



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/G**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG**



**JAQUELINE RODRIGUES DOS PASSOS**

**CARCATERIZAÇÃO DAS LINHAS DE PEDRA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO BANANAS GUARAPUAVA - PARANÁ**

**GUARAPUAVA**  
**2014**

JAQUELINE RODRIGUES DOS PASSOS

**CARCATERIZAÇÃO DAS LINHAS DE PEDRA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO BANANAS GUARAPUAVA - PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia (Área de Concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos. Linha: Dinâmica da Paisagem, Geomorfologia e Análise Ambiental).

**Orientador:** Prof. Dr. Maurício Camargo Filho

**Co-orientador:** Prof. Dr. Mauro Parolin

GUARAPUAVA  
2014

Catálogo na Publicação

Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

P289c Passos, Jaqueline Rodrigues dos  
Caracterização das linhas de pedra na Bacia Hidrográfica do Rio Bananas Guarapuava - Paraná / Jaqueline Rodrigues dos Passos. – – Guarapuava, 2014  
xii, 184 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Dinâmica da Paisagem, Geomorfologia e Análise Ambiental, 2014

Orientador: Maurício Camargo Filho  
Co-orientador: Mauro Parolin  
Banca examinadora: Maurício Camargo Filho, Luiz Gilberto Bertotti, Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

Bibliografia

1. Geografia. 2. Paleoambiente. 3. Linha de Pedra - Geografia. 4. Quaternário. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CDD 551.48

## TERMO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/G  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG



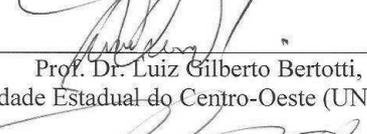
### TERMO DE APROVAÇÃO

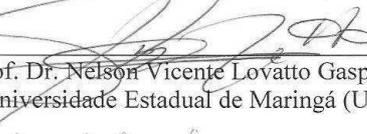
**JAQUELINE RODRIGUES DOS PASSOS**

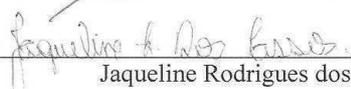
CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAS DE PEDRA EM AFLORAMENTO, NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO BANANAS – GUARAPUAVA – PR

Dissertação **APROVADA** em 29/08/2014 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela seguinte banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Maurício Camargo Filho – presidente  
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Gilberto Bertotti,  
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto  
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

  
\_\_\_\_\_  
Jaqueline Rodrigues dos Passos

Guarapuava (PR), 29 de agosto de 2014.

Guarapuava, 25/07/2014.

*“Lutar não significa vencer,  
Mas todos que venceram um dia lutaram.”*  
Autor desconhecido

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de uma pesquisa possui fases em que o trabalho é realizado em grupo e fases nas quais o trabalho é solitário. E apesar de várias dificuldades, foi graças à colaboração dessas pessoas, que se tornou possível o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Primeiramente, agradeço ao professor Dr. Mauricio Camargo Filho que orientou toda a caminhada ao longo do desenvolvimento deste trabalho, com todo incentivo e apoio científico e pela compreensão das dificuldades externas à pesquisa.

Agradeço também ao professor co-orientador, Mauro Parolin, que contribuiu de modo significativo com desenvolvimento dessa pesquisa. Da mesma forma, a toda equipe do Laboratório de Estudos Paleoambientais - LEPAFE da FECILCAM - Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão, hoje UNESPAR Universidade Estadual do Paraná; pela paciência e apoio em todas as etapas do trabalho com os fitólitos: João Cláudio Alcantara, Janaína da Silva Rossi, Dandara Carlessi do Nascimento, Maísa Jordana Kaust, Daiany Colavite, Mayra Stevanato, Mayara dos Reis Monteiro e Giliane Gessica Rasbold.

A minha mãe, Silvana Rodrigues Pereira, que sempre colaborou com tudo o que estava ao seu alcance para que eu pudesse permanecer no mestrado tanto financeira quanto emocionalmente. As minhas irmãs, Joyce Rodrigues dos Passos e Jessica Rodrigues dos Passos, que foram companheiras em todos os campos e parceiras em todas as dificuldades ao longo deste mestrado.

Ao meu companheiro, Kleber Lucas da Silva, que acompanhou todos os campos, atividades de laboratório, as angústias, o medo, o desespero, o mau humor e a ausência, o meu “muito obrigada”. Graças ao seu apoio que este trabalho foi concretizado.

O meu “muito obrigada” a minha avó Lindaura, tia Solange, tia Simone e tio Maurício pela ajuda financeira que foi fundamental no momento que estava sem bolsa. Ao professor Luiz Carlos Ruiz Pessenda e a toda sua equipe, que além de disponibilizar o laboratório  $^{14}\text{C}$ , teve paciência em ensinar os métodos e técnicas de datação e isótopos estáveis, colaborando em todos os estágios da pesquisa.

Aos colegas que mesmo em dias de chuva estavam em campo comigo, a ajuda de vocês foi fundamental Rafael Castro, Josiane Manchur e João Bruner Silva.

À Capes, pela concessão de bolsa, em parte do mestrado, possibilitando o desenvolvimento principalmente metodológico desta pesquisa.

## RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo reconhecer a gênese das Linhas de Pedra, no afloramento Lajeadozinho na Bacia Hidrográfica do Rio Bananas, no município de Guarapuava – Paraná. Essas feições são caracterizadas pela organização em Linha de fragmentos de rocha e solo em subsuperfície. Comumente denominadas de Linhas de Pedra (LP), elas têm sido objeto de investigação de inúmeros pesquisadores, os quais formularam diversas teorias para explicar a origem dessas feições. Dentre essas teorias as mais conhecidas e aceitas envolvem mudanças climáticas, remoção por térmitas e resíduos do intemperismo sobre a rocha. Desse modo, o emprego de metodologias como fitólitos,  $\delta^{13}\text{C}$  %, datação de humina  $^{14}\text{C}$ , granulometria, matéria orgânica e morfoscopia de fragmentos, possibilitou reconhecer a origem da Linha de Pedra estudada. Datações efetuadas abaixo da LP indicam que o material tem 15,05Ka AP ( $\pm 29$ ) enquanto o material que sobrepõe esta feição o  $^{14}\text{C}$  indicou uma idade de 6,8Ka ( $5950 \pm 21$ ). A disposição temporal, os dados de  $\delta^{13}\text{C}$ %, fitólitos e demais resultados permitiu elaborar hipótese sobre a procedência da Linha de Pedra no afloramento Lajeadozinho, a qual teve origem autóctone, ou seja, chegou-se à conclusão de que ela é formada por resíduo do intemperismo da rocha matriz.

