utilizando Índices de Vegetação do ano de 1997 e 2007 em áreas de transição de uso e cobertura do solo na cidade de São João do Rio do Peixe, observou a diminuição nos valores de índices de vegetação em períodos de estiagem e a influencia antrópica na diminuição da fertilidade do solo devido as más praticas de irrigação.

Shang *et al.* (2009) realizaram um estudo em área localizado ao norte de Ontário – Canada, visando verificar a aplicabilidade de dados hiperespectrais na identificação de áreas de rejeitos de minas que posteriormente poderiam originar acidez na drenagem. Para tal foram utilizados dados do PROBE-1 operando nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Deste modo os mesmos afirmam a potencialidade da técnica na identificação de minas abandonadas e o risco potencial de seus resíduos.

Para a atividade mineradora Chitade e Katyar (2010) verificaram grandes mudanças nas áreas de vegetação densa que foram convertidos em grandes áreas de minas estéreis, através da utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e da classificação do uso e cobertura do solo de imagens do satélite Landsat e Cartosat-I no distrito de Chandrapur – Índia. Deste modo o solo e os corpos hídricos foram contaminados devido a falta de manejo adequado nas áreas de atividade mineradora.

Estudo realizado por Oliveira *et al.* (2010), visando a caracterização ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Moxotó - Pernambuco utilizando imagens do satélite Landsat, verificaram que o aumento das atividades antrópicas ocasionou aumento nos valores de temperatura da superfície e nos valores de Albedo da superfície, o que influenciou o balanço de radiação da bacia hidrográfica.

Riaza e Mueller (2010) monitoraram os resíduos oriundos de minas através da utilização de dados hiperespectrais contribuindo para o monitoramento da qualidade da água superficial e estimar a contaminação por metais e consequentemente a drenagem ácida em área da Espanha. Para tal foram utilizados dados do sensor hiperespectral HyMap. Os mesmos afirmam que os resíduos de minas de sulfureto em ambiente semiáridos pode ser usado como um registro de curto prazo de flutuações climáticas, se apresentando como um geoindicador.

Através do processamento de imagens TM Landsat e aplicação de Índices de Vegetação e Temperatura da Superfície, Guimarães, Braga e Oliveira (2012a, 2012b), acompanhou a evolução espaço temporal das matas tuteladas pelo Exercito

Brasileiro na Região Metropolitana do Recife e observou que o controle do desmatamento facilitou a regeneração florestal e a oportunidade de desenvolvimento de outras espécies florestais o que proporcionou melhores serviços ambientais climáticos no entorno das matas.

Gasparini *et al.* (2013) avaliaram o uso e cobertura da terra oriundo de aplicação de classificação supervisionada em imagens CBERS-2 buscando identificar conflitos ambientais em áreas de APP em Seropédica-RJ. Deste modo foi verificado a existência de conflitos de uso com solo exposto, pastagem e mineração em áreas de APP.

Khalifa e Arnous (2012) em área de mineração a leste da cidade de Abu Zeneima, Sinai – Egito demonstrou, através da utilização de imagens dos sensores MSS, TM e ETM do satélite Landsat com datas de passagem em 1972, 1986 e 2000 respectivamente, o grande potencial na análise temporal do nível de contaminação relacionados a atividade mineradora. Os mesmos utilizaram técnicas de classificação de imagem e Análise por Componentes Principais (ACP).

Através da aplicação do Modelo de Mistura Espectral, do Índice da Fração da Diferença Normalizada e modelos de classificação da vegetação em imagens Landsat pelo período de 2000 a 2010, Souza Jr. *et al.* (2013) observaram que a área da floresta Amazônica que esta sendo degradada pelo exploração seletiva da madeira e por queimadas, a cada ano, pode igualar ou exceder a área a ser desmatada o que resultara em paisagens cada vez mais fragmentadas e degradadas.

Deste modo é observado que a utilização de produtos de Sensoriamento Remoto tem apresentado bons resultados na identificação e no mapeamento da degradação ambiental nos mais diversos ambientes.

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 Materiais

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas:

- Amostras de sienito e feldspato processados coletadas em empresas beneficiadoras localizadas no Estado da Paraíba;
- Amostras de solo regional e solos de cobertura georreferenciados no entorno de duas fábricas de beneficiamento: Mineradora A e Mineradora B;
- Águas armazenadas em cavas de extração das mineradoras à céu aberto e subterrânea;
- Imagens do satélite Landsat nas Cinco Bandas 1, 2, 3, 4 e 7;
- GPS Garmin Etrex Vista HCX; Mapsource; Erdas Imagine 9.3; Arcgis 9.3.
- Espectroradiômetro FieldSpec handheld UV/VNIR (325 – 1075 nm);
- Câmera fotográfica da marca e modelo Sony DSC-W120, lente Carl-Zeiss Full HD 1080p de 7,2 megapixels.

3.2 Metodologia

3.2.1 Atividades desenvolvidas na pesquisa

A Figura 4 apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.

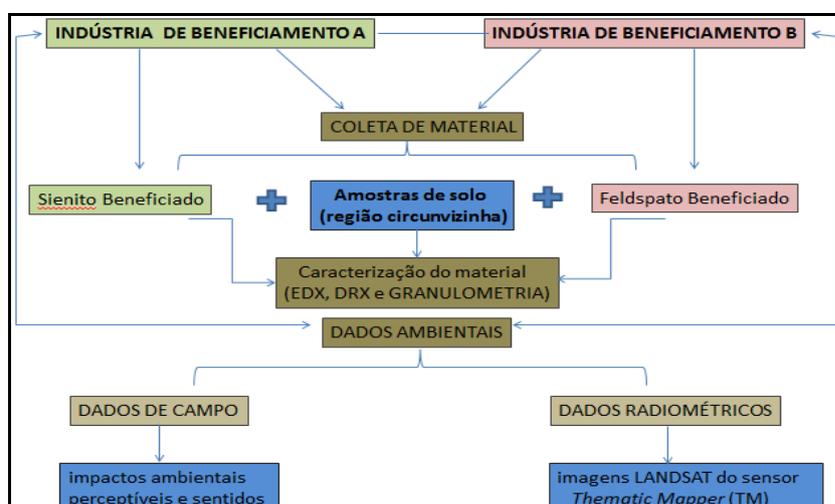


Figura 4 – Fluxograma das atividades desenvolvidas.

3.2.2 Dados ambientais

Para coleta de dados ambientais, foram elaborados quadros, segundo a metodologia utilizada na norma ISO 14001, da ABNT (2004d) que serviram, inicialmente, para identificar as principais fontes que geravam reclamações por parte da comunidade e, num segundo momento, avaliar o desempenho ambiental, dentro de um Sistema de Gestão Ambiental. As atividades descritas são as que ocorrem nas diferentes fases de lavra e processamento (extração, transporte e beneficiamento).

Os aspectos e impactos ambientais identificados neste trabalho podem ser extrapolados para outras localidades que apresentem condições de relevo e vegetação similar às do município de Pedra Lavrada bem como, que utilizarem do mesmo mineral de exploração para beneficiamento e armazenamento.

O método de pesquisa empregado contemplou visitas de campo em minas e indústrias de beneficiamento que apresentavam diferentes usos de solo previamente a atividade de mineração, destacando-se a pastagem nativa. A identificação do uso do solo tem relação direta com os impactos decorrentes dos diferentes aspectos ambientais (Gomes, 2009), e respectivamente com a mitigação proposta. Adicionalmente foram analisados estudos e relatórios ambientais decorrentes de processos de licenciamento de empreendimentos de mineração na região. Foi utilizada a ferramenta listagem de controle (*check-list*) (Sánchez, 2008), através da qual foi gerada uma listagem descritiva das atividades, e suas interfaces com os respectivos aspectos e impactos ambientais.

3.2.3 Dados radiométricos

O município de Pedra Lavrada situa-se na região centro-norte do Estado da Paraíba, Mesorregião Borborema e Microrregião Seridó Oriental Paraibano, limitando-se com os municípios de Nova Palmeira, Sossego, Cubati, Seridó e com o estado do Rio Grande do Norte, abrangendo uma área de 391,3 km² (Figura 5).

A sede do município tem uma altitude média de 516m e apresenta coordenadas 06°45'28" de latitude sul e 36°28'15" de longitude oeste, distando da capital cerca de 255km, sendo seu acesso, a partir de João Pessoa, efetuado através das rodovias pavimentadas BR-230 e PB-177.

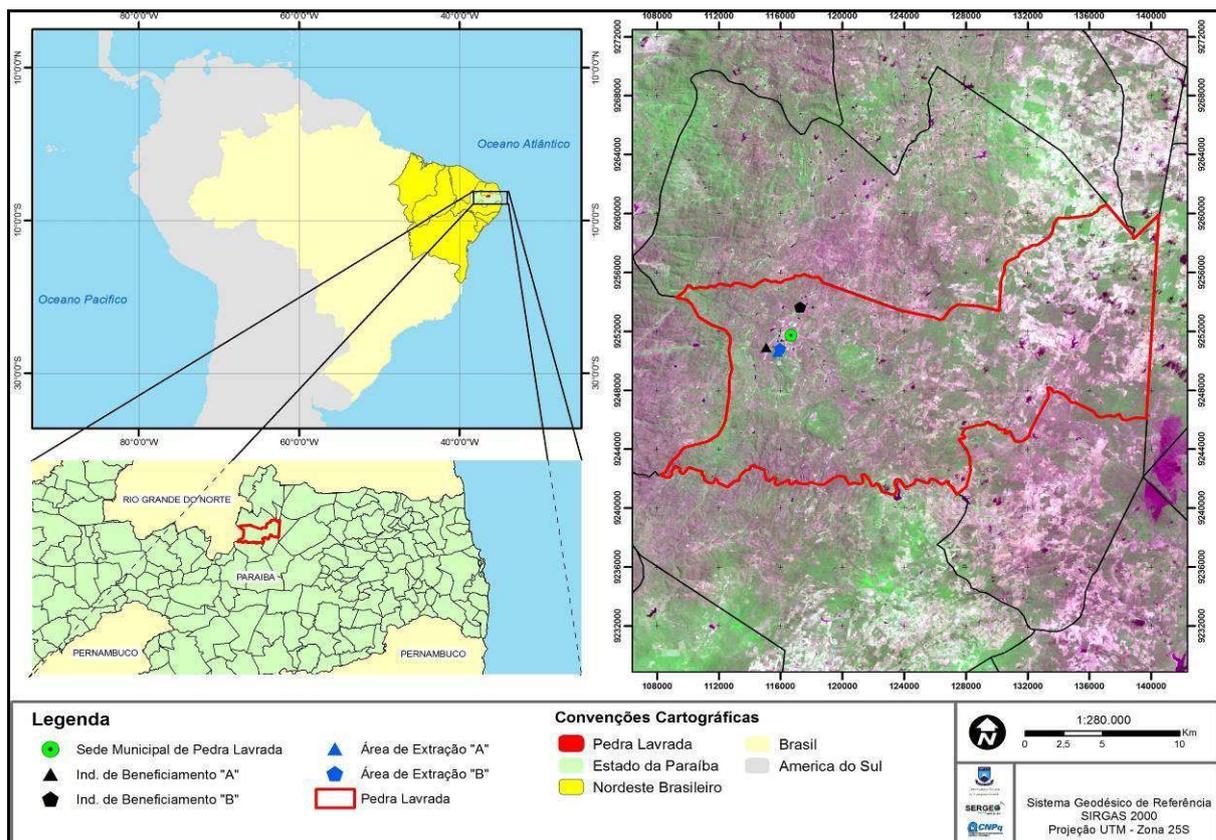


Figura 5 – Localização do município de Pedra Lavrada – PB.

Para a realização do estudo foram utilizadas sete imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)*, de órbita e pontos 215/65, a bordo do satélite Landsat 5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e uma do sensor OLI (Operational Land Imager) do novo satélite Landsat 8 obtida junto ao *EarthExplorer*. As datas de passagem do Landsat 5 a área de estudo ocorreram em 17 de junho de 1984, 09 de maio de 1987, 02 de agosto de 1989, 08 de abril de 1999, 19 de julho de 2007, 19 de junho de 2008, 24 de maio de 2010 e 01 de junho de 2013.

Para a obtenção dos valores de Albedo da superfície foi utilizada a metodologia empregada por Silva, Lopes e Azevedo (2005) e Oliveira *et al.* (2010), onde inicialmente os números digitais passam por uma Calibração Radiométrica e posteriormente é transformado em valores de Reflectância. Através da reflectância podemos calcular o Albedo planetário, onde por meio da transmissividade atmosférica (Allen *et al.*, 2002) realizamos a correção dos seus valores aos efeitos atmosféricos obtendo o Albedo da Superfície. Para o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) também foi utilizado as imagens de reflectância conforme Huete (1988).

Para a imagem do sensor OLI (Operational Land Imager), com data de 01 de junho de 2013, foi aplicada a metodologia da USGS (2013), onde os números digitais foram transformados em valores de reflectância, sendo possível calcular índices de vegetação como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Huete, 1988). Tendo em vista a falta das variáveis não foi possível calcular o Albedo da superfície com a imagem do sensor OLI.

Para melhor visualização dos pontos onde foram geradas as curvas espectrais da vegetação *in loco*, utilizou-se das imagens do sensor HRC (High Resolution Camera – Câmera Pancromática de Alta Resolução) do satélite CBERS-2B. As imagens HRC apresentam resolução espacial de 2,7m com banda espectral de 0,50 a 0,80 μm (pancromática). A mesma foi utilizada em um Pan-sharpening com uma imagem do sensor TM do satélite Landsat de data 24-05-2010. Deste modo foi obtida a imagem RGB 342 com resolução espacial de 2,7m.

3.2.3.1 Etapas de pré-processamento das imagens do satélite Landsat

Após o download das imagens TM, todas as bandas de cada cena Landsat foram empilhadas e corrigidas geometricamente, tomando por base a imagem ortoretificada disponibilizada pelo site landsat.org. Posteriormente foi realizada a exclusão dos números digitais referentes a nuvens e sombras de nuvens através da realização de uma classificação supervisionada. Após a classificação, foram apresentados os mesmos valores de nuvens e sombra em toda a imagem, tornando possível excluí-los no índice a ser utilizado e retirar estes valores das análises estatísticas e tabelas a serem geradas. Através da Figura 6 é possível observar o fluxograma de pré-processamento das imagens.

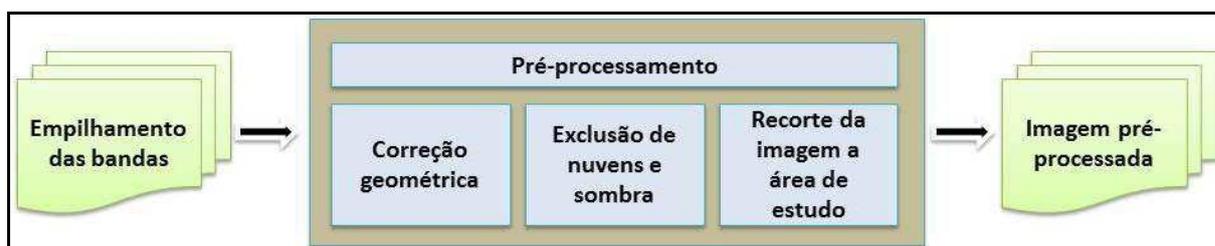


Figura 6 – Fluxograma de pré-processamento das imagens (adaptado de Oliveira, 2012).

Ao final deste processamento a imagem foi recortada ao limite da área de estudo, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local.

3.2.3.2 Obtenção do Albedo da superfície e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

Para a obtenção dos valores de Albedo da superfície foi utilizada a metodologia descrita abaixo e amplamente utilizado por autores como Silva, Lopes e Azevedo (2005), Oliveira *et al.* (2010) e Oliveira (2012).

- Calibração radiométrica ou a radiância espectral (Equação 1): consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde: a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 5 e 7.

Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003).

- Reflectância (Equação 2) de cada banda (ρ_{λ_i}): é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, a qual é obtida através da equação (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, K_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$), Z é o

ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

- Albedo planetário (α_{toa}) (Equação 3): o albedo não corrigido é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (3)$$

onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

- Transmissividade Atmosférica (Equação 4): em condições de céu claro, pode ser obtida como proposta por Allen *et al.* (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} Z \quad (4)$$

onde Z corresponde a altitude média da área ou a altitude de cada pixel (m).

Como a área apresenta uma grande variação de altitude foi necessário recorrer à utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDT) elaborado através de dado de radar SRTM.

- Albedo da superfície (α) (Equação 5): é o albedo corrigido quanto aos efeitos atmosféricos:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

onde α_p é a reflectividade da atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04.

Estudo realizado por Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL seja o de 0,03. τ_{sw} é a 'transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen *et al.* (2002).

- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) (Equação 6): foi utilizado o índice de vegetação ajustado por solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) introduzindo um fator no IVDN para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do IVDN dentro de -1 a +1, seguindo a equação proposta por Heute (1988).

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

onde: ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas do infravermelho próximo e do vermelho e L é o fator de ajuste do solo, cujo valor mais frequentemente usado é 0,5 (Accioly *et al.*, 2002; Boegh, Soegaard e Thomsen, 2002; Silva, Lopes e Azevedo, 2005).

3.2.3.3 Atividade de campo

Para a atividade de campo foi utilizado um GPS Garmin Etrex Vista HCX onde foram coletadas as coordenadas dos indivíduos vegetais utilizados na espectroradiometria. Ao total foram coletados 13 pontos dispostos na Tabela 2. Nestes pontos foi escolhido um indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora*, conhecida popularmente como Jurema Preta, visando à obtenção da resposta espectral das folhas.

Para obter a curva espectral foi utilizado o espectroradiômetro FieldSpec handheld UV/VNIR (325-1075 nm). As medições foram realizadas em Março de 2014, in situ, com a utilização de um leaf clip, simplificando deste modo a coleta em campo fornecendo um método totalmente controlado, com incidência luminosa ortogonal e de mesma intensidade para todas as amostragens.

Tabela 2 – Georreferenciamento dos pontos coletados de vegetação para espectrorradiometria.

Ponto	UTM E	UTM N	Elevação
253	778453	9251570	532
254	778376	9251602	531
255	778322	9251556	528
256	778317	9251568	531
257	778192	9251608	523
258	778172	9251606	519
259	778077	9251590	520
260	780646	9254328	541
261	780592	9254408	516
262	780537	9254410	516
263	780488	9254408	516
264	780472	9254462	522
266	780439	9254480	518

As folhas selecionadas e coletadas eram adultas e estavam localizadas na região do terço médio da copa em área exposta ao sol. Para cada indivíduo foram coletadas três amostras e analisadas com cinco repetições. Tendo em vista o objetivo da tese foi realizada a coleta da amostra sem influência dos resíduos de mineração visando a obtenção da curva espectral de controle (Ponto 253). Os demais pontos são de indivíduos que são afetados por resíduos de mineração.

Para as fotos, foi utilizada uma câmera fotográfica da marca e modelo Sony DSC-W120, lente Carl-Zeiss Full HD 1080p de 7,2 megapixels.

3.2.4 Coleta do material

As atividades foram desenvolvidas em duas indústrias de beneficiamento da região, aqui denominadas de Mineradora A e Mineradora B bem como, nas faixas de solo em suas proximidades. Na indústria de beneficiamento A, ou simplesmente, Mineradora A, foram coletadas amostras de sienito moído, matéria prima para fabricação de cerâmica branca e na Indústria de Beneficiamento B (Mineradora B) foram coletadas amostras de Feldspato moído, produto principal de armazenamento e comercialização desta indústria de beneficiamento, utilizados, na produção de cerâmica branca.