**PALAVRAS-CHAVE:** Paleoambiente; Linha de Pedra; Quaternário.

## ABSTRACT

This research aimed to recognize the genesis of the Stone Lines, in outcrops Lajeado, in the River Basin Bananas in Guarapuava - Paraná. These features are characterized by the organization in Line of fragments of rock and subsoil. Becoming an object of study for environmental researchers who formulated theories, the most accepted involve climate changes, removal by termites and leavings of the weathering on the rock. Thus, by employing methodologies such as phytoliths,  $\delta^{13}\text{C}$  %, dating humin $^{14}\text{C}$ , grain size, organic matter and shape of fragments. What enabled recognize down the Line of Stone at a depth of 1.40m the age of the material is 18Ka AP ( $15054 \pm 29$ ), and up 0.80m of depth the age was 6.8 Ka AP ( $5950 \pm 21$ ). Furthermore, the results of  $\delta^{13}\text{C}$  % indicated mixing between  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants with a predominance of grasses, the phytoliths, on the other hand, had just concentration on Stone Line (1.10m - 1.30m) and up to it, jointly with the other results it enabled to elaborate hypothesis about the origin of the Stone Line in the outcrop Lajeado, which had autochthonous origin, in other words, it is residue from weathering of the mother rock.

**KEYWORDS:** Paleoenvironment; Stone Line; Quaternary.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da área de estudo.....	14
<b>Figura 2</b> - Objeto de pesquisa.....	15
<b>Figura 3</b> - Localização no município de Guarapuava, e a forma da encosta que apresenta o Afloramento com Linha de Pedra (ALP). ....	10
<b>Figura 4</b> - Média de temperatura anual em Guarapuava – PR. ....	12
<b>Figura 5</b> - Média anual de precipitação em Guarapuava – PR.....	13
<b>Figura 6</b> - Esquema básico de evolução das vertentes. ....	16
<b>Figura 7</b> - Evolução na temperatura média na superfície terrestre e as glaciações continentais.....	18
<b>Figura 8</b> - Ciclos astronômicos que interferem no clima. ....	19
<b>Figura 9</b> - Valores isotópicos para as plantas C3, C4 e CAM.....	23
<b>Figura 10</b> - Linha de pedra no afloramento da bacia do Rio Bananas, (15/05/2012).....	25
<b>Figura 11</b> - Afloramento expondo a decomposição esferoidal em rochas basálticas.....	35
<b>Figura 12</b> - Vista geral do Afloramento Lajeado com a Linha de Pedra.....	39
<b>Figura 13</b> - Procedimentos para coleta de amostras. ....	40
<b>Figura 14</b> - Preparação das amostras para análise de isótopos estáveis (12C, 13C). ....	46
<b>Figura 15</b> - Extração da humina. ....	47
<b>Figura 16</b> - Esquema do Afloramento Lajeado indicando as unidades encontradas e a Linha de Pedra.....	50
<b>Figura 17</b> - Vista parcial do afloramento; destaque para os pontos de coleta de amostras e distribuição granulométrica ao longo das unidades identificadas no afloramento.....	51
<b>Figura 18</b> - Vista parcial do afloramento Lajeado e distribuição granulométrica da base ao topo do afloramento. ....	52
<b>Figura 19</b> - Diagrama triangular com resultado da textura de todas as amostras,.....	53
<b>Figura 20</b> - Amostras classificadas segundo a esfericidade e grau de arredondamento.....	54
<b>Figura 21</b> - Fragmentos encontrados na linha de pedra.....	54
<b>Figura 22</b> - Vista parcial do afloramento Lajeado e gráfico com os resultados obtidos.....	58
<b>Figura 23</b> - Principais formas de fitólitos encontrados.....	60
<b>Figura 24</b> - Afloramento, fitodiagrama com as formas fitólitos e índices fitolíticos. ....	63
<b>Figura 25</b> - Esquema de evolução do afloramento para formação da Linha de Pedra. ....	65

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Padrão de Produção de Fitólitos. ....	21
<b>Quadro 2</b> - Hipóteses para a origem das Linhas de Pedra.....	28
<b>Quadro 3</b> - Características descritivas e genéticas do termo colúvio segundo diversos autores.....	30
<b>Quadro 4</b> - Localização e identificação das amostras destinadas à datação por 14C.....	57
<b>Quadro 5</b> - Resultados $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰ } / \text{C} - \text{total} / \text{Humina } 14\text{C}$ afloramento Lajeado. ....	59

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>14</b>
1.1 Localização da área de estudo .....	14
1.2 Descrição Geológica e Geomorfológica .....	10
1.3 Vegetação e Clima.....	11
<b>2. QUATERNÁRIO E OS INDICADORES PALEOAMBIENTAIS.....</b>	<b>14</b>
2.1 As Glaciações Quaternárias.....	17
2.2 Indicadores de mudanças climáticas.....	19
2.2.1 Fitólitos.....	20
2.2.2 Isótopos estáveis ( $C^{12}$ e $C^{13}$ ) e datação $C^{14}$ .....	22
2.3 Hipóteses para a formação das linhas de pedra .....	24
2.3.1 Colúvio: como hipótese para a formação das Linhas de Pedra. ....	29
2.4 Dinâmicas de Superfície: Intemperismo, regolito, manto de intemperismo e transporte.....	32
<b>3. MÉTODO DE TRABALHO .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Trabalhos de campo .....</b>	<b>38</b>
3.1.1 Seção sistemática .....	38
3.1.2 Coleta de amostras deformadas .....	39
<b>3.2 Análises Laboratoriais .....</b>	<b>41</b>
3.2.1 Análise Granulométrica.....	41
3.2.2 Grau de Arredondamento, Esfericidade e Rugosidade.....	42
3.2.3 Fitólitos.....	43
3.2.5 Análise de Isótopos Estáveis de Carbono $\delta^{13}C$ .....	45
3.2.6 Datação de Humina com $^{14}C$ .....	46
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Afloramento Lajeado.....</b>	<b>49</b>

<b>4.2 Granulometria .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Grau de arredondamento, esfericidade e rugosidade .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4 Datação .....</b>	<b>56</b>
<b>4.5 Resultados de isótopos estáveis carbono.....</b>	<b>57</b>
<b>4.6 Fitólitos .....</b>	<b>60</b>
<b>7 Fases encontradas no afloramento.....</b>	<b>64</b>
4.7.1 Fase I.....	64
4.7.2 Fase II.....	65
4.7.3 Fase III.....	66
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>75</b>

## INTRODUÇÃO

As Linhas de Pedra são feições abundantes em vários afloramentos de solo no município de Guarapuava. Caracterizam-se por uma linha composta por fragmentos de rocha e minerais entremeando unidades de solo. Essas feições são relativamente comuns no município de Guarapuava.

Várias são as explicações encontradas na bibliografia para a formação das Linhas de Pedra, que envolvem tanto as mudanças quanto as alterações climáticas, alternando épocas secas com épocas úmidas; as quais seriam responsáveis pela modificação da superfície terrestre transformando a vegetação e a dinâmica de formação e remoção do solo. Portanto, os processos que ocorrem na mudança de um sistema para outro originam formações como os colúvios que estariam relacionados à formação das Linhas de Pedra.

Outras explicações para a origem das Linhas de Pedra incluem a mobilização feita por cupins e outros insetos que realizariam a organização das unidades de solo. Outras relatam que as Linhas de Pedra estão relacionadas à formação do solo através do intemperismo, considerando que e as linhas seriam remanescentes do material original que não foi totalmente alterado pelo intemperismo, ficando deste modo exposto no perfil em forma de linha. Percebe-se deste modo que através das décadas de pesquisa surgiram várias explicações para origem dessas linhas, tornando está pesquisa significativa para reconhecimento do significado paleoambiental das Linhas de Pedra em Guarapuava.

O debate existente a respeito das origens dessas feições é acalorado, mas não há consenso sobre a origem delas, o que justifica a importância deste trabalho. O que se tem observado na literatura é que existe uma tendência dos pesquisadores considerarem as linhas de pedra de Guarapuava como de origem climática. Para que fosse possível dirimir ou ao menos reduzir as dúvidas a respeito da origem dessas feições, foi eleita uma Linha de Pedra localizada no afloramento Lajeado, situada na bacia hidrográfica do rio Bananas no município citado. Essa Linha de Pedra é considerada, no presente trabalho, como referência das demais encontradas no município. A opção por esta Linha de Pedra compor o objeto de estudo dessa pesquisa ocorreu devido ao fato de ela possuir rochas, minerais e apresentar uma disposição bidimensional similar às demais encontradas em Guarapuava.

Como as Linhas de Pedra aparecem na subsuperfície, ficando expostas em afloramentos, foi necessário o levantamento teórico das explicações envolvendo o intemperismo, as formações coluviais que interagem na origem das paisagens terrestres.

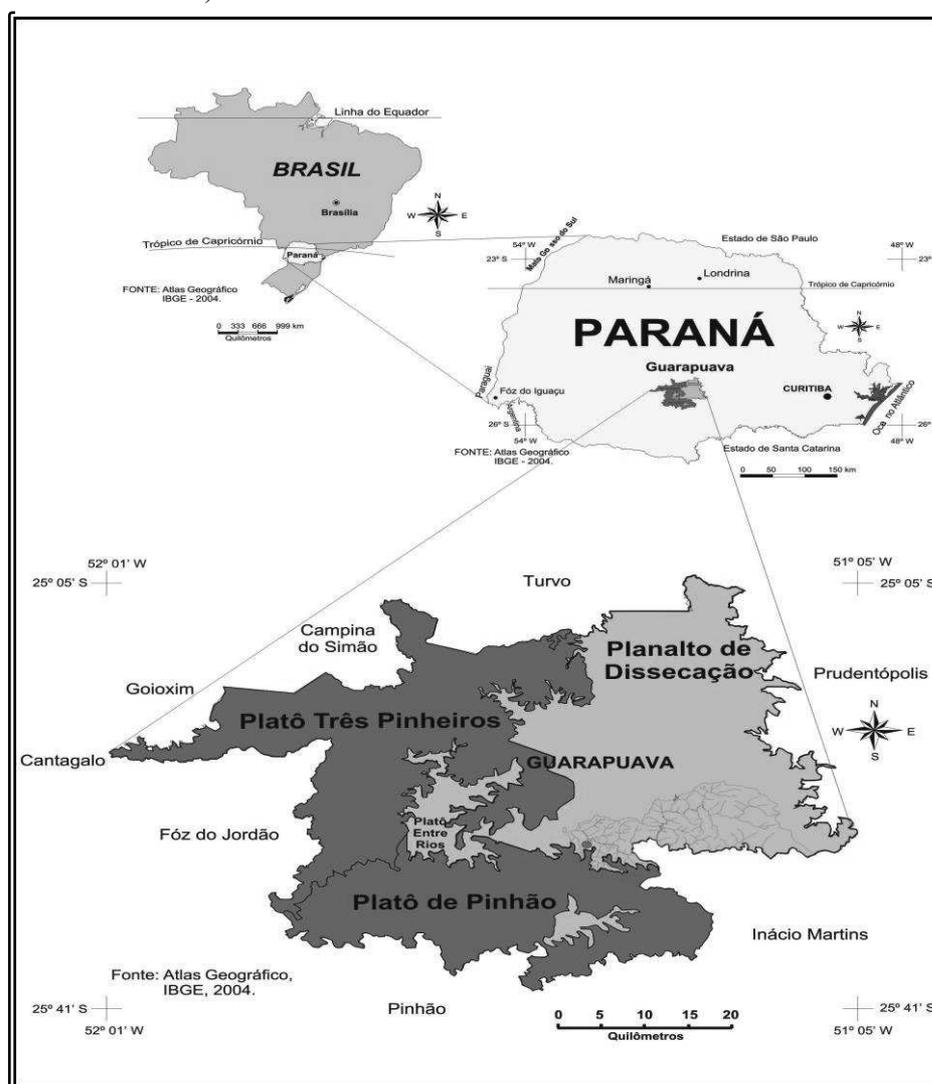
Devido às explicações para a formação das Linhas de Pedra serem variadas, foram empregadas metodologias específicas em busca do esclarecimento quanto à formação dessas feições. Para isso, foram utilizadas análises que levam ao entendimento da evolução do solo como a granulometria, matéria orgânica, forma dos fragmentos além de outras análises que possibilitam reconhecer os processos de alteração climática e ambiental como a análise dos fitólitos,  $\delta^{13}\text{C}\%$  e a cronologia destes através de datação por  $^{14}\text{C}$ .

## 1. ÁREA DE ESTUDO

### 1.1 Localização da área de estudo

O afloramento pesquisado localiza-se na bacia hidrográfica do rio Bananas, Sudoeste do município de Guarapuava. Pontualmente, a área constitui um afloramento à beira de uma estrada rural cujas coordenadas geográficas são: latitude  $25^{\circ}27'45''$  Sul, e longitude  $51^{\circ}25'29''$  Oeste (Figura 1).

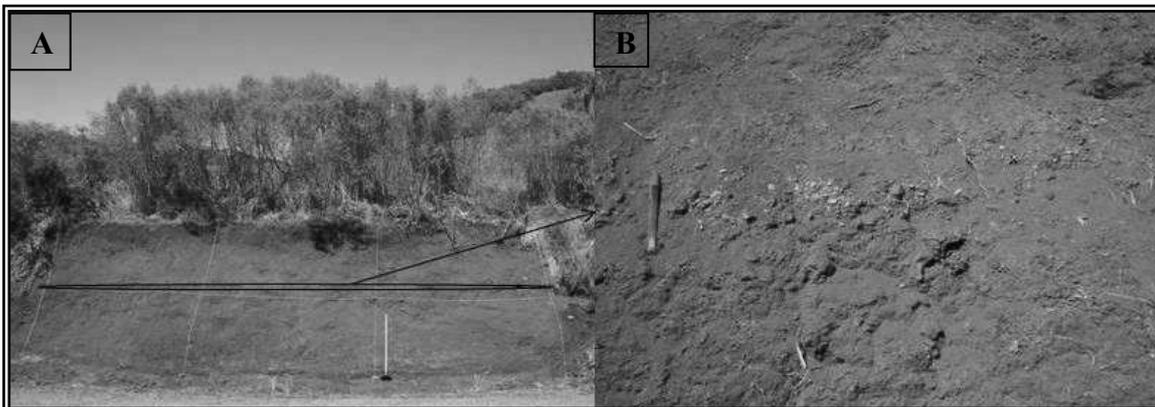
**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo (Ponto vermelho identifica a área de estudo)



Fonte: Modificado do original mapa geomorfológico de Guarapuava elaborado por Tratz (2009) e mapas do Brasil e Paraná elaborados por Bertotti (2008) IBGE, (2004).