Coletou-se também, faixas de cobertura de solo de regiões próximas destas fábricas de beneficiamento (Mineradora A e Mineradora B), com intuito de quantificar o impacto ambiental ocasionado pela dispersão da poeira residual local, através do

armazenamento irregular, como também, pelo processamento e carregamento do material para os caminhões de transporte (Figura 7).



Figura 7 – Armazenamento irregular do sienito processado.

Foram coletadas em média 400g do sienito e feldspato beneficiados e, mesma quantidade, para amostragem das superfícies de solo, a favor do vento, a fim de se analisar o material constituinte onde, através da caracterização deste, pode-se auxiliar o mapeamento e quantificar as áreas atingidas ou impactadas por essas empresas de beneficiamento bem como, a origem do material.

As amostras de solo foram coletadas em linhas, com intervalos de 100x100m, entre as linhas, de forma que toda a área fosse bem representada (Figuras 8 e 9).



Figura 8 – Distribuição das amostragens de solo no entorno da mineradora A.



Figura 9 – Distribuição das amostragens de solo no entorno da mineradora B.

1: coletou-se o solo de cobertura, a favor do vento, para se analisar a constituição e distribuição espacial do material residual;

2: todos os pontos de coleta foram georreferenciados para obter-se a localização exata de distribuição e área afetada pelos resíduos das indústrias de processamento cerâmico;

3: foram analisadas seis linhas de solo equidistantes e paralelas (solo 1, solo 2, solo 3,..., solo 6) e, em cada uma destas, foram coletadas 3 (três) amostras para representar a área em estudo;

4: todas as amostras das linhas de solo coletadas foram homogeneizadas;

5: o material retido na cobertura vegetal foi estudado pelo sensoriamento remoto com auxílio de imagens de satélites e *in loco* com a utilização do espectrorradiômetro.

3.2.4.1 Caracterização das amostras

A caracterização das amostras estudadas nesta pesquisa foi efetuada através dos seguintes métodos: análise granulométrica por difração de laser (AG), análise química (AQ) e difração de raios X (DRX).

Para a realização da análise granulométrica as amostras foram peneiradas em peneiras de malha nº 100 e 200. O valor retido foi medido e o material passado em peneira ABNT nº 200 (0,074mm) foi disperso em 250mL de água destilada em agitador Hamilton Beach N5000 a velocidade de 17.000 rpm por 10 min, em seguida esta dispersão foi colocada em um equipamento CILAS modelo 1064), em modo úmido, até atingir a concentração ideal que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

Para a análise de difração de raios X as amostras foram passadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm) e acondicionada em porta amostra de Al para análise em equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi $K\alpha$ do Cu (40kV/30mA); a velocidade do goniômetro foi de $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ$. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões contidos no PDF 02 (JCPDS; ICDD, 2003).

Para a determinação da composição química das amostras elas foram passadas em peneira ABNT N° 200 (0,074mm) e submetidas à análise química por fluorescência de raios X. Foi utilizado um espectrômetro de fluorescência de raios X com detector EDS modelo EDX 720 da Shimadzu.

Foram coletadas amostras de água, armazenadas nas cavas de extração e encaminhadas para o Laboratório de Referência em Dessalinização LABDES/CCT/UFCG, onde se processou as análises físico-químicas (ver Quadro 1).

PARÂMETROS	METODOLOGIA
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho}/\text{cm}$ a 25°C	Instrumental por condutivímetro
Potencial Hidrogeniônico, pH	Potenciométrico
Turbidez, (uT)	Nefelométrico
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	Colorimétrico
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	Titulometria de complexação
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	Titulometria de complexação
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	Titulometria de complexação
Sódio (Na^+), mg/L	Fotometria de Chama
Potássio (K^+), mg/L	Fotometria de Chama
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	Colorimétrico
Ferro Total, mg/L	Colorimétrico
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	Titulometria de neutralização
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	Titulometria de neutralização
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	Titulometria de neutralização
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	Titulometria de neutralização
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	Spectrofotométrico
Fósforo Total, mg/L	Colorimétrico
Cloreto (Cl^-), mg/L	Método de Mohr
Nitrato (NO_3^-), mg/L	Colorimétrico
Nitrito (NO_2^-), mg/L	Colorimétrico
Amônia (NH_3), mg/L	Colorimétrico
Sílica, mg/L (SiO_2)	Colorimétrico
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	Equação de Langelier
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	Evaporação

Quadro 1 – Metodologia para análise físico química das águas armazenadas em cavas de extração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação dos aspectos e impactos ambientais da mineração na cidade de Pedra Lavrada – PB

A atividade de mineração em área urbana, especificamente na cidade de Pedra Lavrada – PB, resume-se no decapeamento, desmonte da rocha com uso de explosivos, carregamento e transporte do minério e seu posterior beneficiamento, produzindo matéria prima e “pó de pedra”, utilizados diretamente nas fábricas de cerâmica branca e porcelanato na região nordeste do Brasil.

As atividades descritas nos Quadros 2 e 3 são as que ocorrem nas diferentes fases de lavra e beneficiamento.

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Remoção da cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Destruição da vegetação nativa; • Movimentação de solo; • Exposição a processos erosivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esgotamento de recurso natural; • Afugento da fauna; • Perda da biodiversidade; • Perda de solo.
Formação das cavas de extração	Geração de poeira e ruídos	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição sonora; • Perturbação para população e trabalhadores.
Utilização de explosivos	Possibilidades de acidentes no manuseio e utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de poeira de ruídos; • Explosão, riscos de vida.
Desmonte das rochas	<ul style="list-style-type: none"> • Propagação de abalos sísmicos; • Possibilidades de acidentes; • Lançamento de rochas e fragmentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de danos às construções civis; • Desconforto à população vizinha; • Riscos de acidentes ao operador; • Danos às construções civis e rurais; • Poluição sonora; • Intoxicação de trabalhadores e animais.
Carregamento e transporte da matéria prima	Geração de poeira, ruído e gases.	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição do ar e sonora; • Desconforto aos trabalhadores da mina; • Comprometimento do solo e das águas armazenadas.
Formação de novas estradas	<ul style="list-style-type: none"> • Vias sem dreno susceptíveis a erosão; • Mal planejamento de áreas; • Afugentamento da fauna e flora; • Quebra da biodiversidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos erosivos; • Assoreamento de recursos hídricos; • Geração de ruído, poeira e emissão de gases produzidos pelas máquinas; • Desconforto aos trabalhadores.
Drenagem das águas da cava de extração	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de resíduos para os recursos hídricos; • Consumo de energia renovável. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação das águas superficiais; • Geração de efluentes; • Aporte de sedimentos para os cursos d'água; • Consumo de energia.

Quadro 2 – Atividades, aspectos e impactos da atividade de extração mineral.

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Descarregamento	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de poeira e ruídos; • Riscos de acidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição do ar e sonora; • Desconforto aos trabalhadores e moradores das proximidades.
Britagem, rebritagem, moagem e peneiramento das rochas	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases e particulados; • Emissões de ruídos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de poeira e ruído; • Riscos de doenças pulmonares; Desconforto aos trabalhadores; • Risco de acidentes; • Utilização de recursos naturais não renováveis; • Baixo rendimento; • Consumo de energia.
Passagem de galpões de beneficiamento	Geração de poeira e ruídos.	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de poeira e ruído; • Desconforto aos operadores; • Perda de material; • Desgaste de máquinas; • Formação de pilhas de rejeito
Armazenamento	Geração de poeira.	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição do ar; • Intoxicação por gases e poeira.
Carregamento do material processado	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases e particulados; • Emissões de ruídos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição do ar; • Intoxicação por gases e poeira; • Morte de animais após ingestão do material; • Causa de doenças pulmonares nos operadores e população circunvizinha.

Quadro 3 – Atividades, aspectos e impactos da atividade beneficiamento e carregamento mineral.

Na identificação dos impactos ambientais gerados pelas empresas de mineração, foram considerados a produção do minério (extração), beneficiamento e transporte dos minérios. Os referidos quadros apresentam os impactos identificados e seus aspectos observados *in loco* nas atividades relativas às mineradoras da cidade de Pedra Lavrada – PB. Entre os diversos impactos identificados, destacam-se: sobrepressão, vibração e ruído, associados ao desmonte de rocha com explosivos, e a geração de poeira, relativa ao beneficiamento dos minérios. Esses impactos se mostraram as maiores causas de desconfortos às populações próximas às áreas de mineração.

Os efeitos da sobrepressão, vibração e ruído na área de estudo refletem-se nas estruturas civis através da vibração das paredes, janelas e objetos no interior das residências. Nos moradores, a percepção se expressa muito mais pelo susto no momento da detonação que pela interferência com as atividades diárias. Alguns moradores entrevistados não souberam expressar exatamente o que sentiram, mas todos manifestaram temor perante o evento da detonação.

Na Figura 10, pode-se verificar alguns processos utilizados no beneficiamento, transporte e armazenamento de material beneficiado nas empresas de Pedra Lavrada – PB associados à geração de material pulverulento e poluição do ar com emissão de poeira.



Figura 10 – (1) Descarga, (2) processamento, (3) transporte e (4) armazenamento do material

Na Figura 11, pode-se observar a geração de poeiras que a atividade provoca. Por conseguinte, há difusão desse material pelo meio ambiente ocasionando mudança da paisagem local bem como vários dos aspectos e impactos supracitados.



Figura 11 – (1) Vegetação contra o vento, (2) carregamento do material processado, e (3) vegetação a favor do vento.

Resultados encontrados por Kopezinski (2000) dizem que as atividades mineradoras estão associadas a: desmatamento; alteração da superfície topográfica e da paisagem; perda ou destruição de solos superficiais férteis; instabilização de

encostas e terrenos em geral; alteração de corpos de água e de níveis freáticos e exposição de áreas aos fenômenos de dinâmica superficial, como erosão e assoreamento. Este autor salienta ainda que nas etapas subsequentes verificam-se problemas relacionados ao transporte dos materiais extraídos no beneficiamento, quando são empregados inúmeros métodos e técnicas associadas ao tipo de minério, com a utilização de aditivos químicos, tratamento mecânico ou queima de combustível e, por fim, à estocagem do minério de baixo teor, dos estéreis e rejeitos em geral. Estes impactos subsequentes à atividade mineradora em si são observados na Figura 11, evidenciando os seus impactos ao meio ambiente circunvizinho às mineradoras mesmo após à extração e o beneficiamento.

4.2 Dados radiométricos

4.2.1 Albedo da superfície

A Tabela 3 apresenta os valores calculados para mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação, para as imagens utilizadas. Deste modo é possível observar que para as imagens de junho de 1984, julho de 2007, junho de 2008 e maio de 2010 foram apresentados coeficientes de variação abaixo de 25%, demonstrando um conjunto de dados mais homogêneos.

Tabela 3 – Valores estatísticos (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação de Person) das imagens do Albedo da superfície.

ALBEDO DA SUPERFÍCIE	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
17-06-1984	0,003	0,645	0,143	0,0356	24,90
09-05-1987	0,007	0,519	0,129	0,0339	26,28
02-08-1989	0,001	0,514	0,123	0,0339	27,56
08-04-1999	0,017	0,503	0,166	0,0461	27,77
19-07-2007	0,024	0,673	0,167	0,0377	22,57
19-06-2008	0,007	0,643	0,149	0,0362	24,30
24-05-2010	0,053	0,520	0,169	0,0386	22,84

A Figura 12 apresenta o número de elementos por classe (pixels) de cada imagem de Albedo da superfície. Observa-se a variação no número de pixels para cada classe e cada ano estudado onde é possível observar que as classes mais

baixas de Albedo da superfície (0 – 0,14), associada aos corpos hídricos e áreas com vegetação, apresentaram uma diminuição com o passar dos anos.

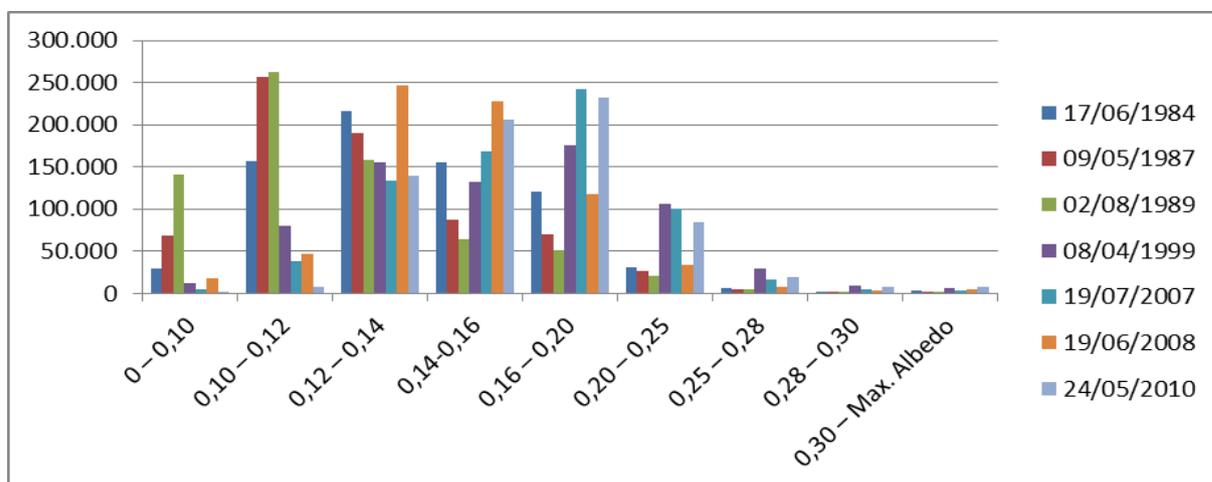


Figura 12 – Números de elementos por classe (pixels) de Albedo da superfície.

É possível perceber que a partir da imagem de abril de 1999 os valores mais baixos de Albedo da superfície (0 – 0,12) apresentaram uma elevada queda quando comparado com as três imagens anteriores. Já as classes de Albedo da superfície mais elevadas (a partir de 0,20) apresentaram aumento, o que pode ser facilmente verificado através da visualização da Figura 12.

Visualizando a Figura 13, é possível observar as grandes variações espaço temporais nos valores de Albedo da superfície em função de mudanças no uso e cobertura do solo para as imagens e datas utilizadas. Na literatura mais comumente utilizada, o valor de Albedo da superfície terrestre varia entre 5% e 55% dependendo do grau de verde, minerais e propriedades físicas e químicas do solo (Vianello e Alves, 1991; Liu, 2006).

Nas imagens de junho de 1984, maio de 1987 e agosto de 1989, nota-se a predominância no município dos valores de Albedo da superfície inferiores a 0,14, sendo caracterizadas como áreas de vegetação e/ou com presença de corpos hídricos. Isto se deve à alta absorção da radiação solar pela vegetação para realizar suas atividades fotossintéticas. Desse modo, as áreas vegetadas apresentam albedos mais baixos quando comparados a alvos urbanos ou antropizados, por exemplo.

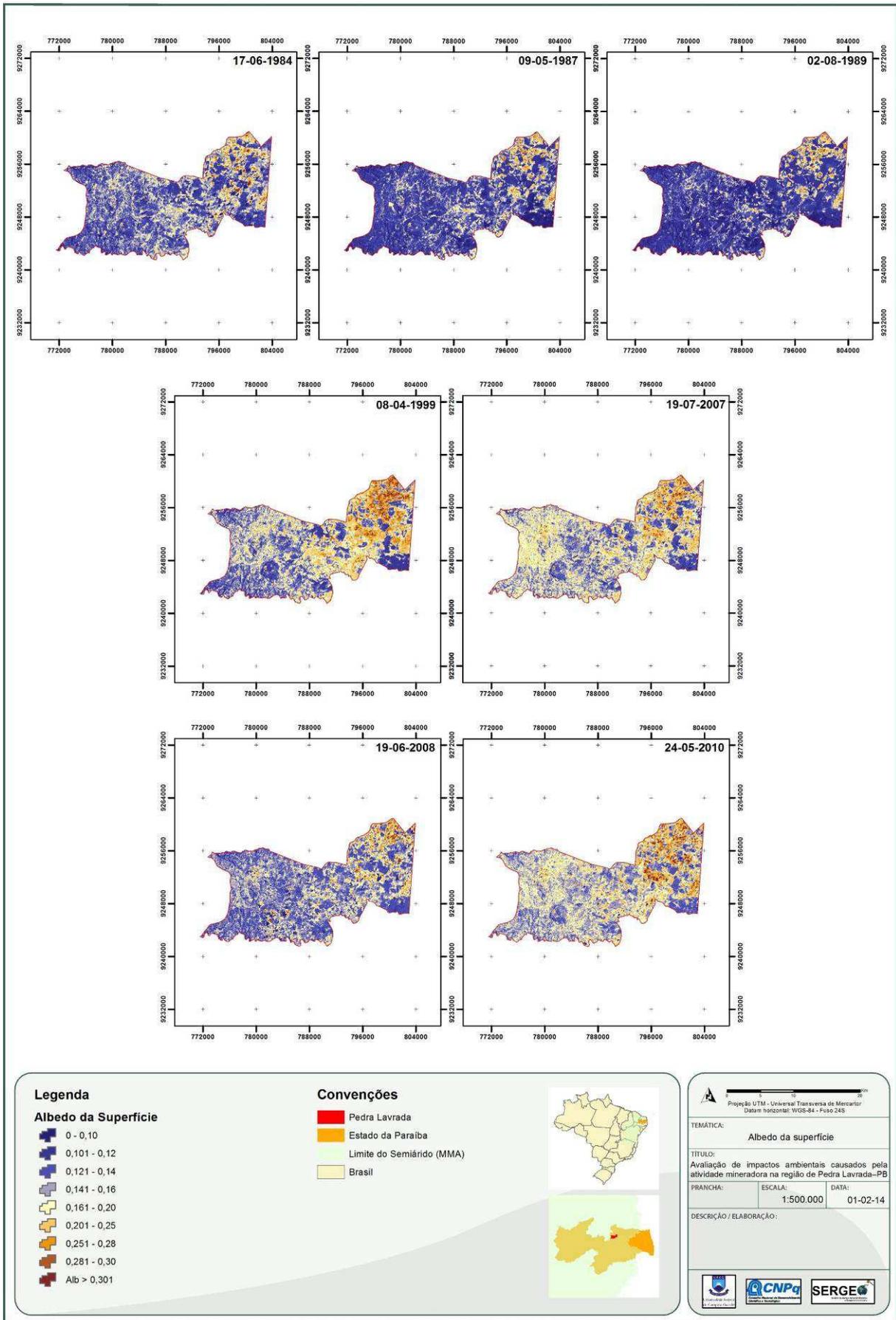


Figura 13 – Albedo da superfície para o município de Pedra Lavrada – PB.

Silva, Lopes e Azevedo (2005) realizaram um estudo no município de Petrolina – PE e verificaram que os menores valores de Albedo estavam associadas às áreas vegetadas e nas áreas com corpos hídricos. Já os maiores valores de Albedo da superfície estavam sendo exibidos pelas classes de solo exposto e área urbana. Gomes (2011), em estudo realizado na Região Metropolitana de Brasília – DF através de imagens TM do satélite Landsat nos anos de 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011, encontrou valores de Albedo variando entre 0,15 e 0,25 para a zona urbana, 0,11 a 0,20 para as áreas de vegetação e inferiores a 0,10 para os corpos hídricos.