A Linha de Pedra que acompanha o afloramento (Figura 2) é constituída na grande maioria por pequenos fragmentos de basalto bem alterados, quartzo e calcedônia alterada.

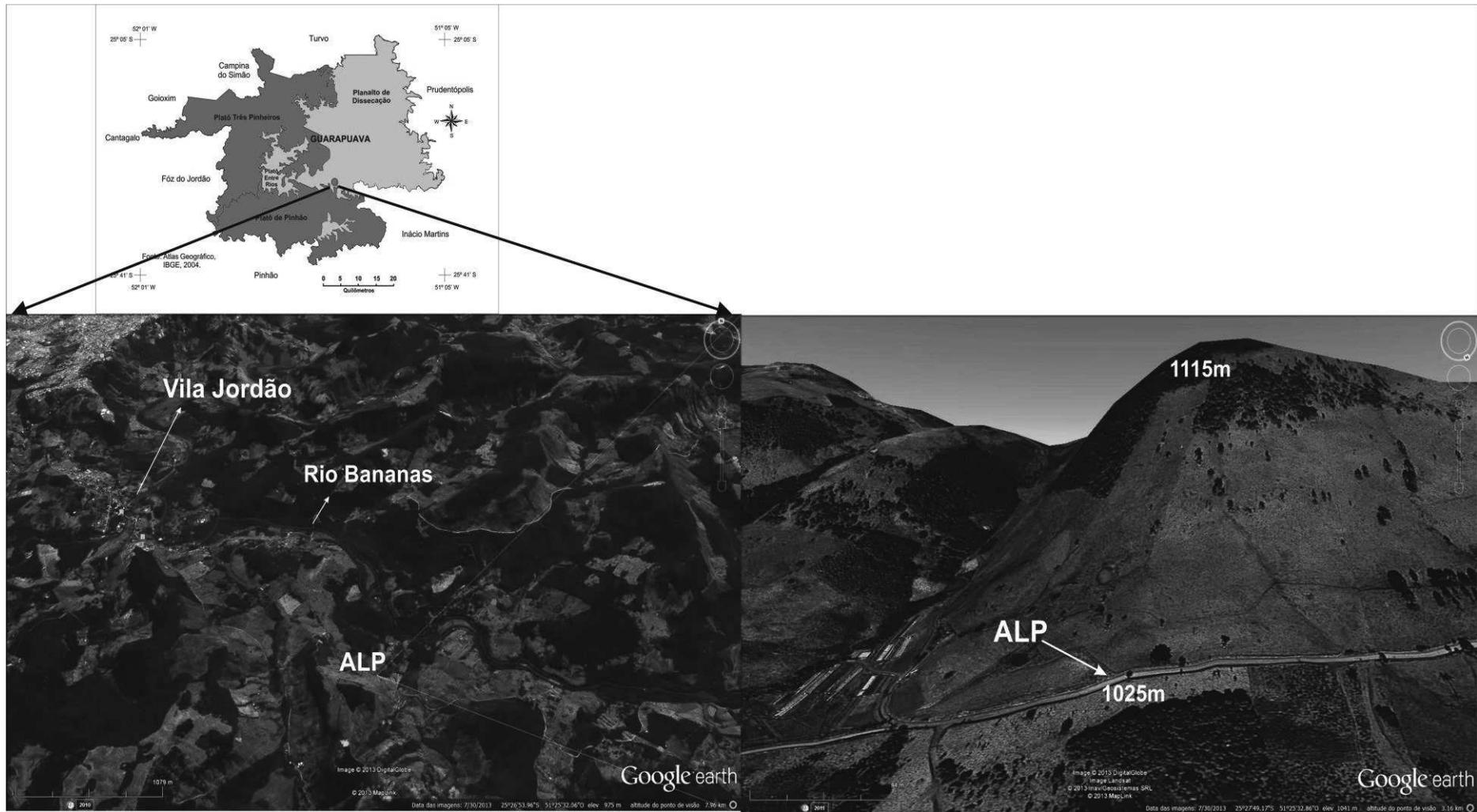
**Figura 2** - Objeto de Pesquisa.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa.

Nota: A -Afloramento de pesquisa com a linha de pedra. B -Detalhe da Linha de Pedra

A área de pesquisa encontra-se numa altitude de 1.025m, entre a base e o topo do afloramento possui entre 3,30m- 3,60m de altura, apresentando 9,60m de comprimento. Situado na média encosta convexa no topo, passando a retilínea côncava e côncava no segmento imediatamente acima do afloramento. Esse perfil continua até as proximidades do rio Bananas o qual se encontra a 640m abaixo da área de estudo (Figura 3).



**Figura 3** - Localização no município de Guarapuava, e a forma da encosta que apresenta o Afloramento com Linha de Pedra (ALP).

Fonte: Modificado do original mapa geomorfológico de Guarapuava elaborado por Tratz (2009) e imagens satélite do Google Earth®.

A superfície da encosta é ocupada por pastagens e alguns remanescentes de mata. Entremendo a pastagem, surgem os blocos rochosos de vários tamanhos. A posição e arranjo desses blocos sugerem que os mesmos estão vinculados ao processo de desagregação e movimento gravitacional das áreas mais elevadas da encosta, ou ainda, podem estar visíveis devido à erosão do solo que recobre as rochas.

## 1.2 Descrição Geológica e Geomorfológica

A área de estudo é constituída por um afloramento de material sedimentar o qual possui a Linha de Pedra. Esse afloramento está localizado em média encosta na borda SW da bacia do rio Bananas, no setor rural do município de Guarapuava, porção centro-sul do estado do Paraná (Figura 1). Esse local está inserido na “unidade geomorfológica do Brasil Meridional denominada pelo Terceiro Planalto, sustentado por derrames basálticos do magmatismo Serra Geral” (CPRM – MINEROPAR, 2006, p. 07). A unidade básica que compõe a “formação Serra Geral é a que possui maior extensão superficial (145.000 km<sup>2</sup>) e volumétrica (50.900 km<sup>3</sup>), sendo constituída predominantemente por basaltos toleíticos” (NARDY, 1995 *apud* LIMA, 2009, p.34).

A litologia que compreende a área de estudo, no sentido sudoeste da cidade de Guarapuava, é descrita por Tratz (2009) como uma região constituída por basaltos que afloram em dois derrames com espessuras médias de 30 metros, que formam a base da “serra” (escarpa) do Jordão.

Essas rochas pertencem à unidade Chapecó, com os litotipos constituídos por Dacitos, Riodacitos, Quartzo Latitos e Riolitos; as pertencentes à unidade Palmas, com os litotipos Riodacitos e Riolitos, e as unidades Básicas Intermediárias, com os litotipos: basaltos de natureza toleítica e escassos andesitos também de natureza toleítica (TRATZ, 2009, p. 36).