Para as imagens dos anos de 1999 a 2010, é observado uma diminuição espacial nas classes de valores mais baixos de albedo no município de Pedra Lavrada – PB, o que também pode estar associado a períodos mais longos de estiagem ou aumento das atividades antrópicas. Através da Figura 14 é possível observar a precipitação mensal para os anos estudados (AESAs, 2014).

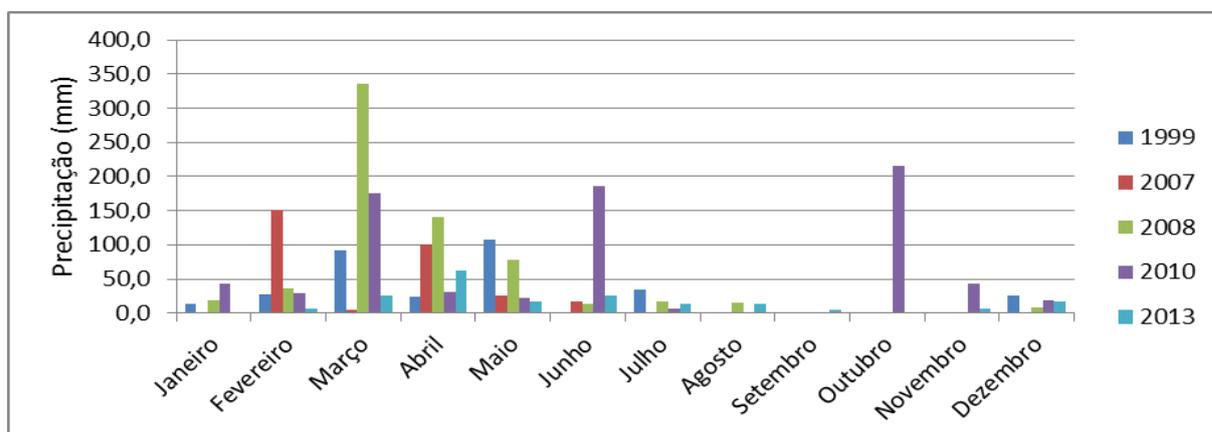


Figura 14 – Precipitação mensal para os anos de 1999, 2007, 2008, 2010 e 2013 (baseado em AESAs, 2014).

Assim, algumas espécies do bioma caatinga liberam suas folhas diminuindo a área da superfície que propiciaria a perda de água em forma de vapor através dos estômatos, evitando uma elevada taxa de evapotranspiração devido ao longo período de estiagem. Asner *et al.* (2000) afirmam que a ausência de material foliar verde em grande número de espécies diminui a influência da componente foliar na resposta espectral.

Giongo (2008), em estudo realizado em diferentes tipos de cobertura do solo de parte do município de Santa Rita do Passa Quatro – SP, observou grande alteração no Albedo de diferentes alvos quando comparados às cartas de todo o

período. Ele afirma que a variação anual do Albedo é fonte de diversos fatores, dentre eles a variação na composição da cobertura, do qual sofreu variação no período de estudo.

Segundo consulta ao sítio do CPTEC, os anos de 1987, 2007 e 2010 foram classificados como anos com ocorrência do fenômeno El Niño (ENOS), enquanto que os anos de 1984 e 1989 foram anos com ocorrência de La Niña (CPTEC, 2014). Conforme Oliveira (2001, p. 10), o El Niño “representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial”, em que no nordeste do Brasil se configura em secas mais severas. Moraes Neto, Barbosa e Araújo (2007, p. 10) destacam que:

Entre os efeitos mais manifestados pela incidência do ENOS no Nordeste brasileiro, as variações pluviométricas é a componente que deve receber maior destaque devido a sua dependência, em praticamente, todas as atividades desenvolvidas no meio rural, com influência direta na economia do semiárido. [Para os anos estudados] [...] o fenômeno ENOS e as TSM do Oceano Atlântico influenciam na pluviometria do Estado da Paraíba (apresentando queda na média de precipitação observada), levando a crer que essas influências podem ter gerado perdas significativas na produção agropecuária deste Estado.

Por meio da consulta aos dados agrometeorológicos disponíveis na estação PCD Parelhas, estação mais próxima à área de estudo, foi possível visualizar que para a imagem dos anos de 1999 e 2007 não foi observada a ocorrência de precipitação até uma semana antes a data de imageamento. Já a imagem de 2008 apresentou valor de precipitação acumulada de 1,25mm dois dias anteriores ao imageamento e a imagem de 2010 apresentou precipitação acumulada de 39,25mm seis dias antes ao imageamento e acréscimo de 2,25mm no dia do imageamento.

Em se tratando de períodos mais longos, segundo dados da AESA (2014), para a imagem de 08/04/1999, houve uma precipitação no dia de 0,0mm, de 23,3mm acumulado no mês e uma precipitação acumulada anual de 324,5mm, com maiores valores acumulados encontrados para o mês de maio, com 107,3mm; para a imagem de 19/07/2007, pode-se observar uma precipitação diária e mensal de 0,0mm, com um acumulado anual de 299,2mm, sendo o mês de fevereiro o de maior precipitação, somando 150,6mm/mês. Tomando como base a data de imageamento no ano de 2008, mais precisamente na data de 19/06/2008, pode-se

constatar uma precipitação de 0,0mm na data da imagem, de 13,2mm no mês, acumulados exatamente no dia 09/06/2008 e um acumulado anual de 662,0mm, destacando o mês de março, como o de maior precipitação, com uma soma mensal de 335,3mm; e para a última data de passagem (24/05/2010), teve-se precipitação no dia de 0,0mm, mensal de 21,8mm, anual de 769,6mm, destacando o mês de outubro como o de maior precipitação acumulada no valor de 215,7mm. Para as demais imagens, não foram encontrados dados meteorológicos disponíveis.

É possível visualizar que as áreas onde ocorre o desenvolvimento de algum tipo de atividade antrópica ou áreas com solo exposto apresentaram valores de Albedo da superfície superiores a 0,20. As áreas que apresentavam atividades antrópicas, dada a escala do mapeamento realizado, estão concentrada em sua maior parte nas áreas mais a leste do município de Pedra Lavrada – PB, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa, que apresenta maior concentração de valores elevados de Albedo da superfície nesta região (Figura 15).

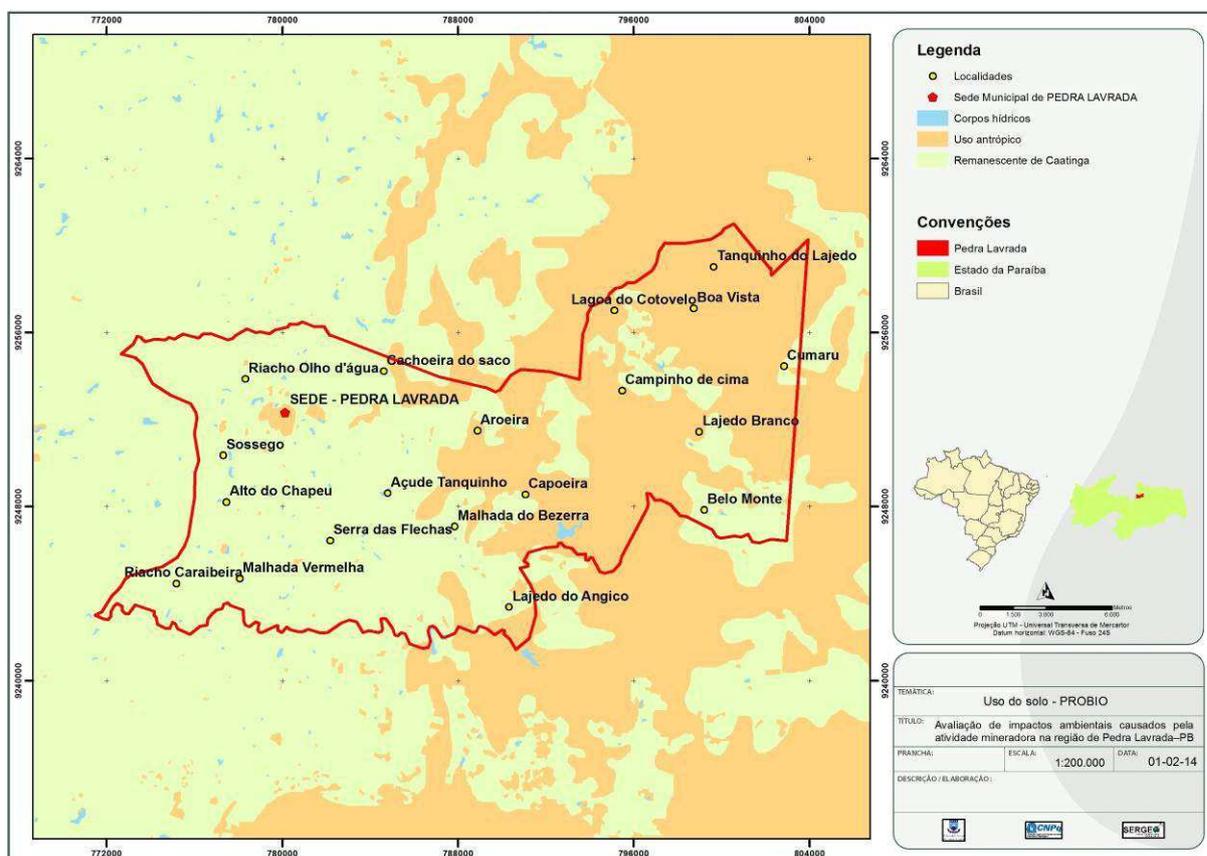


Figura 15 – Mapa de uso e cobertura do solo do município de Pedra Lavrada – PB.

Resultados encontrados por Silva *et al.* (2006), em estudo realizado no lago de Sobradinho e em áreas do leito do rio São Francisco, constataram que as áreas que apresentavam solos descobertos e a área urbana do município de Petrolina apresentaram valores de Albedo superiores a 35%, assim como uma predominância de valores de Albedo classificados entre 10 a 25% em áreas com agricultura irrigada e com vegetação nativa, o que corrobora com resultados encontrados neste estudo.

Valores de Albedo superiores a 35% em áreas com solo descoberto também foram constatados por Boegh, Soegaard e Thomsen (2002), em estudo realizado na Dinamarca com imagens TM do satélite Landsat 5, e por Gomes (2011), em estudo realizado na Região Metropolitana de Brasília – DF através de imagens TM do satélite Landsat nos anos de 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011, que encontrou valores de Albedo variando entre 0,15 e 0,25 para a zona urbana, 0,11 a 0,20 para as áreas de vegetação e inferiores a 0,10 para os corpos hídricos.

Para as imagens de Albedo de abril de 1999, julho de 2007 e maio de 2010, a parte oeste do município, com as localidades de Alto do Chapéu e Sossego (Figura 16), apresentou grandes áreas com predominância de Albedos da superfície superiores a 0,20. Áreas como a Serra das Flechas, Campinho de Cima e Belo Monte apresentaram valores de Albedo inferiores a 0,14 em todas as imagens, o que pode evidenciar uma maior disponibilidade de água para a vegetação, evitando ou diminuindo a eliminação natural da folhagem.

Á área em que fica localizada a sede municipal apresentou valores elevados de Albedo da superfície para todas as imagens, variando entre 0,25 e Albedos superiores a 0,30, conforme pode ser observado através da Figura 16, o que é compatível com resultados encontrados na literatura disponível devido aos tipos de materiais utilizados nas construções e no mobiliário urbano. Já as áreas de corpos hídricos se apresentam destacadas com valores de Albedo da superfície inferiores a 0,10.

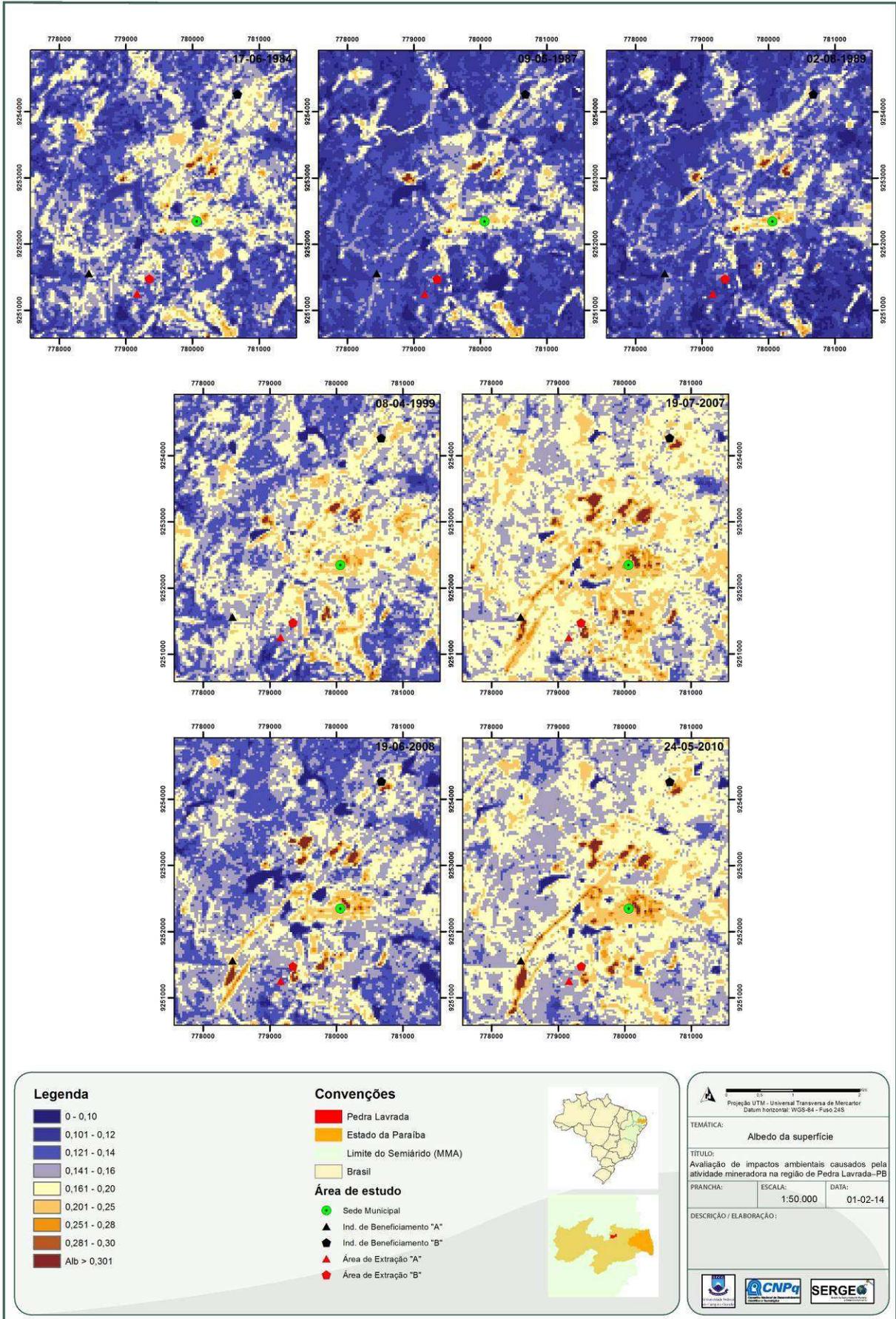


Figura 16 – Detalhe de Albedo da superfície para a área urbana de Pedra Lavrada e entorno.

Nota-se com as imagens utilizadas que, com o passar dos anos, o município de Pedra Lavrada – PB apresentou uma diminuição de cobertura vegetal no interior da área urbana municipal. Desse modo, os valores de Albedo da superfície foram ficando mais homogêneos, com valores variando entre 0,18 a 0,28 para a área urbana dependendo do tipo e densidade de ocupação. Já as áreas com Albedo da superfície superiores a 0,28 são as áreas utilizadas pela atividade de mineração, podendo ser observada em todas as imagens.

É possível observar até as estradas utilizadas para acessar estas áreas a partir da imagem do ano de 2007. Comparando as imagens mais antigas (1984, 1987 e 1989) com as mais atuais (2007, 2008 e 2010) foi verificada a expansão das áreas que apresentavam atividades mineradoras.

4.2.2 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)

Através da Figura 17 é possível visualizar o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para as imagens utilizadas nesta pesquisa. Como esperado, os corpos hídricos apresentaram valores de IVAS inferiores a 0 se apresentando bem destacados nos períodos mais úmidos. Nos períodos mais secos ou de estiagem, como nas imagens de 1989, 2007 e 2010, é perceptível a diminuição espacial da quantidade de água disponível nos açudes e, conseqüentemente, a diminuição de sua área. Estas áreas apresentavam valores de Albedo da superfície inferiores a 0,10. A imagem de 2013 seguiu com as mesmas características da imagem de 2010.

As áreas que apresentavam valores de Albedo da superfície superiores a 0,16 foram caracterizadas como áreas que apresentavam uso ou cobertura de solo exposto, áreas com cobertura vegetal mais esparsa, área urbana ou áreas com atividade de mineração, apresentaram valores de IVAS entre 0 e 0,30. Assim como no Albedo da superfície, nas imagens de 1989 a 2013 (imagens de IVAS), é possível observar as estradas utilizadas em parte para o transporte do material extraído e transportado para as indústrias de beneficiamento.

Desse modo, tanto nas imagens de Albedo da superfície (Figura 16), como nas imagens do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Figura 17), o entorno das Indústrias de Beneficiamento encontram-se destacadas com valores mais elevados de Albedo e mais baixos de IVAS apresentando valores de 0,20 a 0,28 e 0,10 a 0,30 respectivamente.

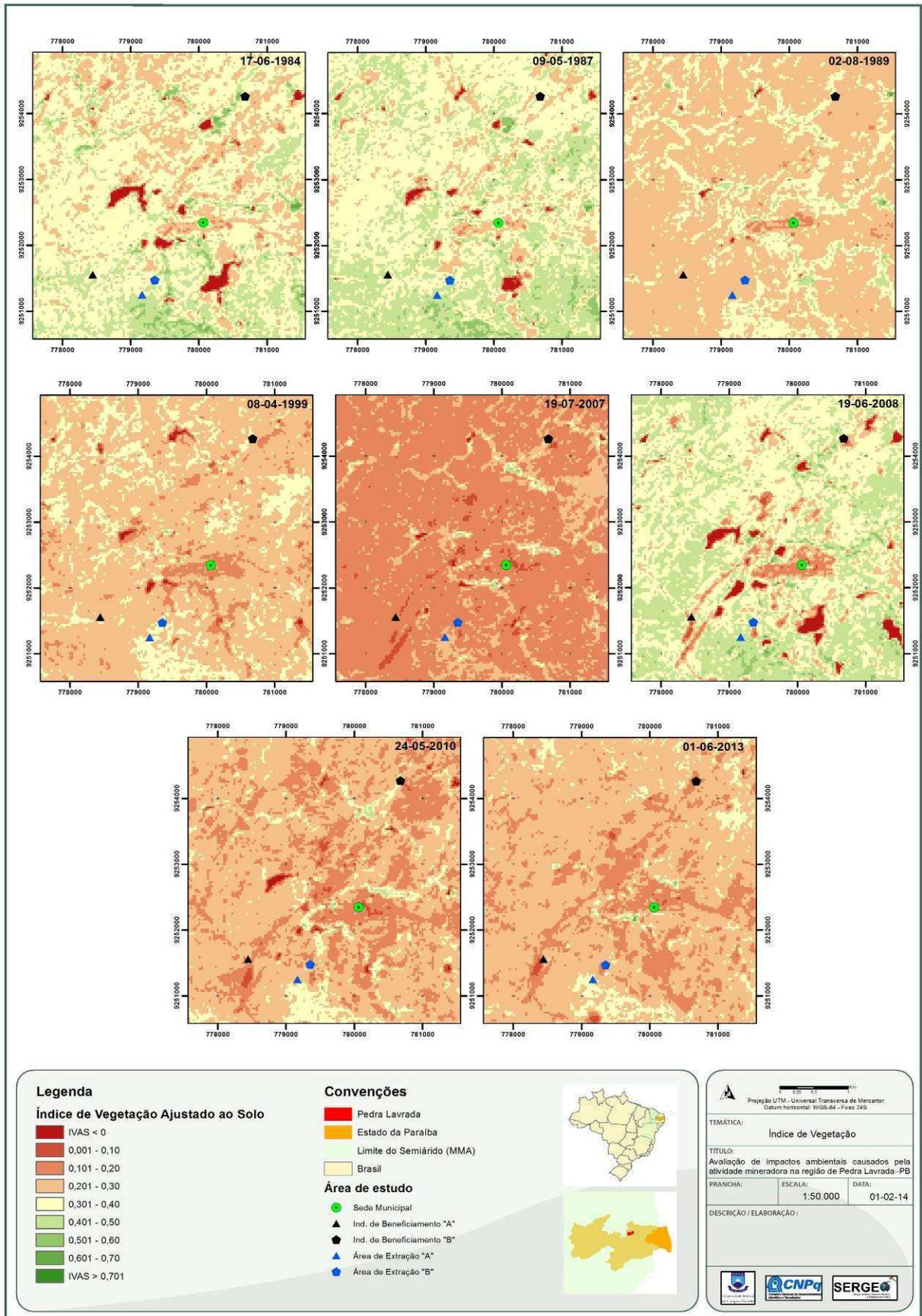


Figura 17 – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo para a área urbana de Pedra Lavrada e entorno.

Já as áreas utilizadas pelas indústrias apresentavam valores de Albedo superiores a 0,301 e valores de IVAS variando entre 0 e 0,10. Assim, os resíduos gerados nas indústrias de beneficiamento podem estar influenciando nos valores de Albedo e de IVAS na vegetação distribuída no entorno destas áreas e nas estradas utilizadas no transporte do material.

As áreas que apresentavam cobertura vegetal no entorno de rios e açudes mantiveram valores de IVAS superiores a 0,30 em todas as imagens. Devido à disponibilidade de água, mesmo em períodos de estiagem, a vegetação localizada nestas áreas conseguiu manter uma boa quantidade de folhas verdes em suas copas, fato este devido à capacidade de fechamento dos folíolos, já que a vegetação em estudo (jurema preta) apresentam folhas compostas. Para Maldonado (2004), a baixa atividade fotossintética refletida pelo aspecto seco dos estratos que compõem as fácies de caatinga faz com que a resposta espectral desta formação tenha um importante componente de sombreamento da porção lenhosa (troncos e galhos).

Os estudos realizados por Vigano, Borges e Franca-Rocha (2011), através da utilização de imagens do sensor ASTER para região localizada no município de Petrolina – PE, encontraram os menores valores de IVAS associados às classes de corpos hídricos, estradas e solo exposto enquanto que os valores mais elevados estavam distribuídos nas áreas de agricultura irrigada, apresentando, assim, maior vigor vegetativo.

4.2.3 Dados obtidos com atividade de campo *in loco*

Visando à obtenção da curva espectral da *Mimosa tenuiflora* (Jurema Preta) distribuídas nas áreas afetadas pelos resíduos da atividade mineradora mais precisamente, no entorno das indústrias de beneficiamento, no dia 25 de março de 2014, foi realizada uma coleta *in situ* das folhas a serem utilizadas e a posterior mensuração da curva. Este dia apresentou pouca nebulosidade, temperatura média de 30°C e umidade relativa em torno 50%, conforme termohigrômetro. Os ventos sudeste predominam na região.

Através da Figura 18, é possível observar a distribuição dos pontos onde foram realizadas as coletas das folhas na Indústria de Beneficiamento “A” que foram utilizadas para a obtenção da curva espectral.

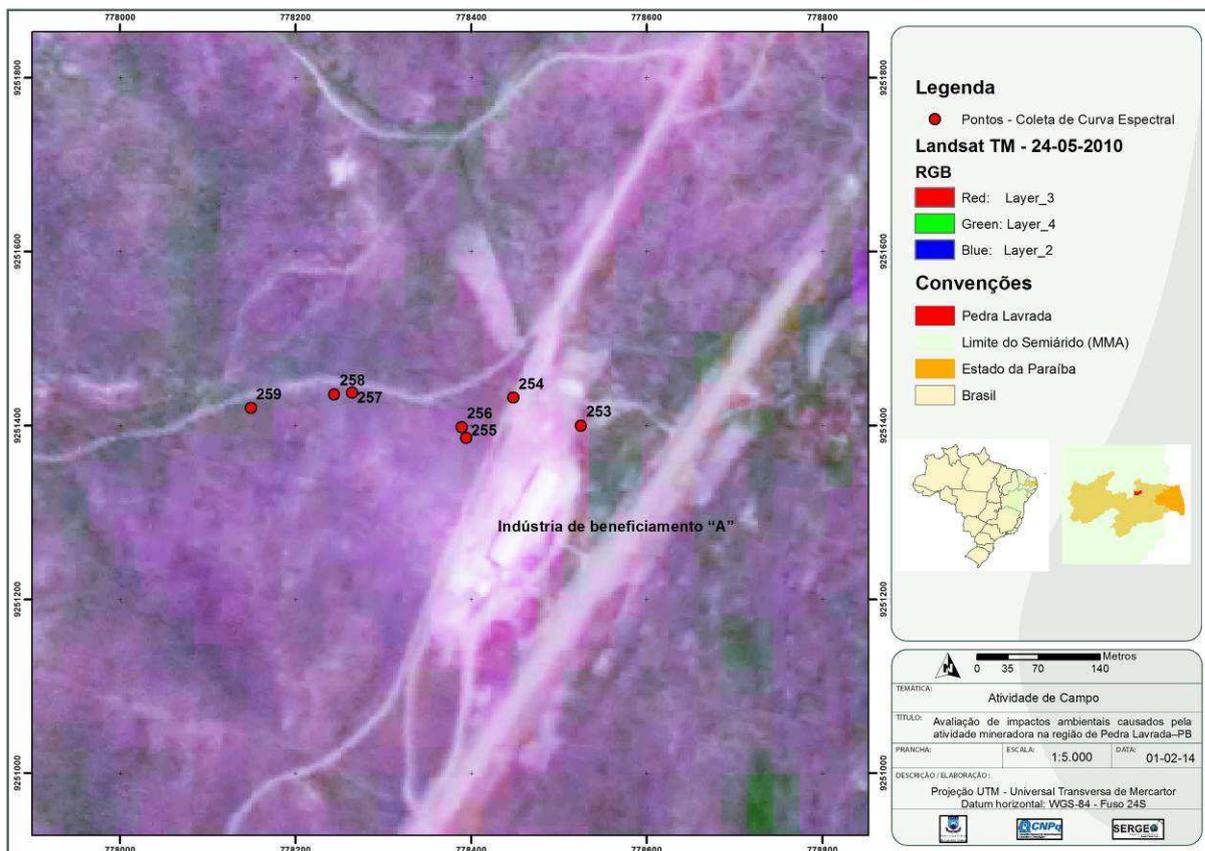


Figura 18 – Distribuição dos pontos de coleta de vegetação na Indústria de beneficiamento "A", Pedra Lavrada – PB.

O ponto 253 corresponde ao local onde foram obtidas as curvas espectrais do indivíduo "sadio". Esta área não estava sobre influência do material residual oriundo da atividade de mineração devido a sua posição em relação ao vento. A Figura 19 apresenta a curva espectral das folhas extraídas no ponto 253, indivíduo "sadio". É possível observar que os valores de reflectância obtidos do indivíduo sadio apresenta uma alta absorção de radiação solar na faixa do visível, com valores abaixo de 0,35 e uma maior reflexão na faixa do infravermelho próximo, acima de 0,70.

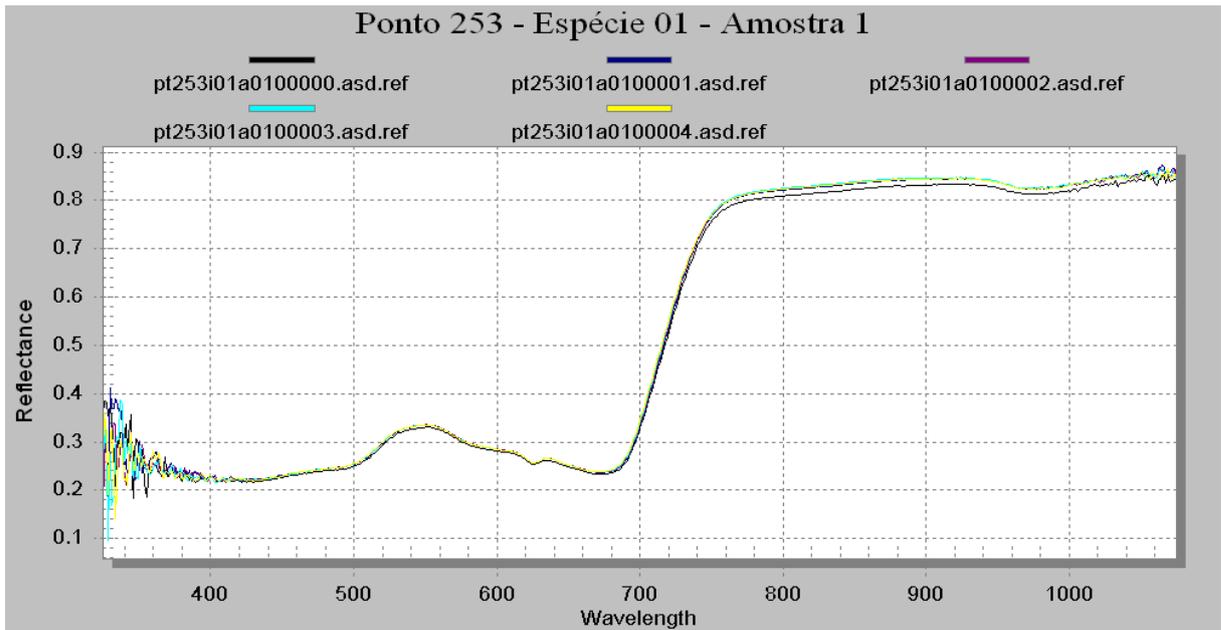


Figura 19 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* sem influência da atividade de mineração, ponto 253, Pedra Lavrada – PB.

As Figuras 20 e 21 apresentam as fotografias que ilustram a quantidade de material suspenso após o carregamento dos minérios nos caminhões e a diferença de coloração das folhas da vegetação afetada pelo material residual suspenso no ar oriundo das mineradoras, respectivamente. É possível observar a elevada quantidade de material que fica suspenso na atmosfera com a movimentação do material proveniente da mineração. Este material é levado pelo vento e depositado principalmente na vegetação. Através da Figura 21, é possível observar a diferença na coloração da vegetação afetada e não afetada pelo material em suspensão.



Figura 20 – Carregamento de caminhão com material de mineração na Indústria de beneficiamento “A”, Pedra Lavrada – PB.



Figura 21 – Diferença de coloração da folha afetada e da não afetada pelo material residual em suspensão da Indústria de beneficiamento “A”.

A Figura 22 também destaca a diferença na coloração da vegetação no entorno das indústrias de beneficiamento mineral, sendo observado um elevado impacto ambiental provocado pelo particulado em suspensão no ar, afetando a vegetação circunvizinha.



Figura 22 – Diferença na coloração da vegetação no entorno da Indústria de beneficiamento “A”, Pedra Lavrada – PB.

Nas Figuras 23 e 24, é possível observar o comportamento espectral dos indivíduos coletados que sofrem a influência do material em suspensão da mineração. Nota-se diferenças na curva, principalmente na região do visível. Os valores de reflectância nesta região apresentam-se elevados. No ponto 254, ao lado da Indústria de beneficiamento “A”, os valores de reflectância na faixa do azul e verde se apresentam superiores a 0,45. Já na região do vermelho, nota-se uma discreta absorção de radiação solar.

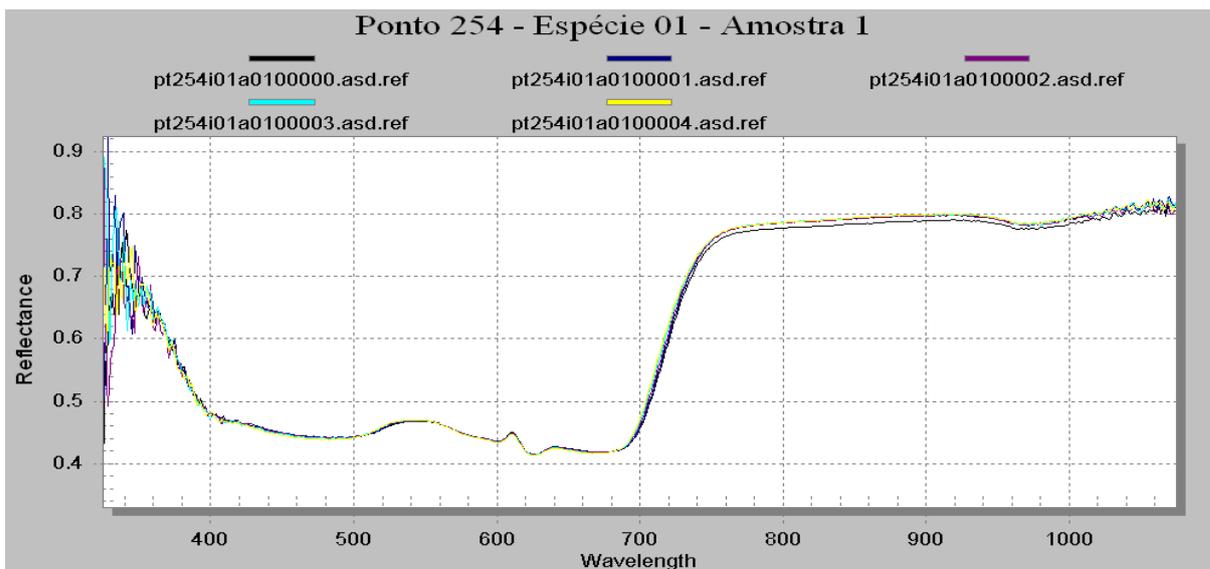


Figura 23 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 254, Pedra Lavrada – PB.

No ponto 255 (Figura 24), toda a região do visível apresenta reflectância superior a 0,45. Desse modo, é possível que esteja havendo uma diminuição da atividade fotossintética da vegetação em virtude do recobrimento das folhas pela poeira originada da indústria de beneficiamento. A absorção da radiação solar pelos pigmentos foliares é afetado, levando, possivelmente, a vegetação a passar mais tempo realizando a atividade fotossintética do que, por exemplo, abrindo os estômatos para liberação de umidade em um período de maior insolação.

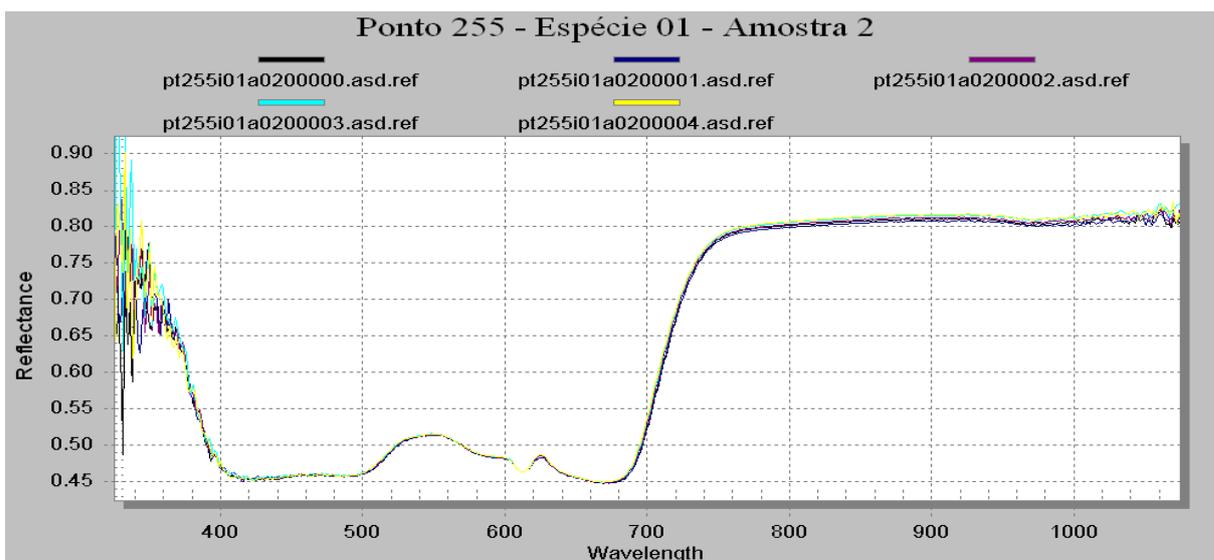


Figura 24 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 255, Pedra Lavrada – PB.

Através das Figuras 25 e 26, com as curvas espectrais dos indivíduos dos pontos 258 e 259, respectivamente, é observado que as curvas já se apresentam mais próximas dos valores da amostra do indivíduo sem influência dos resíduos de mineração. Os valores de reflectância na faixa do azul e vermelho se apresentam abaixo de 0,3. Já na região do verde, os valores de reflectância estão abaixo de 0,35.

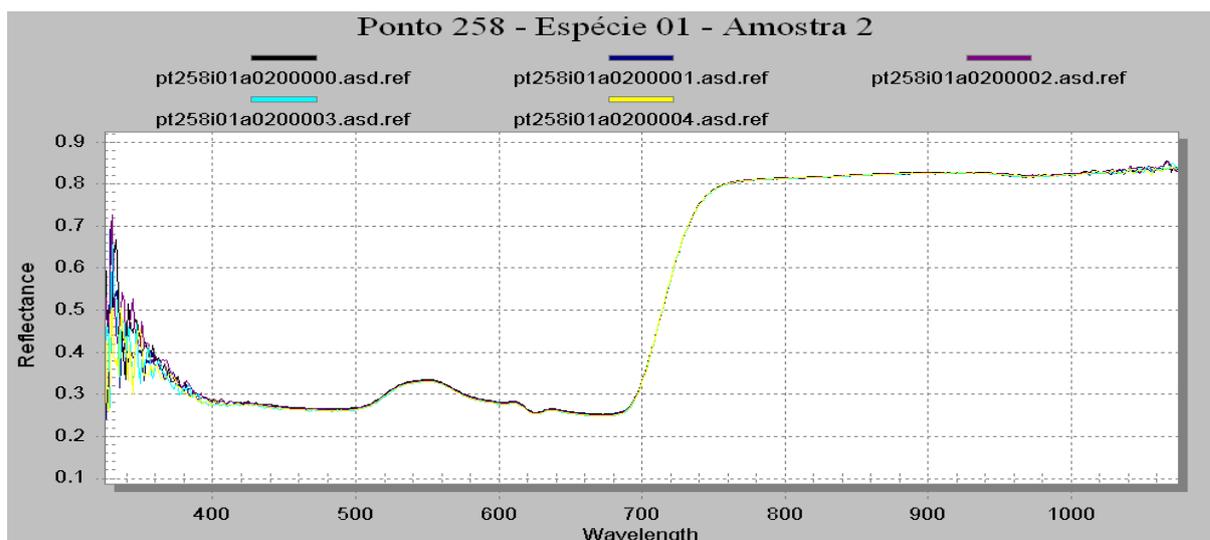


Figura 25 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 258, Pedra Lavrada – PB.