Segundo a MINEROPAR (2006), o Terceiro Planalto Paranaense apresenta solos profundos e desenvolvidos a partir da decomposição das rochas vulcânicas, resultando em alta fertilidade. Nesses solos encontra-se ainda, o Latossolo vermelho-escuro, roxo e bruno, porém, são aparentemente homogêneos, visto que possuem grande presença de óxido ferro e goethita, o que exige o emprego de metodologia específica para o estudo

como a mineralogia de argilas, a fim de reconhecer seus constituintes e o seu comportamento no perfil.

### 1.3 Vegetação e Clima

Quanto à vegetação original da área de estudo e entorno, segundo Maack (1892-1969) era constituída por mata pluvial subtropical, composta em sua maioria pela mata de Araucária relacionada às altitudes regionais (*ibid.*, p. 242). O limite inferior para crescimento está nos 500 metros de altitude, abaixo dessa altitude a vegetação é mista. Na região do Terceiro Planalto também há a formação dos campos integrados às araucárias. Portanto, a mata mista possuía importantes espécies de valor econômico como a Canela, Imbuia, Erva-mate, Cedro rosa, Xaxim dentre outras espécies que se desenvolveram devido à umidade e à fertilidade dos solos.

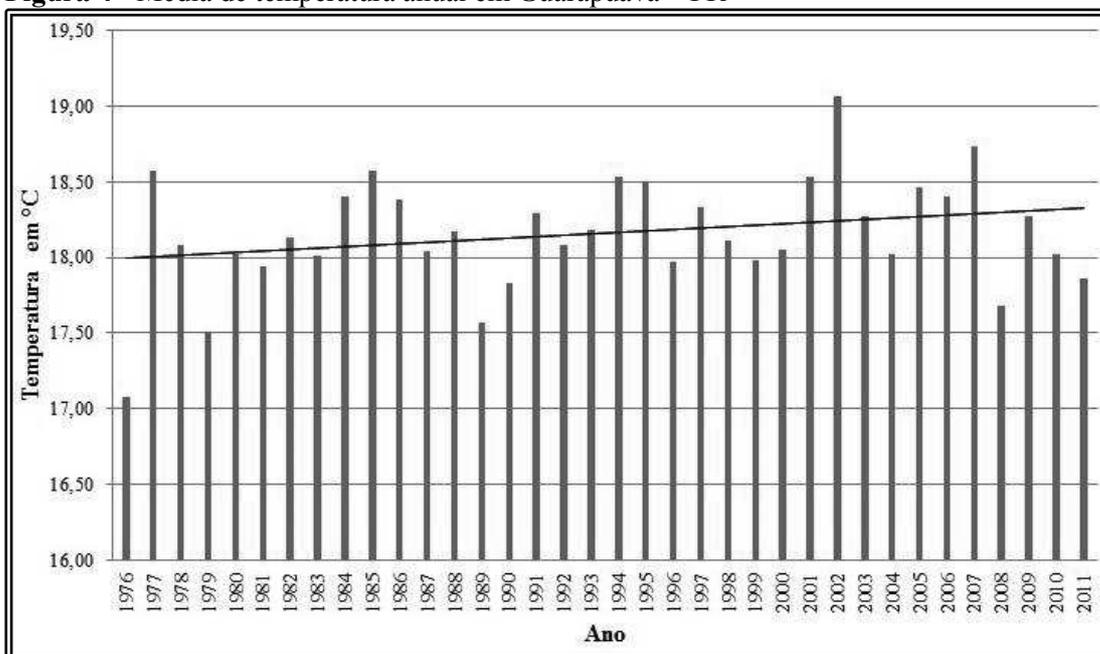
Segundo o IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) o clima em Guarapuava é classificado como Cfb - Clima temperado com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos. Por sua vez, Thomas; Vestena (2003), ao analisar os aspectos climáticos de Guarapuava em dados de 25 anos, consideram que “a temperatura média anual fica em 17°C, oscilando entre os 17,5°C e 15,9°C, os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, e os meses mais frios vão de abril a outubro com ocorrência de geadas no período de inverno” (*ibid.*, p. 31).

Entretanto, os dados da estação meteorológica, localizada inicialmente no Colégio Agrícola de Guarapuava e, em seguida, transferida para o *campus* CEDETEG da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2012), indicam que entre os anos de 1976 e 2011 (36 anos) a temperatura média anual de Guarapuava - PR foi de 18,16°C (Figura 4), oscilando entre 17,08°C (1976) e 19,07°C (2002). Nos meses de inverno a temperatura média foi de 15,03°C, sendo a mais baixa registrada no ano de 1978 (-6,8°C). Nos meses de verão a média nos 36 anos apurados pelo SIMEPAR (2012) foi de 21,33°C e a maior temperatura foi de 36°C.

Segundo os dados de temperatura do SIMEPAR (2012), 142 dias foram registrados com temperaturas negativas entre os anos de 1976 a 2011, o ano de 2000 apresentou maior

quantidade de dias com temperatura negativa durante o inverno, totalizando 10 dias com temperaturas entre  $-6^{\circ}$  e  $-0,4^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 4** - Média de temperatura anual em Guarapuava – PR



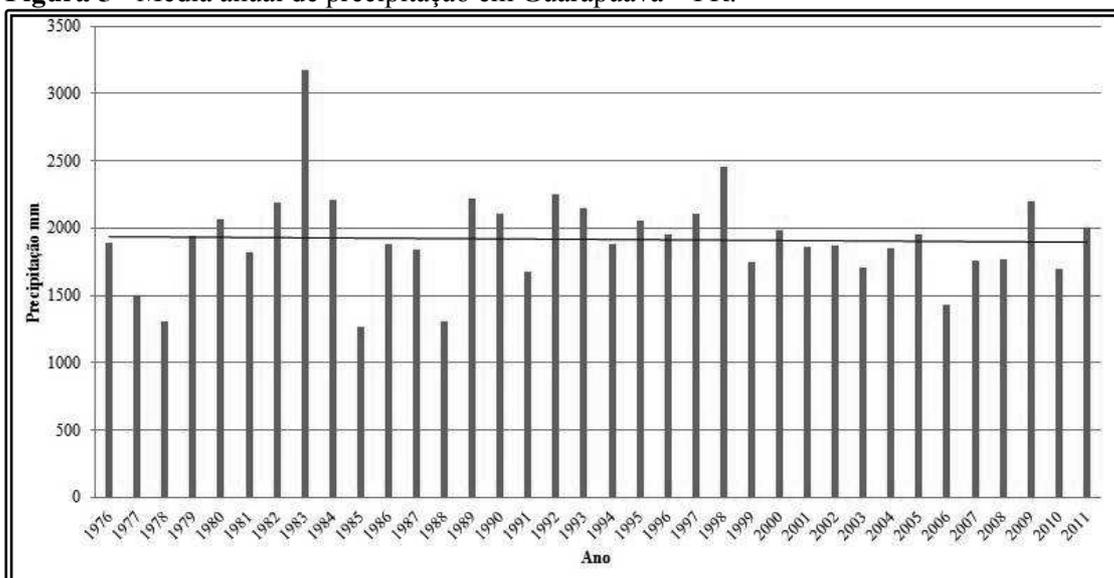
Fonte: SIMEPAR, 2012.