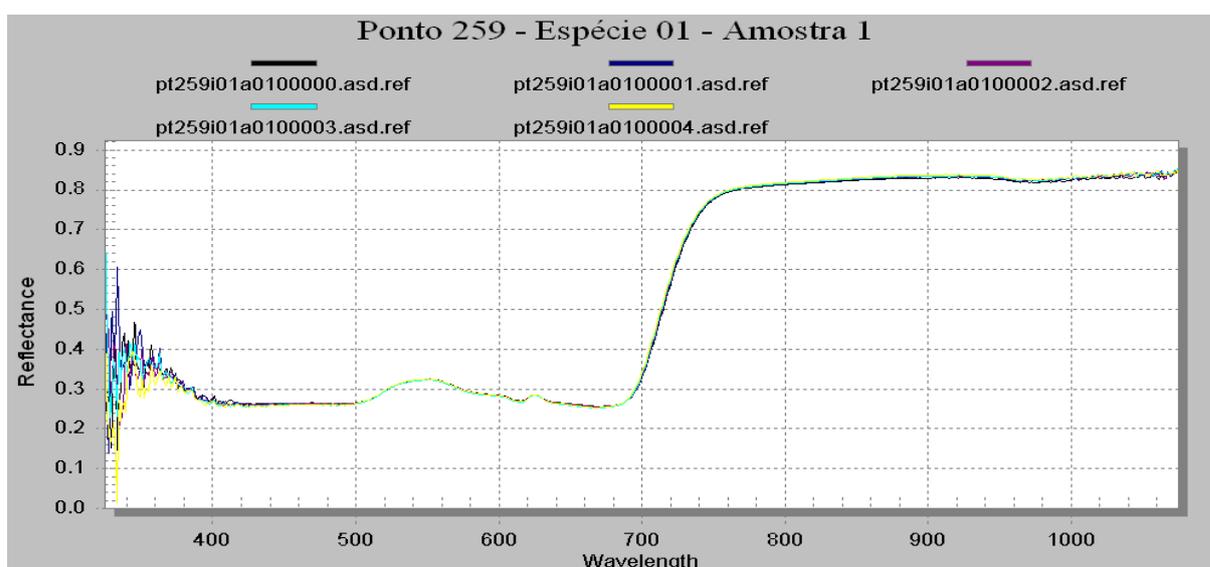


Figura 26 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 259, Pedra Lavrada – PB.

Através da Figura 27 é possível observar os pontos utilizados para a coleta dos exemplares de vegetação a serem utilizadas na coleta da curva espectral e

verificação da influência dos resíduos da atividade mineradora na vegetação da Indústria de Beneficiamento “B”. Ao total, foram realizadas seis coletas de indivíduos da mesma espécie utilizada anteriormente.

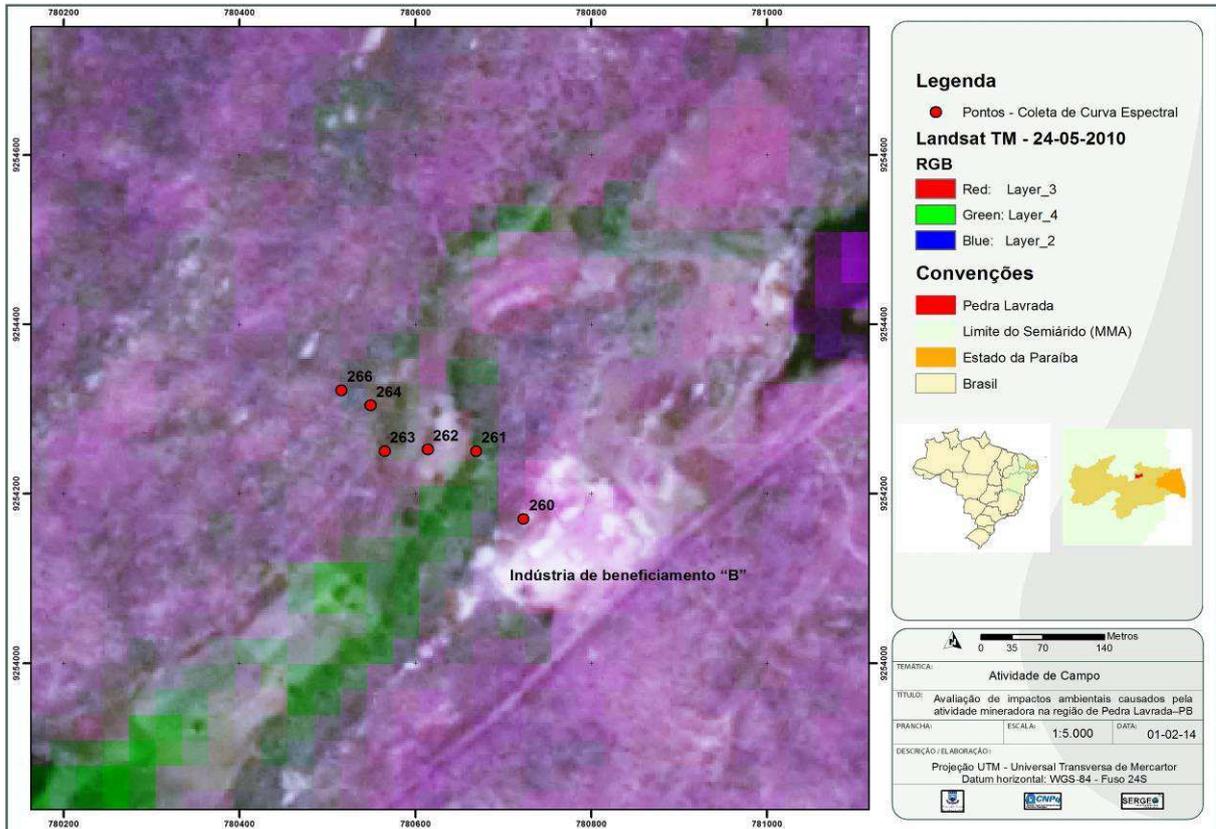


Figura 27 – Distribuição dos pontos de coleta de vegetação na Indústria de beneficiamento “B”, Pedra Lavrada – PB.

Na Figura 28, é possível observar o comportamento espectral dos indivíduos coletados na região mais próxima à área de beneficiamento que sofrem a influência do material em suspensão da mineração. Nota-se diferenças na curva, principalmente na região do visível. Os valores de reflectância nesta região apresentam-se muito elevados, evidenciando a presença da poeira residual na superfície foliar.

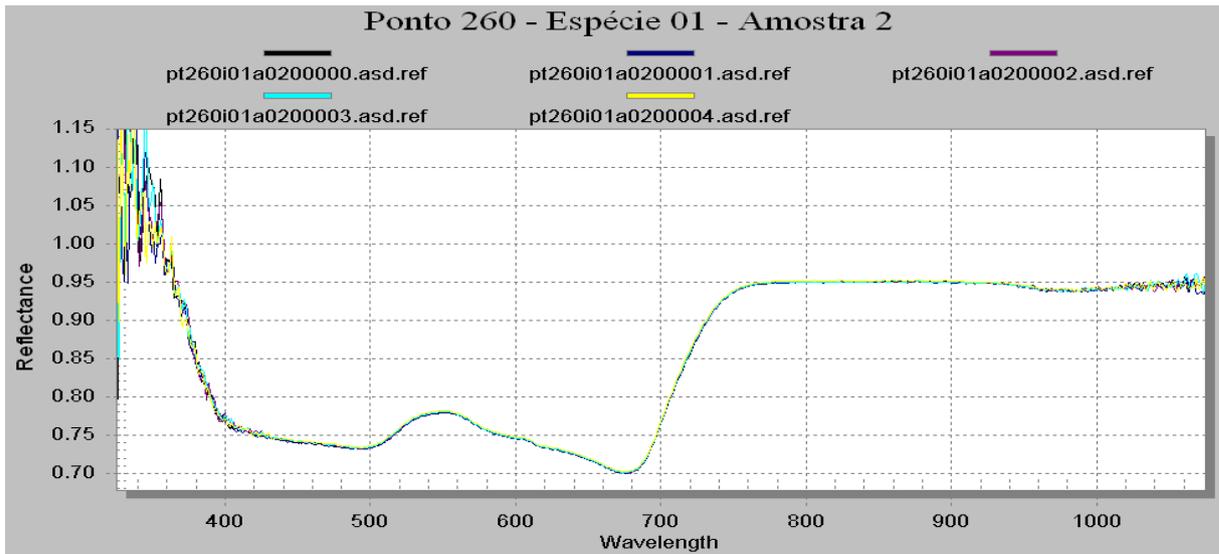


Figura 28 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 260, Pedra Lavrada – PB.

Tendo em vista esta característica, é possível observar através da curva espectral do indivíduo do ponto 261 (Figura 29) se apresenta bem mais próxima do indivíduo de referência do ponto 253 (Figura 19). Nota-se que os valores de reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo se apresentam mais baixo neste indivíduo. Já na região do visível, os valores de reflectância da faixa do verde se encontram próximos aos valores encontrados na região de azul e vermelho, podendo isto ser um indicativo de problemas na atividade fotossintética da vegetação.

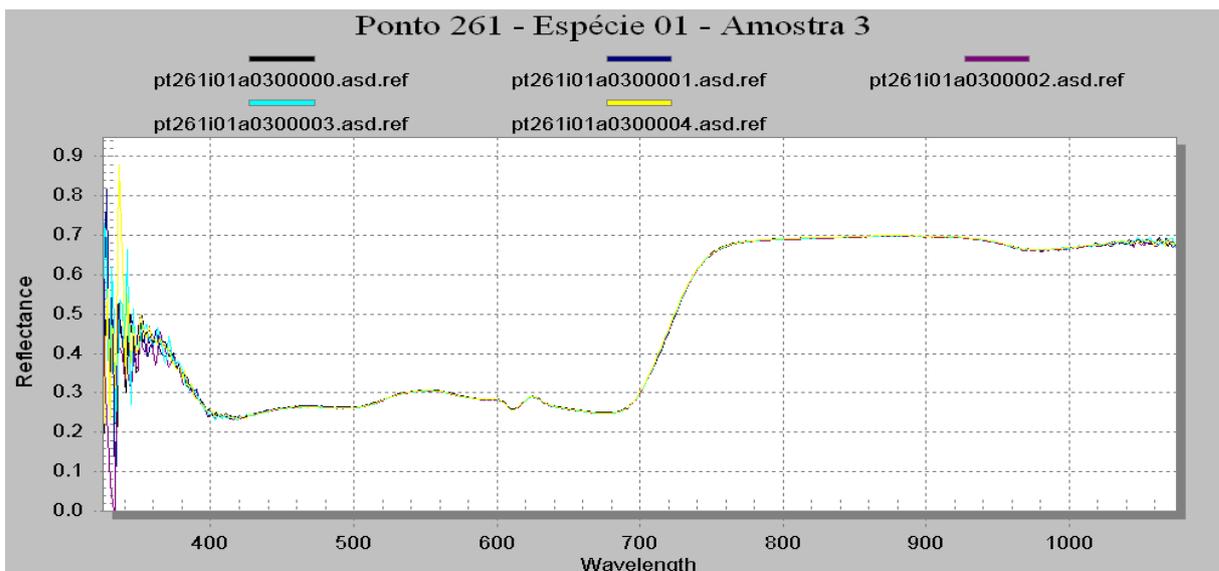


Figura 29 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com influência da atividade de mineração, ponto 261, Pedra Lavrada – PB.

As Figuras 30 e 31 correspondem aos indivíduos localizados nos pontos 262 e 263, respectivamente. Nota-se que as curvas espectrais da vegetação obtidas neste ponto se apresentam com valores próximos ao do ponto de referência. Os valores de reflectância na região do visível se encontravam abaixo de 0,2 no indivíduo do ponto 263. Já na região do infravermelho próximo, os valores de reflectância se encontravam abaixo de 0,7.

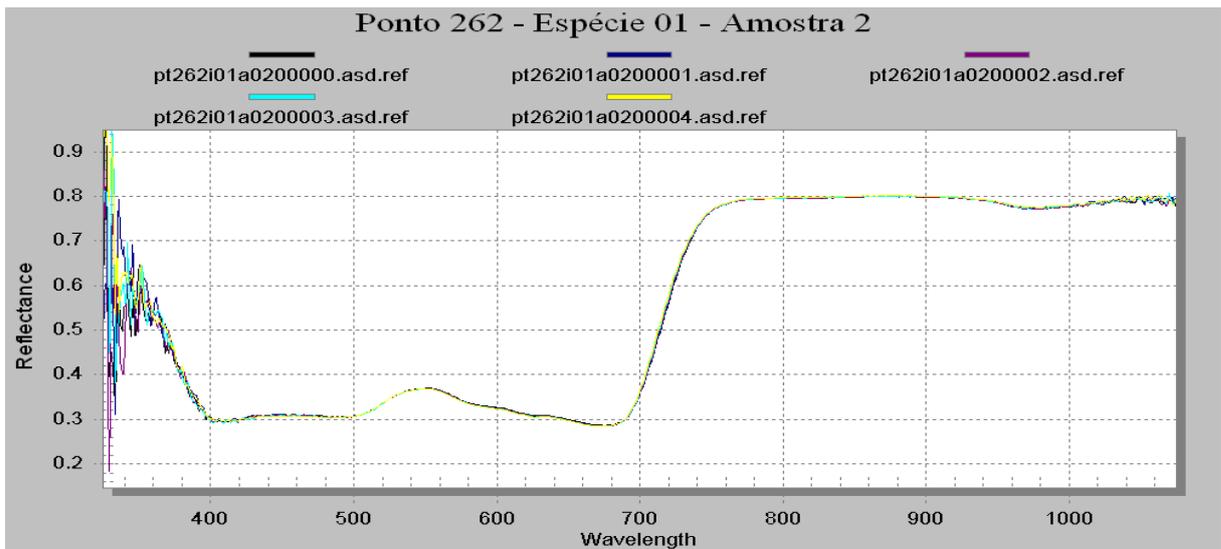


Figura 30 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com pouca influência da atividade de mineração, ponto 262, Pedra Lavrada – PB.

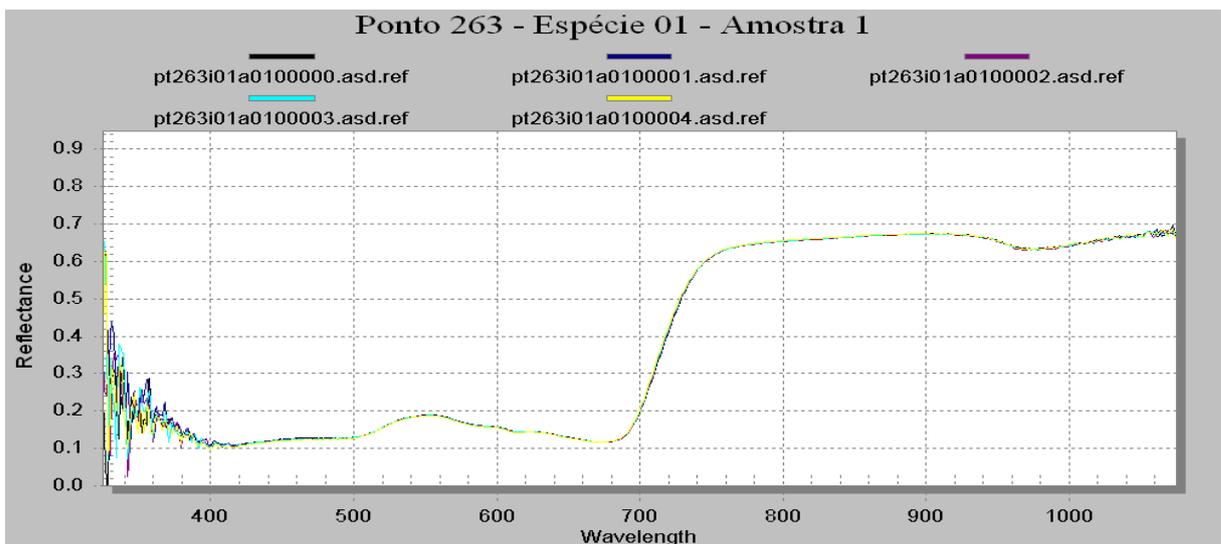


Figura 31 – Curva espectral de indivíduo da espécie *Mimosa tenuiflora* com pouca influência da atividade de mineração, ponto 263, Pedra Lavrada – PB.

Nota-se, em todas as curvas espectrais coletadas no dia 25 de março, que os valores de reflectância se apresentam um pouco elevado, podendo estes estarem relacionados ao horário de coleta dos mesmos no campo.

4.3 Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa

A composição química das amostras de sienito e do feldspato beneficiados e das amostras de dos solos de cobertura da região do entorno as indústrias de beneficiamento (mineradora A e mineradora B) são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Na análise da amostra de minério beneficiado da mineradora A, verificou-se uma formação típica de uma rocha ígnea plutônica do tipo intermédia, característica do sienito, tendo como seus principais constituintes o dióxido de silício (SiO_2) e o óxido de alumínio (Al_2O_3), responsáveis, respectivamente, por 65,4% e 18,5% de sua composição, contendo também pequenas quantidades de óxidos de sódio, potássio, ferro, cálcio, bário, fósforo, estrôncio e titânio.

Tabela 4 – Composição química (porcentagem mássica) das amostras da mineradora A.

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	CaO	BaO	P_2O_5	TiO_2	Outros
Sienito	65,4	18,5	5,3	5	2,1	2,1	0,3	0,3	0,2	0,8
Solo_01	63,5	18,4	5,3	4,4	3,4	2,8	0,4	0,1	0,2	1,5
Solo_02	63,1	19,8	4,5	4,5	2,9	2,2	0,3	0,3	0,3	2,1
Solo_03	64,6	20	2,5	4,5	3,5	2,2	0,2	0,1	0,4	2,0
Solo_04	63,3	20,4	1,9	4,6	4,3	1,8	0,2	0,3	0,5	2,7
Solo_05	55,9	22,6	2,1	4,6	9,1	1,9	-	0,1	0,4	3,3
Solo_06	54,2	23,9	-	4,6	9,1	1,9	-	0,1	1,4	4,8
Solo_teste	58,1	22,0	3,0	3,7	6,3	2,3	-	0,4	1,1	3,1

Analisando a distribuição espacial no entorno da mineradora A, através dos solo de cobertura, pode-se concluir que à medida que afasta-se da área de processamento e armazenamento do sienito processado, há uma diminuição de 11% na concentração de SiO_2 , de 65% para 54% aproximadamente e um aumento no teor de Al_2O_3 nas amostras de aproximadamente 5,5%, de 18,5% para 24%. Verifica-se uma diminuição nos teores de Na_2O e K_2O de 5,3% e 0,4%, respectivamente. Constatou-se, também, que há uma diminuição gradual do teor de Na_2O e um aumento significativo no teor de FeO_3 com o aumento da distância do solo à mineradora do sienito.

Os teores de ferro são os principais agentes inviabilizadores em termos de composição adequada de material para produção de cerâmica branca, pois, segundo Sampaio (2008), a aplicação dos produtos de sienito em diversos setores da indústria, especialmente de vidros e cerâmicas, encontra dificuldade em relação ao teor de Fe_2O_3 e da granulometria para liberação dos minerais portadores deste elemento. Em alguns casos, o teor de Fe_2O_3 inviabiliza o aproveitamento do depósito mineral, mesmo com a separação magnética agindo de forma efetiva na remoção desses minerais, dentre os quais destacam-se a magnetita e os hidróxidos de ferro. Assim, o aproveitamento econômico dos depósitos de sienito torna-se viável, especialmente quando o teor de Fe_2O_3 situa-se abaixo de 2,0%. De forma paradoxal, quando o ferro se encontra na forma de sulfetos a sua remoção constitui uma etapa árdua do processo. Em alguns casos, a conjugação do processo de flotação seguido de lixiviação, torna-se uma alternativa tecnológica para o caso (Sampaio, 2008).

Comparando os resultados das amostras com a análise do solo da região, pode-se notar que a maior influência residual do sienito é destacada até o Solo_04 e os demais analisados (Solo_05 e Solo_06) tendem a manter as características regionais, ocorrendo, inclusive, incremento nos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 , fato este, podendo ser comprovado na Tabela 5 em análises feitas para os solos da mineradora B.

Deve-se destacar que o elevado teor de Fe_2O_3 nas amostras de Solo_05 e Solo_06, inclusive consideravelmente maior que os demais solos analisados, pode surgir do fato de que o ferro retirado no processamento do sienito pela mineradora A é armazenado de forma irregular, à céu aberto, podendo contaminar regiões mais distantes que os resíduos de sienito propriamente dito. O ocorrido deve estar ligado aos ventos sudestes que disseminam resíduos pulverulentos do minério beneficiado por longas distâncias, carreando esse material nas áreas circunvizinhas; e corrobora com os dados de espectrometria, indicando contaminação para esta mineradora até a quarta faixa de solo (Solo_04), particularmente aquela a favor do vento.

A Tabela 5 apresenta valores da composição química do feldspato e dos solos de cobertura da região circunvizinha da fábrica de beneficiamento da mineradora B.

Tabela 5 – Composição química (porcentagem mássica) das amostras da mineradora B.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	Outros
Feldspato	66,9	21,2	5,3	3,9	0,8	0,5	0,5	0,2	-	-	0,7
Solo_01	64,7	22,4	5,4	3,5	1,6	0,7	0,9	0,2	0,0	0,1	0,5
Solo_02	60,4	24,9	4,2	3,6	2,3	1,5	1,7	0,5	0,1	0,2	0,6
Solo_03	56,6	24,9	4,8	2,0	5,0	2,3	2,3	0,3	0,1	0,6	1,1
Solo_04	54,8	25,1	4,8	1,6	6,6	2,9	2,2	0,2	0,2	0,8	0,8
Solo_05	53,6	25,4	4,7	1,3	7,8	3,2	1,9	0,0	0,2	0,9	1,0
Solo_06	50,3	26,4	5,0	-	9,7	3,6	2,2	0,2	0,2	1,3	1,1
Solo_test.	58,1	22,0	3,7	3,0	6,3	2,0	2,3	0,4	0,4	1,1	0,7

Pode-se notar que o feldspato, produto da mineradora B, apresenta os óxidos SiO₂, Al₂O₃ e K₂O como os constituintes principais deste material correspondendo, respectivamente, a 66,9%, 21,2% e 6,5%. Observa-se, também, a presença de Na₂O, indicando tratar-se de um feldspato potássico-sódico e baixo teor de Fe₂O₃ (0,8%).

Analisando os dados do solo de cobertura da região circunvizinha, observa-se uma diminuição de 16,6% nos valores dos SiO₂, de 66,9% presente na amostra beneficiada para 50,3% no solo 6, a uma média de 600m de afastamento da área de armazenamento, caracterizando o decréscimo da influência residual e manutenção das características de solo regional quando comparados ao solo testemunha (solo teste). Mesmo assim, nota-se, através da mesma que até a faixa de Solo_02, que as características do material processado predomina, mostrando grande influência residual do material em estudo.

Observou-se, ainda, um aumento de 5,2% de Al₂O₃ nas faixas mais distantes de solo, podendo este fato ser explicado pela mica presente na região em estudo, mineral rico em Al₂O₃.

Deve-se destacar também que não se observou variação significativa no teor de K₂O, o que seria esperado em função da diminuição do teor de resíduos pulverulentos no solo em maiores distâncias da empresa. No entanto, o solo da região é rico em mica, que apresenta K₂O em sua constituição, o que, inclusive, vem ao encontro do valor de 5,0% de K₂O no Solo_06. Por outro lado, o teor de Na₂O, possivelmente intrínseco ao feldspato, e conseqüentemente ao resíduo, decresceu gradativamente com o distanciamento da empresa de mineração. Nesse sentido, tem-se o aumento gradativo do teor de TiO₂ com a aumento da distância a zona de beneficiamento. Esses resultados indicam que a composição química do solo reflete a poluição oriunda do beneficiamento do minério, bem como indica a magnitude de sua extensão nas regiões circunvizinhas.

Pode-se perceber que há grande influência do resíduo do material processado até o Solo_02 ou a 200m da área de armazenamento a favor do vento, notando, inclusive, que, com essas características, os solos de cobertura dessa faixa em estudo é afetada pelos resíduos de produção. Contudo, em ambos os casos (mineradora A e mineradora B), verifica-se que a influência da contaminação do solo pelo material particulado, que pode ser identificado pela fluorescência de raios X, atinge até 500m da área de armazenamento. Isso é de grande importância porque destaca a magnitude da contaminação da poeira do armazenamento e beneficiamento, corroborando com os dados anteriores.

No entanto, deve-se destacar que essa contaminação observada não implica que a poluição ou efeitos dos resíduos detiveram-se a apenas 500m das mineradoras. Os resíduos que se depositam no solo no entorno das mineradoras são a fração grosseira do material pulverulento. A fração mais fina, possivelmente, é carregada pelo vento podendo atingir longas distâncias.

Os difratogramas de raios X da amostra de solo regional, dos produtos beneficiados na mineradora A e na mineradora B e das faixas de solos de cobertura do entorno dessas fábricas de beneficiamento, a favor do vento, são mostradas nas Figuras 32, 33 e 34, respectivamente.

Na Figura 32, analisando os dados apresentados, observa-se qualitativamente a presença de vários minerais, dando destaque à sanidina e à albita como elementos principais, verificando-se, também, picos característicos da mica e do quartzo como parte constituinte do solo regional.

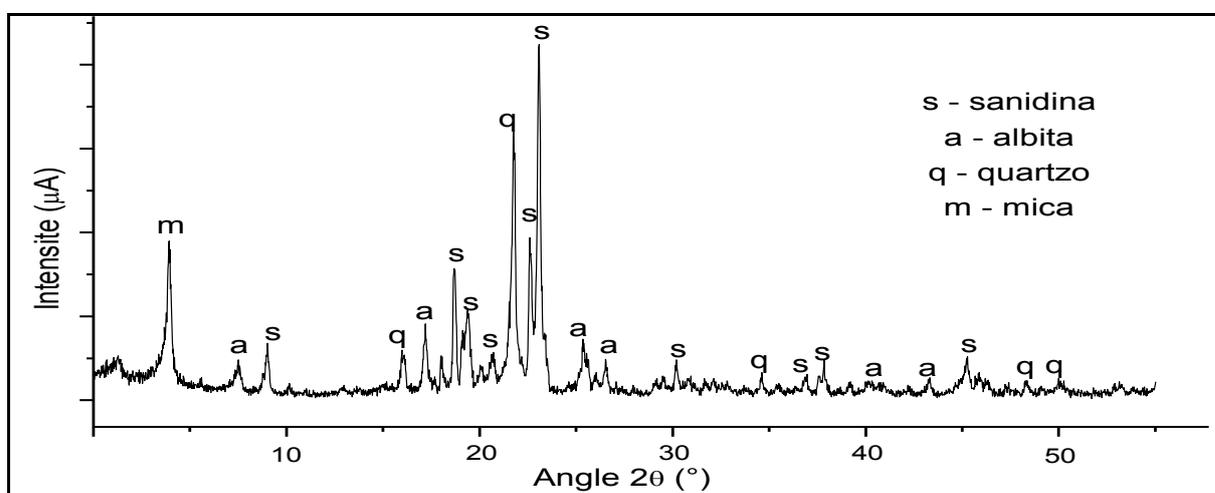


Figura 32 – Difração de raio X das amostras da mineradora A.

Na Figura 33, analisando os produtos e áreas de solo afetadas pela mineradora A, observa-se que as amostras apresentam elevados teores da sanidina e albita. No entanto, verifica-se também a presença de quartzo, mica e de um sílico-aluminato de ferro.

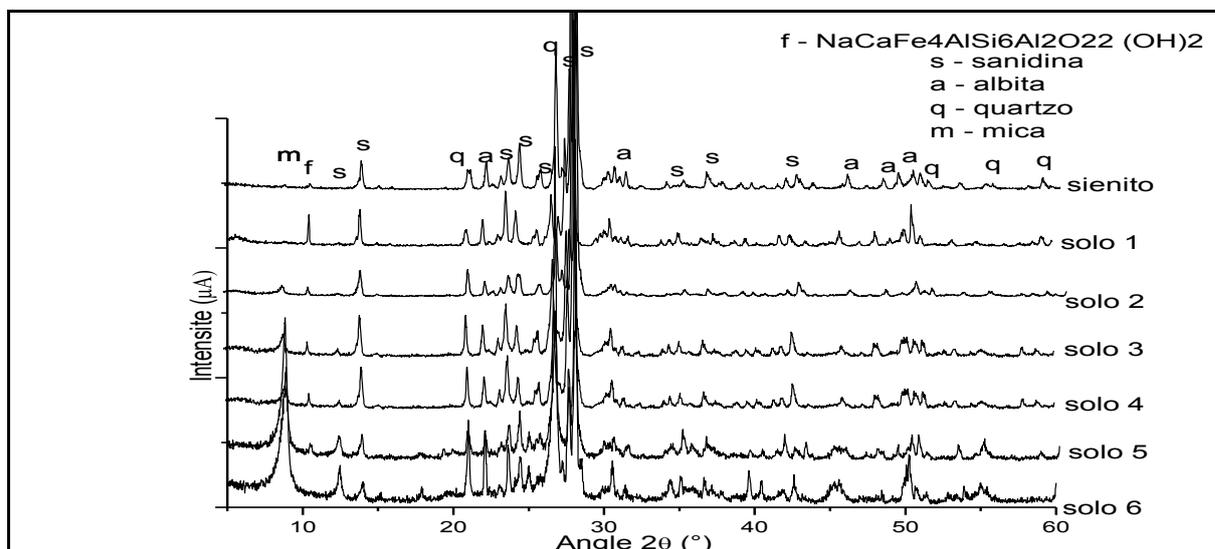


Figura 33 – Difração de raio X das amostras da mineradora A.

Através dos difratogramas de raios X, pode-se verificar também que o quartzo presente nas amostras está provavelmente relacionado ao fato da possibilidade do sienito ser um alcalis feldspato, quando o mesmo não possui em sua estrutura a nefelina nem o quartzo; nefelínico, quando a nefelina participar em mais de 10% de sua composição; ou quartziano, quando o mesmo ocorrer para o quartzo, caracterizando, assim, que o sienito em estudo é um quartzo sienito.

Em relação ao estudo do solo do entorno quando comparados ao solo regional, pode-se notar que a maior influência do material residual processado pela mineradora A se destaca até o Solo_03, tendo como característica a ausência dos picos de mica. Nos demais (Solo_04, Solo_05 e Solo_06), pode-se notar uma menor influência do material residual, tendendo às características do mesmo virem a ser da própria formação de solo da região, comprovando os dados apresentados nas Tabelas 4 e 5.

O fato dos resíduos serem constituídos basicamente por sanidina e albita mostra a excelente qualidade destes materiais como matéria prima para a produção de cerâmicas, pois a fabricação destas torna-se dependente das características químicas que apresentam esses minerais.

Por outro lado, além das alterações das características químicas e mineralógicas da cobertura de solo, os resíduos afetam também os processos fotossintéticos da vegetação nativa ou plantada atingida, modificando sua fisiologia natural de abertura e fechamento dos estômatos, bem como perda de água e nutrientes para o ambiente, evitando que a vegetação se desenvolva ou pelo menos se torne inviável para utilização animal.

Na Figura 34, pode-se observar que as amostras oriundas da mineradora B e seu entorno apresentam elevados teores da sanidina, albita, quartzo e mica. Entretanto, a presença dos picos de mica característicos do resíduo de feldspato estudado prevalecem até a faixa do Solo_02 e os demais (Solo_03, Solo_04, Solo_05 e Solo_06) tendem a manter a formação de solo regional.

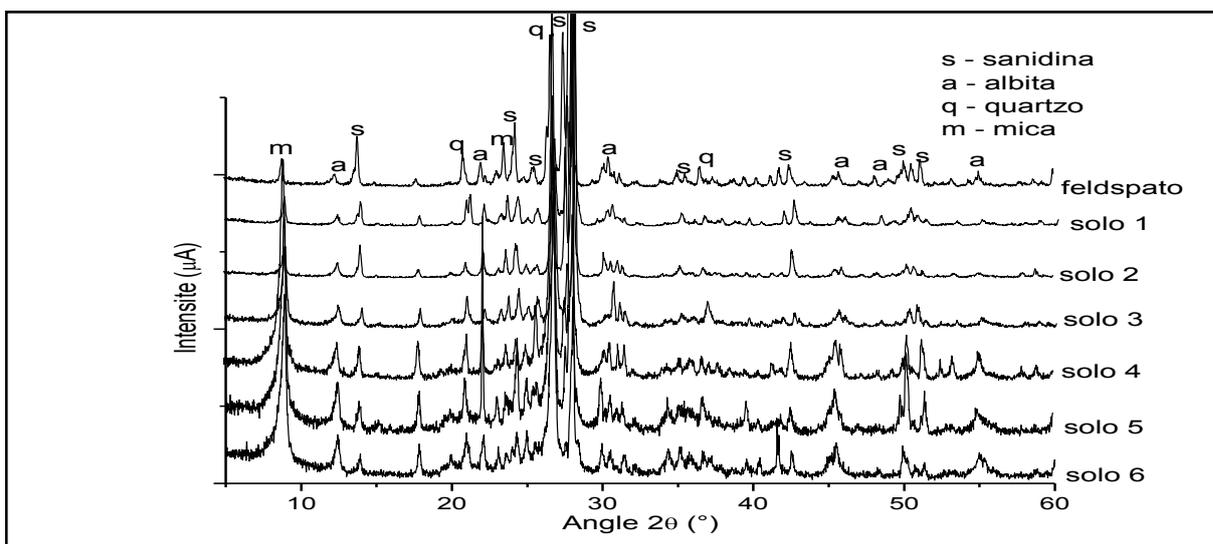


Figura 34 – Difração de raio X das amostras da mineradora B.

Pode-se observar que os dados dos difratogramas estão em acordo com as análises químicas apresentadas e reforçam o efeito dos impactos ambientais residuais dos minerais processados na área de entorno das fábricas de beneficiamento.

Analisando os valores da Tabela 6, pode-se notar que todo o material em estudo tem dimensões inferiores a 150µm e que destes, parte variando de 36,99% para o solo 1 a 70,98% para o solo_6, ficou retida na peneira com abertura de 75µm (malha 200), enquanto que o teor passante variou de 63,01% a 29,02% para os solos 1 e 6, respectivamente.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora A

Amostras	Distribuição Granulométrica (% massa)			
	< 150 μm (# 100)		< 75 μm (# 200)	
	passado	retido	passado	retido
sienito	100	0	70,09	29,91
solo 1	100	0	63,01	36,99
solo 2	100	0	57,61	42,39
solo 3	100	0	50,31	49,69
solo 4	100	0	43,55	56,45
solo 5	100	0	30,01	69,99
solo 6	100	0	29,02	70,98

A Figura 35 apresenta dados da distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora A.

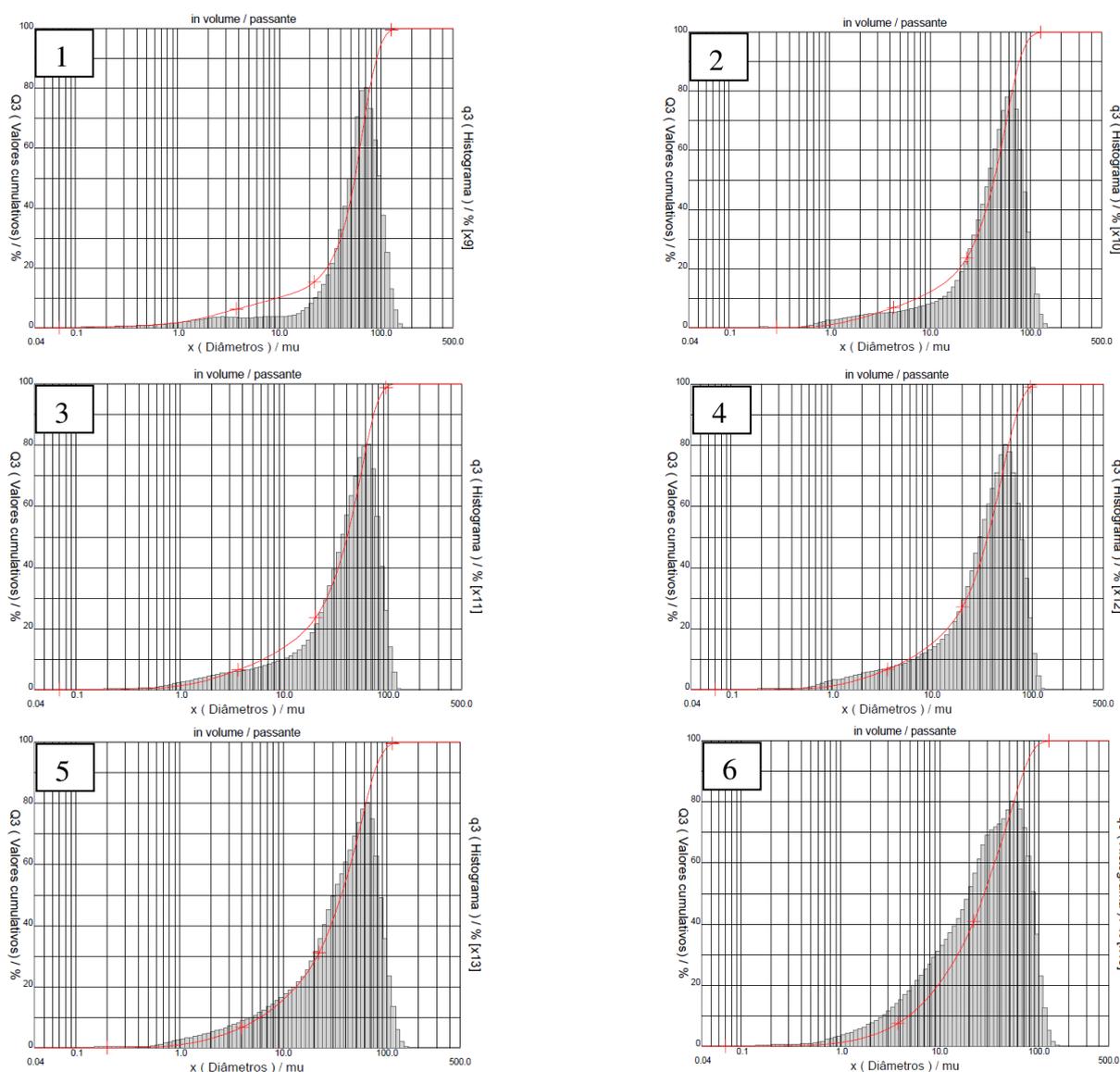


Figura 35 – Distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora A.