Nota: Elaborado pela autora da pesquisa.

De acordo com Thomaz; Vestena (2003), as massas de ar que atuam e interferem na temperatura e no regime de chuvas em Guarapuava são: no verão, a massa Polar atlântica (mPa), a massa Tropical atlântica (mTa) podendo ocorrer aumento das massas de ar intertropicais: massa Tropical continental (mTc) e massa Equatorial continental (mEc); no outono, as massas mPa e a mEc; no Inverno, as massas mTa e a mPa; e, na primavera, as massas mPa e mTa.

Os dados de precipitação da estação meteorológica do *Campus* CEDETEG fornecidos pelo SIMEPAR nos anos de 1976 a 2011 indicam que Guarapuava não possui estação seca e a pluviosidade está bem distribuída ao longo do ano, com precipitação média mensal acima de 100 mm, a média anual fica em torno de 1.867,10mm (Figura 5), sendo que os meses mais chuvosos são outubro e janeiro, e os menos chuvosos são agosto e julho. Os registros meteorológicos do período de 1976 a 2011 demonstram que os anos menos chuvosos foram os de 1978 (1.309,7mm), 1985 (1.262,1mm) e 1988 (1.308mm), já os anos com maior pluviosidade foram 1983 (3.168,4mm) e 1998 (4.455,6mm).

**Figura 5** - Média anual de precipitação em Guarapuava – PR.



Fonte: SIMEPAR, 2012.

Nota: Elaborado pela autora da pesquisa.

## 2. QUATERNÁRIO E OS INDICADORES PALEOAMBIENTAIS

O período Quaternário teve início há cerca de 2,6 milhões de anos (ICS, 2008), é o período mais recente da história da Terra, e pode ser caracterizado, conforme Maher (1999), por grandes mudanças no clima, com expansão e contração das geleiras, nível global do mar, migrações e extinções de fauna e flora, e a evolução e aumento exponencial população de humanos modernos.

Essas mudanças ocorridas ao longo do Quaternário deixaram registros e marcas visíveis na topografia. É através desses registros chamados de *proxy*, que segundo Bradley (1999) tem-se a possibilidade de realizar estudos para entender os paleoambientes e paleoclimas, uma vez que o período no qual se tem as medições instrumentais sobre o clima é muito curto, tornando-se incapaz de fornecer uma perspectiva sobre a história climática da Terra e sua variabilidade. Por esse motivo, faz-se necessário um estudo sobre os elementos naturais que são dependentes do clima e possibilitam reconhecer as mudanças no clima.

Para Maher (1999), as mudanças expressivas no clima e na biosfera da Terra, ficam impressas dentro dos registros de *proxy* naturais, como as variações isotópicas em sedimentos ou gelo. Esses registros podem ser recuperados e decifrados, permitindo identificar o momento, a taxa e os mecanismos de mudanças passadas no clima e meio ambiente.

Os estudos devem diferenciar as mudanças climáticas que ocorrem na escala geológica do tempo daquelas de curta duração, que acontecem em um período de tempo perceptível na escala humana, visto que as oscilações climáticas possibilitam tanto o desenvolvimento da vida no planeta e as alterações na vegetação, quanto os desastres e catástrofes. (SANT'ANNA NETO; NERY, 2005, p.29).

O período Quaternário é dividido em Pleistoceno e Holoceno. “A primeira época, com início há cerca de 2,6 milhões Antes do Presente (AP), fora marcada por grandes glaciações, com atuação de clima semiárido no Sul e Sudeste do Brasil” (BIGARELLA *et al.*, 1965, p. 125). Já a segunda época, iniciada há cerca de 10Ka AP aproximadamente, é caracterizada por um período interglacial, com disponibilidade de calor e umidade. No entanto, dentro de cada época, com seu predomínio climático, ocorreram pequenas flutuações.

Segundo Bigarella *et al.* (1975), “o avanço das geleiras pleistocênicas acompanharam a diminuição da temperatura do ar e do mar, causando nas regiões tropicais e subtropicais

uma redução das precipitações” (*ibid.*, 454). Durante os períodos glaciais, caracterizados por um ambiente seco e com remoção do manto de intemperismo pela erosão mecânica, sobre os quais Bigarella *et al.* (1975) acredita que as florestas se restringiram a “refúgios de sobrevivência das espécies” (*ibid.*, p.453). Nos interglaciais, com o retorno das fases úmidas e ação do intemperismo químico e formação do solo, as florestas tiveram sua máxima expansão.

Para o autor, as vertentes e as escarpas através dos processos de intemperismo disponibilizam material para ser removido, sendo que nos períodos secos “a encosta é submetida, principalmente a processos de desagregação mecânica. A decomposição química parece ter ocorrido mais efetivamente apenas durante as curtas flutuações climáticas para o úmido dentro do semiárido rigoroso” (BIGARELLA *et al.*, 1965, p.125), ocasionando a expansão e retração das formações vegetais.

A transição do período Pleistoceno para o Holoceno “teria sido marcada por uma instabilidade climática e vegetacional, caracterizada por uma ênfase inicialmente úmida, evidenciando um ambiente aberto” com solos encharcados (OLIVEIRA, 2005, p.65). Essa transição, para Bigarella *et al.* (1975), ocorreu de forma abrupta a cerca de 11Ka, pois os testemunhos coletados no oceano indicaram uma mudança de temperatura do frio no Pleistoceno tardio, para o quente no Holoceno. As evidências também são descritas em mudanças no intemperismo na região nordeste do Brasil, considerando que “a clorita típica da desagregação mecânica das rochas (fase semiárida) é substituída por caulinita e gipsita característica do intemperismo sob condições climáticas úmidas” (BIGARELLA *et al.*, 1975, p.453).

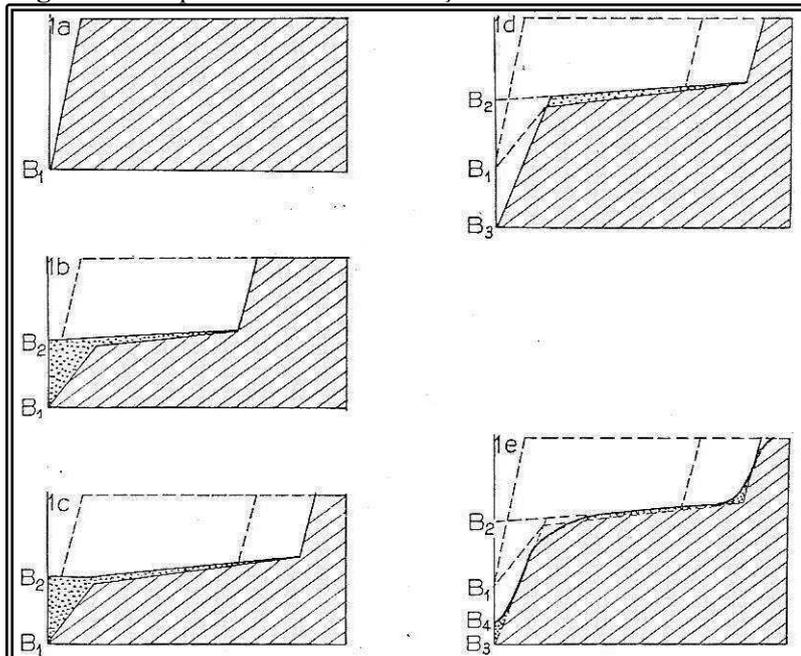
O período Holoceno, por sua vez, teve início há cerca de 10Ka AP, no fim do estágio glacial Würm. Nessa época ocorreu um aquecimento global que levou à fusão de 2/3 das geleiras, “o nível do mar teria atingido o nível atual, após subida gradativa a partir de nível mais de 100 metros abaixo, em consequência da fusão” (SUGUIO, 2008, p.20). Nesse momento, caracterizado como interglacial, ocorre o aquecimento dos oceanos chegando à máxima evaporação, nas latitudes que recebem insolação tropical e subtropical “regime pluvial com chuvas pesadas no verão e inverno seco” (BIGARELLA *et al.*, 1975, p.454).

As mudanças climáticas foram sucedidas de flutuações para o frio ou para o quente durante os períodos estadiais e interestadiais. Essas mudanças foram importantes porque imprimiram na paisagem os processos de dissecação e sedimentação, pois “na época úmida as flutuações para o seco facilitariam a remoção do regolito. Na semiárida as oscilações para o

úmido facultariam uma ativação da decomposição química” (BIGARELLA *et al.*, 1965,p.111), conforme podemos visualizar na Figura 6.

Buscando compreender o efeito das alternâncias climáticas Bigarella *et al.* (1965) desenvolveram o esquema básico de evolução das vertentes baseado nas alternâncias climáticas.

**Figura 6** - Esquema básico de evolução das vertentes.



Fonte: Bigarella *et al.* (1965), baseado nas alternâncias climáticas.

No modelo morfoclimático apresentado na Figura 6, considera-se que no período de tempo que esteja sob a ação de clima seco, intensificam-se os processos de remoção do manto de intemperismo, que se formou na fase climática anterior (úmida). O material alterado que recobre as encostas é transportado por meio de movimentos de massa, ou pelos fluídos densos depositados nas depressões do terreno. De acordo com o autor, a base do terreno fica entulhada, e as regiões com maior altitude ficam expostas à ação da morfogênese mecânica, ocasionando o recuo paralelo das vertentes desenvolvendo o aplainamento (pedimento).

Com o retorno da fase úmida, ocorre a intensificação do intemperismo químico sobre as rochas, principalmente em regiões com diaclases, originando espessos mantos de intemperismo, nos quais ocorre intensa infiltração, provocando os processos de solifluxão e desmoronamentos na vertente (Figura 6). Assim, Bigarella *et al.* (1965) afirma que esse processo gera a erosão diferencial no relevo, com a formação de reentrância, saliências e o recuo lento das vertentes com diminuição no ângulo de inclinação, apresentando como

resultado a formação de convexidade da parte superior, que ao elúvio se deslocar vertente a baixo é suavizado e adensado devido à inclinação da vertente.

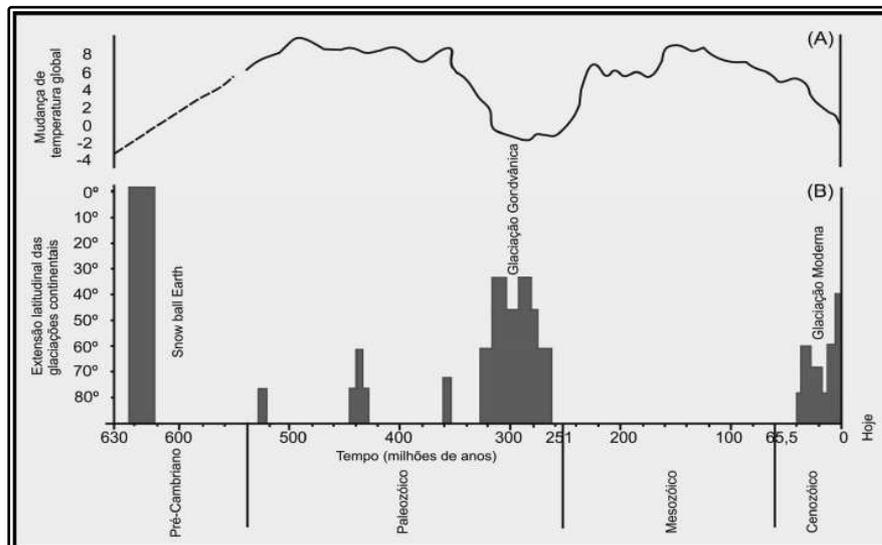
## 2.1 As Glaciações Quaternárias

O Quaternário é o período em que ocorreram as grandes oscilações climáticas. Segundo Suguio (2008), “podem ser reconhecidos mais de 20 períodos glaciais, intercalados de períodos interglaciais” (*ibid.*, p.20), alternando-se nos últimos 2,6 milhões de anos (Figura 7). Os períodos glaciais ocorrem por meio de acumulações permanentes de gelo sobre os continentes, a neve que cai sobre a superfície sofre compactação e recristalização, formando espessa camada de gelo, que passa a sofrer deformações internas e movimentações. Sobre isso, Salgado-Laboriau (2007) afirma que o glacial irá avançar se a quantidade de neve que acumula for maior que a perda por ablação, sublimação ou derretimento.

Pesquisas efetuadas na Europa Central reconheceram cinco principais estádios glaciais que ocorreram durante o Quaternário são conhecidos como: Danúbio, Günz, Mindel, Riss e Würm intercalando-se com estádios interglaciais Danúbio-Güns, Günz-Mindel, Mindel-Riss e Riss-Würm (SUGUIO, 2008, p.14).

O último máximo glacial do período Quaternário ocorreu entre 15Ka e 17 Ka AP, com volume de geleiras três vezes maior do que a porção atual. Durante os últimos 10KA AP (Holoceno) aconteceu a fusão de 2/3 das geleiras globais, evidenciando uma fase interglacial. (*ibid.*, p. 20).