Os resultados apresentados foram organizados na Tabela 7 para melhor análise dos dados. O material passante na peneira com abertura de 75 μ m (malha 200) foi submetido a análise granulométrica por difração de laser e os resultados são apresentados na Figura 35 e Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora A.

Amostras	Diâmetro Médio (μm)	D₂₅ (μm)	D₄₀ (μm)	D₇₅ (μm)	D₈₅ (μm)	D₁₀₀ (μm)
sienito	55,70	39,80	51,12	75,24	87,34	140,00
solo 1	53,67	34,96	47,89	72,55	82,81	140,00
solo 2	43,39	24,17	35,94	60,96	70,13	140,00
solo 3	40,31	21,25	33,06	57,85	66,42	112,00
solo 4	37,05	18,33	29,01	53,26	62,57	112,00
solo 5	39,04	17,21	28,57	57,45	67,86	140,00
solo 6	33,39	12,23	21,41	50,02	62,09	140,00

Para os diâmetros médios, notou-se que ocorreu uma variação de 53,67 μ m para o 33,39 μ m para os solos 1 e 6, respectivamente. Com esses dados, pode-se verificar que a medida que há o afastamento da área em estudo diminui-se a granulometria do material.

Em termos de porcentagens das frações acumuladas de 25%, 40%, 75%, 85% e 100%, verificou-se que os diâmetros das amostras estudadas também diminuem à medida que se afasta da área de beneficiamento (mineradora A), podendo este fato vir a acontecer por conta do resíduo mais grosseiro se depositar nas proximidades da empresa e o mais fino ser arrastado para mais longe. Assim, apesar de haver uma menor quantidade, em termos absoluto, de resíduo nas regiões mais distantes, observa-se que este é mais fino e com maior potencial para doenças e problemas respiratórios.

Dentre as doenças respiratórias, destaca-se a silicose, que é acometida pela inalação da poeira de sílica fina, também chamada de sílica livre cristalizada, em que a mesma pode causar inflamação e cicatrização nos pulmões em humanos, como também em animais que utilizam da área afetada para pastagem.

Toda poeira de sílica fina formada por trituração ou outro tipo de ruptura mecânica, suspensa ou capaz de se manter no ar, pode originar doenças respiratórias, podendo se agravar até um câncer de pulmão, chamado de pneumoconiose.

Entre as partículas de cobertura de solo estudadas, 100% das amostras são inaláveis, partículas menores que 100 μ m capazes de penetrar pelo nariz e pela boca; 23,99% são inaláveis torácicas, partículas menores que 25 μ m que são capazes de penetrar além da laringe; e em torno de 7% são respiráveis, partículas menores que 10 μ m que são capazes de penetrar na região alveolar.

A classificação quanto ao tamanho da partícula tem importância fundamental quando se trata de poeira que contém sílica, pois a avaliação do risco de se desenvolver silicose depende da quantidade de sílica livre cristalizada inalada e depositada na região dos bronquíolos respiratórios e alvéolos pulmonares. Os fatores determinantes são: a concentração atmosférica de fração respirável e seu teor de sílica livre cristalina, duração da exposição do trabalhador e a suscetibilidade individual.

Analisando os dados da Tabela 8 pode-se notar que todo o material em estudo tem dimensões inferiores a 150 μ m e que desta parte, variando de 67,06% para o solo 1 a 89,79% para o solo 6, ficou retida na peneira com diâmetros inferiores a 75 μ m (malha 200). O teor passante variou de 32,94% a 10,21% para os solos 1 e 6, respectivamente.

Tabela 8 – Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora B.

Amostras	Distribuição Granulométrica (% massa)			
	150 μ m		75 μ m	
	passado	retido	passado	retido
Feldspato	100	0	36,12	63,88
solo 1	100	0	32,94	67,06
solo 2	100	0	28,91	71,09
solo 3	100	0	27,01	72,99
solo 4	100	0	15,92	84,08
solo 5	100	0	14,21	85,79
solo 6	100	0	10,21	89,79

O material passante na peneira com abertura de 75 μ m (malha 200) foi submetido a análise granulométrica por difração de laser e os resultados são apresentados na Figura 36 e Tabela 9. A Figura 36 apresenta valores da distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora B.

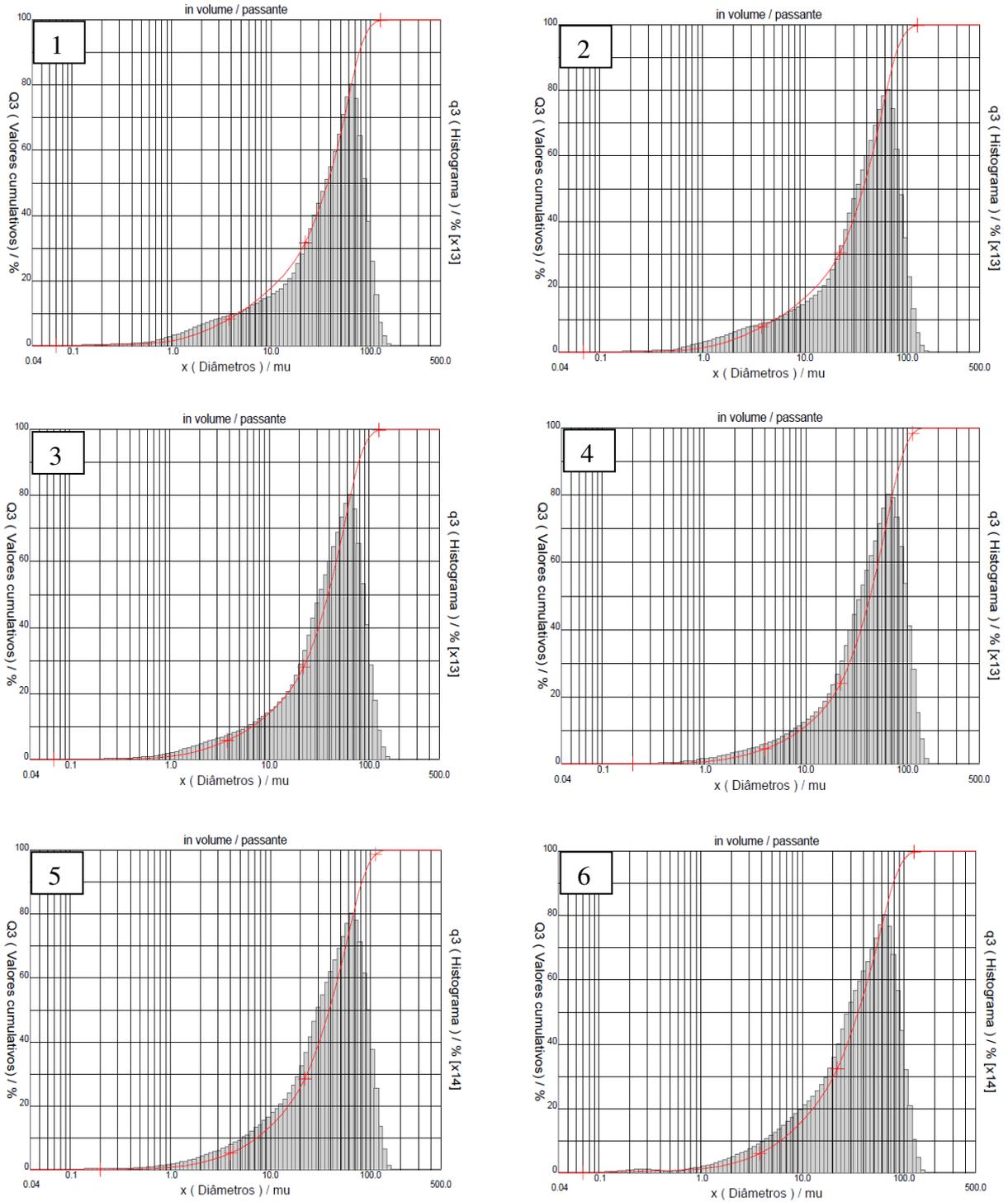


Figura 36 – Distribuição granulométrica dos solos do entorno da mineradora B.

A Tabela 9 apresenta dados da distribuição do tamanho de partículas para 25%, 40%, 75%, 85% e 100% do material passante, menor igual a 75 μ m.

Tabela 9 – Distribuição granulométrica de solos das amostras da mineradora B.

Amostras	Diâmetro Médio (μm)	D₂₅ (μm)	D₄₀ (μm)	D₇₅ (μm)	D₈₅ (μm)	D₁₀₀ (μm)
Feldspato	38,12	15,87	27,14	58,57	68,01	140,00
solo 1	39,59	16,24	28,74	59,06	69,57	140,00
solo 2	39,24	17,27	29,25	57,77	68,04	140,00
solo 3	41,44	19,51	31,07	60,01	70,80	140,00
solo 4	45,65	22,74	34,71	65,31	77,24	140,00
solo 5	42,36	19,19	30,66	61,67	73,73	140,00
solo 6	39,49	16,37	27,54	58,47	70,16	140,00

Em termos de porcentagens das frações acumuladas de 25%, 40%, 75%, 85% e 100%, inferiores teoricamente a 75 μm (#200), pode-se notar que os diâmetros das amostras estudadas têm uma variação granulométrica inferior aos da mineradora A. Nota-se, ainda, que a medida em que são analisados os materiais de solo mais distantes da área de beneficiamento, a granulometria não apresenta alterações nas frações de finos ou aumento no teor de material mais fino, ao contrário do observado ao analisar a mineradora A (Tabela 9).

O ocorrido pode estar associado ao fato do sienito ter uma granulometria mais grosseira que o feldspato e uma curva de distribuição granulométrica heterogênea com uma calda assimétrica para a região de dimensões menores. Assim, com o vento, a fração mais fina do material é arrastada para longas distâncias, observando-se um resíduo mais fino no Solo_06 que no Solo_01 ao analisar as amostras da mineradora A. Por outro lado, o feldspato já apresenta uma granulometria mais fina e sem tanta heterogeneidade na sua distribuição, o que aparentemente evitou que ocorresse o arraste de frações preferenciais do resíduo pelo vento, observando-se uma granulometria no Solo_06 semelhante a do Solo_01 ao analisar as amostras da mineradora B.

Entretanto, esse comportamento granulométrico não significa que o resíduo não seja muito fino e potencialmente danoso à saúde. Analisando o fato do material estudado ser também rico em sílica, em torno de 66,9% de SiO₂, o mesmo também pode acarretar em doenças respiratórias, mais especificamente a silicose, à população humana e animal presente, só que em menor intensidade quando comparado ao material de menor fração da mineradora A. Como já explicado em parágrafos anteriores, este tipo de doença depende diretamente do quantidade inalada, torácicas e respiráveis, fatos estes ligados diretamente à granulometria do material.

4.4 Análise das águas armazenadas em cavas de extração

Os vários processos que controlam a qualidade de um corpo d'água fazem parte de um complexo equilíbrio, motivo pelo qual qualquer alteração na bacia hidrográfica pode acarretar alterações significativas, sendo as características físicas e químicas da água indicadores da "saúde" do ecossistema terrestre, que podem ser utilizadas para o controle e o monitoramento das atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica (Bueno, Galbiatti e Borges, 2005).

De acordo com os resultados analíticos das Tabelas 10 e 11, pode-se concluir e qualificar quais as águas das cavas de armazenamento formadas pela exploração mineral se encontram dentro dos padrões de qualidade, em termos de potabilidade.

4.4.1 Análise físico-química de águas armazenadas em cavas de extração da mineradora A

Na Tabela 10, analisando os parâmetros das águas armazenadas em cavas de extração da mineradora A, tendo o sienito como matéria prima principal da exploração, pode-se notar que a mesma encontra-se fora dos padrões de qualidade e potabilidade no que se refere aos dados físico-químicos obtidos, em especial aos índices de dureza total (CaCO_3), bem como de sódio (Na^+), cloreto (Cl^-), amônia (NH_3) e sólidos solúveis totais (STD), tornando-a, assim, imprópria para o consumo. Esses mesmos valores supracitados fugiram de forma grosseira dos valores permissíveis ou recomendados, mostrando a grande influência residual do material explorado sobre as águas armazenadas.

Tabela 10 – Análises físico-química da água de cavas de extração da mineradora A.

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25° C	8.000,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,8	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	2,1	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)	15,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	224,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	454,2	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	2.452,5	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	932,8	200,0
Potássio (K^+), mg/L	20,0	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	132,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	439,0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	571,0	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	184,1	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	2.469,0	250,0
Nitrato (NO_3^-), mg/L	0,00	10,0
Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,00	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	5,35	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	22,2	---
ILS (Índice de saturação de Langelier)	1,31	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180 °C), mg/L	4.926,4	1.000,0

(*) VMP = Valor máximo permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11/MS)

Apesar do sienito, mineral extraído pela mineradora A, ser pobre em dureza total (CaCO_3), os elevados valores apresentados podem ser provenientes da região ser rica em calcário, que são minerais constituintes das rochas carbonáticas e que, através de processos de lixiviação, podem percorrer as camadas de solo e, conseqüentemente, contaminar as águas subterrâneas armazenadas.

Em relação ao alto valor de cloreto (Cl^-), o mesmo deve ocorrer pelo fato das regiões semiáridas terem um alto poder de evaporação, aumentando, assim, a concentração do mesmo nas amostras avaliadas.

A Figura 37 apresenta o mapa geológico da microrregião homogênea do Seridó paraibano, identificando os minerais presentes, sua disposição e localização.

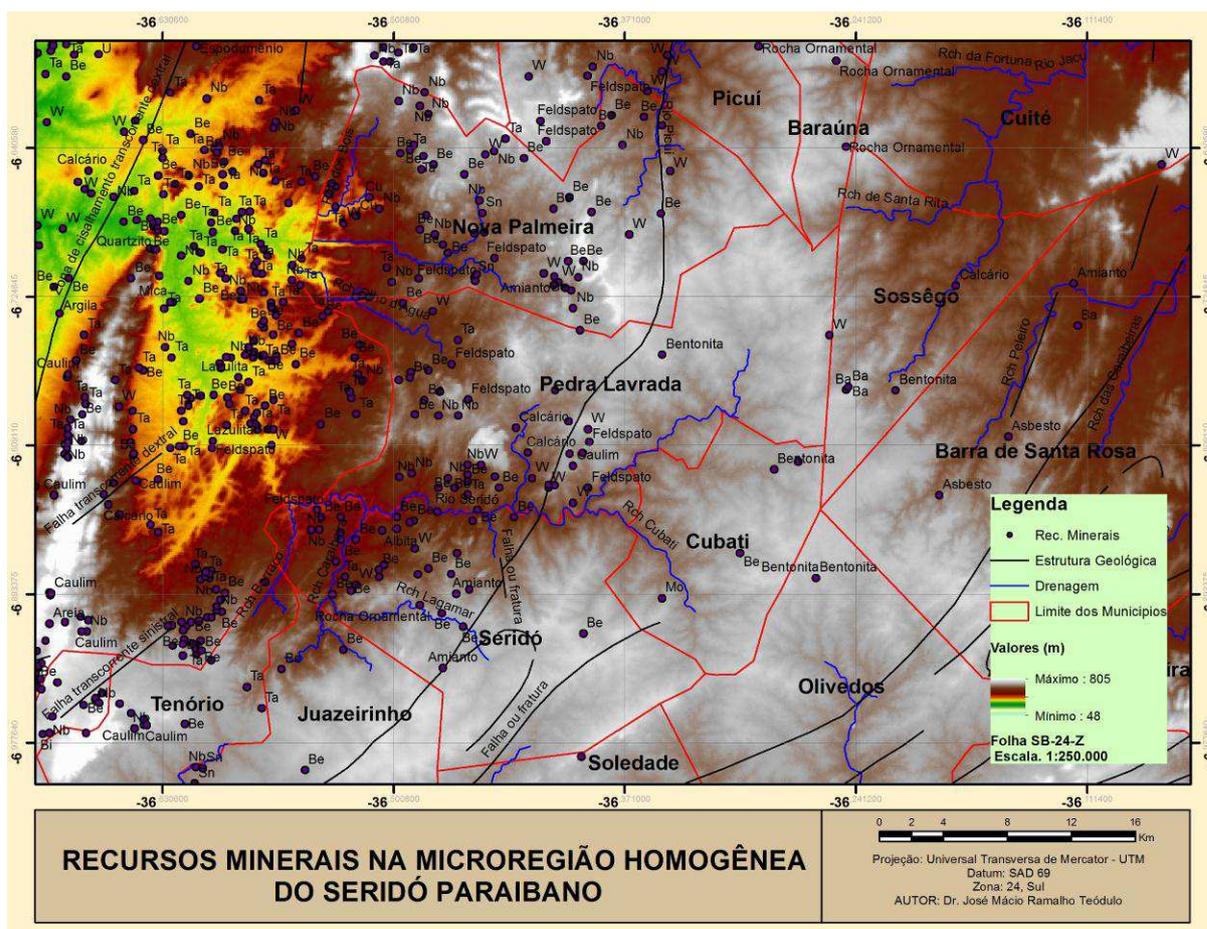


Figura 37 – Mapa geológico da microrregião homogênea do Seridó paraibano.

4.4.2 Análise físico-química de águas armazenadas em cavas de extração da mineradora B

A qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por elas percoladas. Contudo, ela pode sofrer a influência de outros fatores, tais como a composição da água de recarga, o tempo de contato água/meio físico, o clima e até mesmo a poluição causada pelas atividades humanas. Como os solutos maiores na água subterrânea são espécies carregadas positivamente e negativamente, a água deve ser eletricamente balanceada. A qualidade dos dados do laboratório pode ser avaliada através de balanço iônico, que consiste na comparação da soma das cargas positivas com a soma das cargas negativas. Entretanto, além dos erros cometidos no laboratório, as precipitações de minerais podem ocorrer no recipiente da amostra coletada, causando um desequilíbrio iônico (Deutsch, 1997 apud Gomes, 2009).

Os resultados da Tabela 11 demonstram que a água armazenada em cavas de extração, também da mineradora B, se encontra dentro dos padrões de normalidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos. As mesmas apresentam todos as variáveis dentro do valor máximo permissível ou recomendado, tornando-a, assim, passível de sua utilização, tanto pelos moradores da região bastante necessitados pela escassez de água, como também pelos animais que ali sobrevivem.

Diferentemente de outras situações estudadas, as cavas de extração que armazenam água, juntamente com os resíduos minerais, podem formar uma bacia hidráulica com fornecimento de água de qualidade e disponível o ano todo exatamente pela profundidade da exploração e, conseqüentemente, um elevado volume em um pequeno espaço de área que possibilita uma maior capacidade de armazenamento com menores perdas, especialmente pela evaporação.

Tabela 11 – Análises físico-química da água de cavas de extração da mineradora B.

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25° C	420,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,3	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	6,5	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)	100,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	2,6	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	21,5	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	96,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	55,6	200,0
Potássio (K^+), mg/L	7,5	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	85,6	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	85,6	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	9,1	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	101,5	250,0
Nitrato (NO_3^-), mg/L	0,04	10,0
Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,01	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	0,40	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	3,7	---
ILS (Índice de saturação de Langelier)	-1,83	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180 °C), mg/L	306,44	1.000,0

(*) VMP = Valor máximo permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11/MS).

Na Figura 38, pode-se ver mais detalhadamente os tipos de armazenamento provenientes da extração mineral das mineradoras em estudo, denominadas mineradora A e mineradora B, facilitando o entendimento dos dados expostos das análises físico-químicas (Tabelas 9, 10 e 11). As imagens referem-se às cavas formadas pela extração da matéria prima que abastecem as fábricas de beneficiamento A e B.

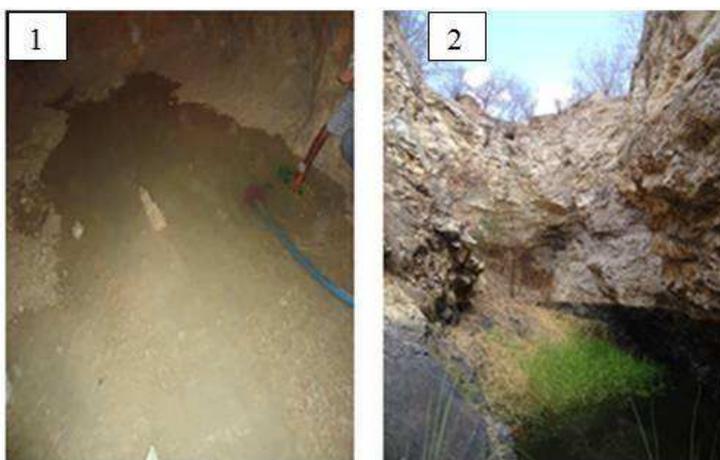


Figura 38 – (1) Águas armazenadas em cavas de extração pertencentes à mineradora A; (2) mineradora B.

5 CONCLUSÕES

1. Através dos mapas de Albedo da superfície e do Índice de Vegetação ajustado ao Solo foi observado que o entorno das Indústrias de Beneficiamento encontraram-se destacadas com valores mais elevados de albedo e mais baixos de IVAS. Já às áreas utilizadas para a extração apresentavam valores de albedo superiores a 0,301 e valores de IVAS variando entre 0 e 0,10;

2. Tanto em períodos secos como em períodos mais úmidos foi observada diminuição da cobertura vegetal em grande parte do município, sendo destacada a parte noroeste, para as imagens utilizadas, devido a intensificação das atividades antrópicas nesta região;

3. Foi observado diferenças na curva espectral dos indivíduos afetados pelos resíduos da atividade mineradora apresentando valores de reflectância mais elevados;

4. A caracterização dos materiais de cobertura de solo no entorno das fábricas de beneficiamento, mais especificamente de sienito e feldspato, mostraram que os mesmos atingiram de forma direta pela poeira residual gerada as faixas de solo, a favor do vento, de até 400m e 200m, respectivamente;

5. A composição química e mineralógica dos solos do entorno das beneficiadoras de sienito e do próprio feldspato, mostraram que os mesmos, teoricamente, são inviáveis para serem utilizados como matéria prima para produção de cerâmica branca pelo seu alto teor de ferro presente (> 2%);

6. As águas armazenadas em cava de extração a céu aberto da Mineradora B podem ser utilizadas para o consumo humano e animal bem como, para projetos de irrigação e necessidades básicas familiar;

7. O conceito cada vez mais forte de desenvolvimento sustentável faz-se necessário para um programa eficiente de disposição de resíduos gerados por parte da mineração, pois de uma forma geral, precisa-se fazer uso dos bens minerais, porém, precisamos proporcionar um meio ambiente adequado para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10006**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14001**: sistemas da gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

ACCIOLY, L. J. O.; PACHÊCO, A.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 492-498, 2002.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Monitoramento da precipitação**. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/medicaoPluviometrica.do?metodo=chuvasDiariasMpa>>. Acesso em: 10 out. 2014.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**: Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0. Idaho: IDWR, 2002.

ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 3855-3862, 2001.

ASNER, G. P.; WESSMAN, C. A.; BATESON, C. A.; PRIVETTE, J. L. Impact of Tissue, Canopy, and Landscape Factors on the Hyperspectral Reflectance Variability of Arid Ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 69-84, 2000.

ASSIS, H. F. S.; BARBOSA, J. A. A.; MOTA, T. S. Avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada – PB. **Âmbito Jurídico**, v. 14, p. 1-17, 2011.

AYOADE, J. O.; OYEBANDE, B. C. Water Resources. In: OGUNTOYINBO, J. S.; AREOLA, O.; FILANI, M. O. (Eds.). **A Geography of Nigerian Development**. Ibadan: Heinemann Educational Books, 1983. p. 71-88.

AZEVEDO, P. V.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUSA, I. F.; MACIEL, G. F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 5, p. 403-410, 1990.

BALBINO, D. P.; FREITAS, L. S.; MAIA, P. B. A. Aplicação das dimensões do desenvolvimento sustentável nas cidades de Junco do Seridó e Pedra Lavrada – PB. In: 6º Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande (Brasil), 2009.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL: based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

BAYCU, G.; TOLUNAY, D.; OZDEN, H.; GÜNEBAKAN, S. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn and Ni concentration in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. **Environmental Pollution**, v. 143, p. 545-554, 2006.

BEHUM, P. T. **Application of LIDAR Imagery in AML Reclamation**: Case Example – Design of an AMD Passive Treatment System at the Rock Island No. 7 Airshaft, Oklahoma. Atlanta: Advanced Integration of Geospatial Technologies in Mining and Reclamation, 2004.

BLAD, B. L.; BAKER, D. G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, v. 64, p. 277-280, 1972.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 329-343, 2002.

BOGGIONE, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat -7**. 2003. 160f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos-São Paulo.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mineração no semiárido brasileiro**. Brasília, DF: DNPM, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil: uso do subsolo**. Brasília, DF: CPRM, 2012.

BSAIBES, A.; COURAULT, D.; BARET, F.; WEISS, M.; OLIOSO, A.; JACOB, F.; HAGOLLE, O.; MARLOIE, O.; BERTRAND, N.; DESFOND, V.; KZEMIPOUR, F. Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 716-729, 2009.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde, Conchal, São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 742-748, 2005.

CALLISTO, M.; GONÇALVES JR., J. F.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. In: GOULART, E. M. A. (Ed.). **Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p. 555-567.

CASAS, A.; RIAÑO, D.; USTIN, S. L.; DENNISON, P.; SALAS, J. Estimation of water-related biochemical and biophysical vegetation properties using multitemporal airborne hyperspectral data and its comparison to MODIS spectral response. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 28-41, 2014.

CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GRÉGOIRE, J. M. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 22-33, 2001.

CHAN, L. C.; RAU, J. Y. Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images. **Internacional Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3383-3398, 1998.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, p. 2674-2677, 2003.

CHANDRAPALA, L.; WIMALASUIYA, M. Satellite Measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka. **Agricultural Water Management**, v. 58, p. 89-107, 2003.

CHARNEY, J. G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 101, p. 193-208, 1975.

CHITADE, A. Z.; KATYAR, S. K. Impact analysis of open cast coal mines on land use/ land cover using remote sensing and GIS technique: a case study. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 2, p. 7171-7176, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

COSTA, A. S.; SOUZA JR., C. M. Comparação entre imagens Landsat ETM+ e MODIS/TERRA para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo Acre. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, p. 93-102, 2005.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/janeiro2014>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

ELACHI, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. New York: Wiley, 1987.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial – LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>>. Acesso em: 15 maio 2012.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 445-454, 1996.

FADHIL, A. M. Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq. **Journal of Al Nahrain University-Science**, v. 12, p. 94-108, 2009.

IORE, F. A.; RUTKOWSKI, E. W. Resíduos sólidos no Brasil: afinal o que são? **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, p. 101-122, 2013.

FIRMINO, J. L. N. LIMA, E. A.; GOMES FILHO, M. F.; ARAÚJO, P. C. Identificação de impactos ambientais através da análise comparativa do índice de vegetação derivado do satélite Landsat - 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 17-22, 2009.

GASPARINI, K. A. C.; LYRA, G. B.; FRANCELINO, M. R.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; FACCO, A. G. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 296-306, 2013.

GIONGO, P. R. **Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFPE, Recife-Pernambuco.

GOMES, H. B. **Balances de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 108f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-Paraíba.

GOMES, L. C. F. **Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 2011. 71f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-Paraíba.

GUIMARÃES, H. B.; BRAGA, R. A. P.; OLIVEIRA, T. H. Evolução espaço temporal das matas tuteladas ao Exército Brasileiro na Região Metropolitana do Recife através de imagens TM LANDSAT. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 362-373, 2012a.

GUIMARÃES, H. B.; BRAGA, R. A. P.; OLIVEIRA, T. H. Evolução da condição ambiental em fragmentos de mata atlântica na região metropolitana do Recife PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 306-314, 2012b.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v. 4, p. 367-376, 1988.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 5. ed. Brasília, DF, 2012.

IPPOLITI-RAMILO, G. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; SHIMABUKURO, Y. E. Landsat-5 Thematic mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 1521-1534, 2003.

JACKSON, T. J.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C.; DORIASWAMY, P.; HUNT, E. R. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 475-482, 2004.

JCPDS - Joint Committee on Powder Diffraction Standards; ICDD - International Center for Diffraction Data. **Alphabetical Indexes, Powder Diffraction File, Sets 1-52**. Pennsylvania: JCPDS/ICDD, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva e recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KHALIFA, I. H.; ARNOUS, M. O. Assessment of hazardous mine waste transport in west central Sinai, using remote sensing and GIS approaches: a case study of Um Bogma area. **Egypt Arabian Journal of Geosciences**, v. 5, p. 407-420, 2012.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente**: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2000.

LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balanco de radiação e energia numa cultura de soja irrigada**. 1989. 111f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Campina Grande-Paraíba.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 214-218, 2000.

LIANG, S. Narrow band to broad band conversions of land surface albedo Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.

LIMA, H. C. **A trajetória do setor mineral no município de Pedra Lavrada – PB**: uma análise das ações públicas para pensar o desenvolvimento. 2013. 127f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campina Grande-Paraíba.

LIPPERT, D. B.; BENEDETTI, A. C. P.; PEREIRA, R. S.; MUNIZ, M. F. B. Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*. In: 14º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal (Brasil), 2009.

LIU, H. Q.; HUETE, A. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, p. 457-465, 1995.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; TAVARES JÚNIOR, J. R. Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida-PE. In: 12^o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia (Brasil), 2005.

LYAPUSTIN, A.; WANG, Y.; KAHN, R.; XIONG, J.; IGNATOV, A.; WOLFE, R.; WU, A. HOLBEN, B.; BRUEGGE C. Analysis of MODIS-MISR calibration differences using surface albedo around AERONET sites and cloud reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, p. 12-21, 2007.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. 2004. 313f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos-São Paulo.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 517-523, 1987.

MARTIN, H. C.; SANTOS, V. M. L. Avaliação de impactos ambientais em empresa de mineração de cobre utilizando redes de interação. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v. 17, p. 3246-3257, 2013.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índices de Sustentabilidade do Brasil e dos Municípios do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SEBRAE, 2008.

MECHI, A; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, p. 209-220, 2010.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 303-313, 2002.

MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **Internacional Journal of Remote Sensing**, v. 8, p. 1807-1827, 1987.

MINNIS, P.; MAYOR, S.; SMITH, W. L.; YOUNG, D. F. Asymmetry in the diurnal variation of surface albedo. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 35, p. 879-891, 1997.

MOLLER-JENSEN, L. Classification of urban land cover based on expert systems, object models and texture. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 21, p. 291-302, 1997.

MOORE, T. S.; DOWELL, M. D.; BRADT, S.; VERDU, A. R. An optical water type framework for selecting and blending retrievals from bio-optical algorithms in lakes and coastal waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 143, p. 97-111, 2014.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 61-66, 2007.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da poluição atmosférica e a vegetação arbórea na cidade de São Paulo**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Agricultura). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo-USP, Piracicaba-São Paulo.

NAYAK, S. Use of satellite data in coastal mapping. **Indian Cartographer**, v. 22, p. 147-156, 2002.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgar Blucher, 2008.

ODUM, H. T.; ODUM, E. C. **A prospero us way down: principles and policies**. Colorado: University Press of Colorado, 2001.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. Nova Iorque; Londres: Methuen, 1987.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transtec, 2001.

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife PE**. 2012. 154f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife-Pernambuco.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do Albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 55-69, 2010.

PAINTER, T. H.; RITTGER, K.; MCKENZIE, C.; SLAUGHTER, P.; DAVIS, R. E.; DOZIER, J. Retrieval of subpixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 868-879, 2009.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A. Conflitos socioambientais: estudo de caso em uma pedreira na Paraíba. **Polêmica**, v. 12, 2013. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/8021/5864>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

PIUZANA, D.; ALVARENGA, A. A. Reaproveitamento de rejeito de mineração em São Sebastião das Águas Claras – MG: a produção do Pavieco. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-17, 2011.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Orgs.). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB, 2001. p. 63-119.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Silva e Vieira, 2007.

PREFEITURA DO RECIFE. **ESIG (Sistema de Informações Geográficas)**. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>>. Acesso em: 12 abr. 2014

PRIMO, D. C.; VAZ, L. M. S. Degradação e perturbação ambiental em matas ciliares: estudo de caso do rio Itapicuru-açu em Ponto Novo e Filadélfia Bahia. **Diálogos & Ciência**, v. 4, p. 1-11, 2006.

QUADROS, C. **Avaliação ambiental simplificada de diferentes atividades agrícolas, estudo de caso no município de Paulo Lopes, SC**. 2009. 71f. Relatório de Estágio de Conclusão do Curso (Graduação em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis-Santa Catarina.

RIAZA, A.; MUELLER, A. Hyperspectral remote sensing monitoring of pyrite mine wastes: a record of climate variability (Pyrite Belt, Spain). **Environmental Earth Sciences**, v. 61, p. 575-594, 2010.

ROBINOVE, C. J.; CHAVEZ JR., P. S.; GEHRING, D. G.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo difference Images. **Remote Sensing of Environment**, v. 11, p. 133-156, 1981.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 452-465, 2009.

ROMÁN, M. O.; SCHAAF, C. B.; WOODCOCK, C. E.; STRAHLER, A. H.; YANG, X.; BRASWELL, R. H.; CURTIS, P. S.; DAVIS, K. J.; DRAGONI, D.; GOULDEN, M. L.; GU, L.; HOLLINGER, D. Y.; KOLB, T. E.; MEYERS, T. P.; MUNGER, J. W.; PRIVETTE, J. L.; RICHARDSON, A. D.; WILSON, T. B.; WOFSY, S. C. The MODIS (Collection V005) BRDF/albedo product: assessment of spatial representativeness over forested landscapes. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2476-2498, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2003.

ROUSE JR., J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Texas: Remote Sensing Center; Texas A&M University; College Station, 1973.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de áreas de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/04. **Revista de Economia Agrícola**, v. 52, p. 21-39, 2005.

RUHOFF, A. L.; SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W. Análise multivariada do processo de evapotranspiração em áreas de cerrado e cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, p. 137-146, 2009.

SAMPAIO, J. A. **Comunicação técnica elaborada para o livro Rochas Minerais Industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais**. São José dos Campos: INPE, 2004.

SCHAAF, C. B.; WANG, Z.; STRAHLER, A. H. Commentary on Wang and Zender - MODIS snow albedo bias at high solar zenith angles relative to theory and to in situ observations in Greenland. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1296-1300, 2011.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing Models and Methods for Image Processing**. London: Academic Press, 1997.

SHANG, J.; MORRIS, B.; HOWARTH, P.; LÉVESQUE, J.; STAENZ, K.; NEVILLE, B. Mapping mine tailing surface mineralogy using hyperspectral remote sensing. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 35, p. 126-141, 2009.

SILVA, A. J. G.; SANSEVERINO, A. M.; QUITETE, C. P. B.; CARVALHO, A. C. S. M. **Método de preparo de catalisadores para produção de álcoois a partir de gás de síntese**. 13 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/WO2013185188A1?cl=pt>>. Acesso em: 4 abr. 2015.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C.; BRAGA, A. C.; SILVA, S. T. A. Obtenção do albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa em Petrolina e vizinhanças com imagem Landsat 7 – ETM+. In: 3º Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracajú (Brasil), 2006.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 145-152, 2011.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, p. 201-211, 2005.

SILVA, E. **Avaliação de impactos ambientais**. Viçosa: UFV/DEF, 2001.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, v. 1, 2007. Disponível em: <<http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Variabilidade espaço temporal do Albedo da superfície no semiárido pernambucano com base em imagens do TM/Landsat 5. In: 16º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Iguaçú (Brasil), 2013.

SIMARD, M. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2131-2144, 2008.

SOUZA JR., C. M.; SIQUEIRA, J. V.; SALES, M. H.; FONSECA, A. V.; RIBEIRO, J. G.; NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; BARBER, C. P.; ROBERTS, D. A.; BARLOW, J. Ten-Year Landsat Classification of Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, p. 5493-5513, 2013.

SOUZA, L. C. D.; CARVALHO, M. A. C.; CORRÊA, B. S.; SILVA, M. P. Consequências da atividade garimpeira nas margens do Rio Peixoto de Azevedo no perímetro urbano do município de Peixoto de Azevedo – MT. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 220-231, 2008.

SCHOWENGERDT, R. A. **Spectral Transforms in: Remote Sensing - Models and Methods for Image Processing**. London: Academic Press, 1997.

TEILLET, P. M.; REN, X. Spectral band difference effects on vegetation indices derived from multiple satellite sensor data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 34, p. 159-173, 2008.

TRINDADE, A. O.; OLIVEIRA NETO, R.; FLECK, A. B.; SOUZA, L. E.; SOARES, L. O. Estudo e caracterização para reaproveitamento dos rejeitos remanescentes da mineração de cobre das Minas do Camaquã, Caçapava do Sul. In: 5º Salão de Ensino, Pesquisa e Extensão. Bage (Brasil), 2013.

USGS - United States Geological Survey. **Maps, imagery, and publications**. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991.

VIGANO, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem ASTER. In: 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba (Brasil), 2011.

WENDER, A. A.; BALDO, B. B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico - Parte II. **Cerâmica Industrial**, v. 3, p. 34-36, 1998.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E.; GERBERMANN, A. H. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 105-119, 1991.

WOLDAI, T.; TARANIK, J. Environmental Impact Assessment of Mining Related Dewatering Activities using Integrated InSAR, Optical Remote Sensing and Pumping Data. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, p. 191-198, 2008.

XIAN, G.; HOMER, C.; FRY, J. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 1133-1147, 2009.

XU, W.; WOOSTER, M. J.; GRIMMOND, C. S. B. Modelling of urban sensible heat flux at multiple spatial scales: a demonstration using airborne hyperspectral imagery of Shanghai and a temperature–emissivity separation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3493-3510, 2008.

YEBRA, M.; DENNISON, P. E.; CHUVIECO, E.; RIAÑO, D.; ZYLSTRA, P.; HUNT JR., E. R.; DANSON, F. M.; QI, Y.; JURDAO, S. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. **Remote Sensing of Environment**, v. 136, p. 455-468, 2013.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, p. 608-614, 2013.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. C. F.; GAO, F.; REED, B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.

ZHANG, Z. X.; ZHANG, H. Y.; ZHOU, D. W. Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 386-393, 2010.