**Figura 7** - Evolução na temperatura média na superfície terrestre e as glaciações continentais.



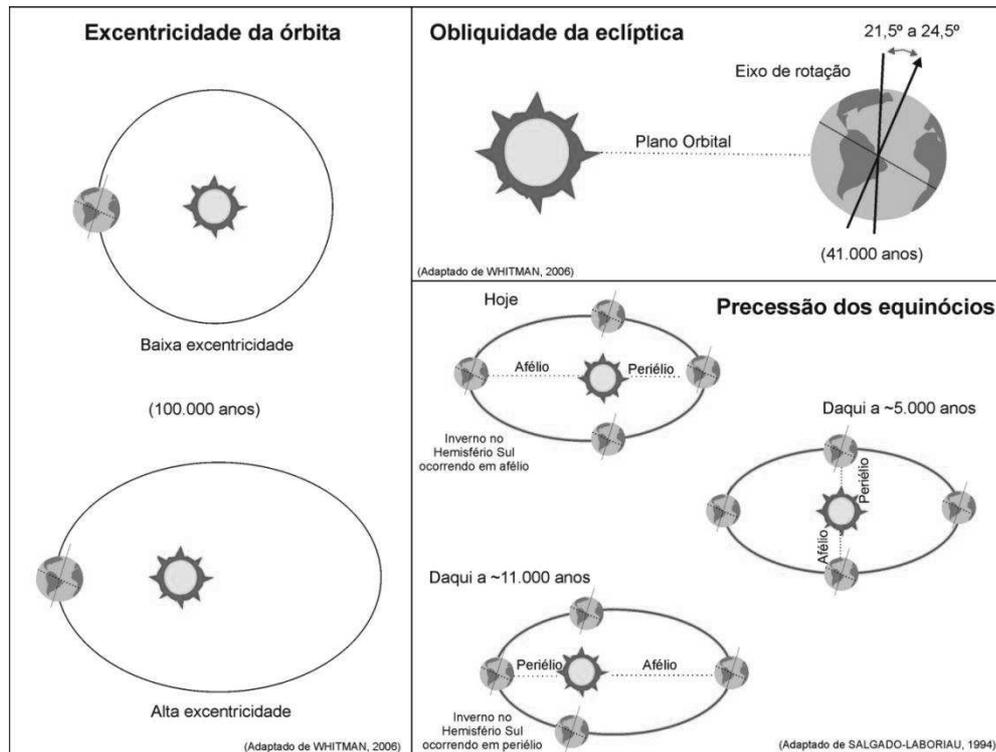
Fonte: Suguio (1999).

De acordo com Suguio (2008), uma das mais aceitas explicações para as glaciações está relacionada à Teoria Astronômica de Milankovitch, formulada pelo geofísico iugoslavo Milankovitch, que reconheceu por meio de cálculos astronômicos as variações na quantidade de radiações solares recebidas pelo planeta Terra.

A Teoria Astronômica de Milankovitch relaciona três principais fatores astronômicos para ocorrer às glaciações:

- a) Mudanças nas inclinações do eixo terrestre (obliquidade da eclíptica) com ciclo de cerca de 41Ka AP;
- b) Variações na excentricidade da órbita de translação da Terra com ciclo de cerca de 92Ka AP;
- e) Movimentos de precessão do eixo terrestre devido à atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua com ciclo de 21Ka. (*ibid.*, p.27).

**Figura 8** - Ciclos astronômicos que interferem no clima.



Fonte: Stevaux; Parolin (2010).

Os três fatores de excentricidade da órbita, obliquidade da elíptica e precessão dos equinócios possuem características específicas e ciclos diferentes (Figura 8). Essa interação gera uma condição aproximada de equilíbrio, acarretando uma temperatura ligeiramente constante. Entretanto, segundo Stevaux; Parolin (2010), em determinados momentos, os três ciclos astronômicos coincidem, causando um período de reduzida insolação e, em consequência, período estadal.

## 2.2 Indicadores de mudanças climáticas.

Estudos realizados no Brasil e no Paraná por Pessenda *et al.*, (1998a, 1998b, 2001a, 2004); Parolin *et al.* (2006, 2010, 2011). Rasbold *et al.* (2010, 2011, 2012); Coe *et al.* (2009, 2011, 2013); Calegari *et al.* (2008, 2011, 2013); Camargo Filho *et al.* (1997, 2005, 2012); Paisani *et al.* (2010, 2012) demonstram que a paisagem local tem registrado mudanças ambientais importantes, parecem estar relacionadas aos períodos glaciais e interglaciais planetário.

Esses trabalhos utilizaram isótopos estáveis  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ , para reconhecer a tendência de avanço e recuo florestal, bem como a idade absoluta desses eventos. Obtendo informações ambientais através da análise fitólitos e pólenes, juntamente com dados geomorfológicos e sedimentológicos, é possível ter uma ideia do ambiente pretérito, o qual moldou a superfície conhecida atualmente.

### 2.2.1 Fitólitos

Os fitólitos são formados pelas plantas quando estas absorvem do solo a sílica através do sistema radicular em forma de ácido monossilícico  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , desse modo, e, conforme Piperno (1989), quanto mais a planta tiver evapotranspiração maior será sua absorção de água com  $\text{Si}(\text{OH})_4$ .

No caso das folhas das gramíneas ou de plantas lenhosas, segundo Coe (2009), a formação ocorre principalmente na epiderme, pois é onde ocorre a evapotranspiração, e faz com que a concentração de ácido monossilícico seja grande ao ponto de  $\text{Si}$  não circular, precipitando sob a forma da celular vegetal.

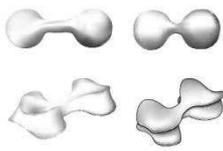
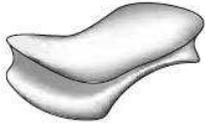
Para Labouriau (2007), os fitólitos ou corpos silicosos são constituídos de “sílica amorfa e se formam dentro do tecido das folhas ou na epiderme em algumas famílias de plantas, como as gramíneas, ciperáceas e as palmeiras. Em cada família, as formas dos fitólitos são caracterizadas e podem ser identificadas em nível de família” (*ibid.*, 2007, p. 91). Segundo Calegari *et al.* (2011) os fitólitos são corpos silicosos, que podem permanecer por longos períodos de tempo no solo, gerando importantes informações sobre as subfamílias e sobre a densidade da cobertura arbórea, são importantes marcadores ecológicos colaborando para os estudos paleoclimáticos e paleoambientais.

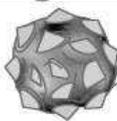
Por sua vez, Piperno (1989) afirma que os corpos de sílica são distintos da estrutura dos órgãos das plantas, fato que permite diferenciá-los. A autora defende a identificação e análise dos fitólitos por serem pouco decompostos pelas variáveis ambientais, as quais não modificam a forma nem os destroem com facilidade, tornando-os úteis para o entendimento de paisagens vegetais pretéritas.

Nesse sentido, a forma dos fitólitos funciona com chave para compreensão dos ambientes do passado (Quadro 1), visto que algumas morfologias de fitólitos são únicas. Para diferenciar essas morfologias, conforme Rasbold *et al.* (2011), os estudos que reconhecem os

fitólitos atuais são a base para realizar a identificação de morfologias encontradas em sedimentos e solos.

**Quadro 1:** Padrão de Produção de Fitólitos.

TIPO	TÁXON	AMBIENTE	REPRESENTAÇÃO O Madella et al. (2005)
<b>Bilobate short cell</b> ( <i>dumbbell</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> Sobretudo <i>Panicoideae</i> alta C <sub>4</sub> , também algumas <i>Panicoideae</i> C <sub>3</sub> ; <i>Chloridoideae</i> , <i>Arundinoideae</i> e <i>Bambusoideae</i>	<b>Quente úmido</b> Áreas à sombra, sob o dossel de florestas tropicais	
<b>Saddle</b> (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> Sobretudo <i>Chloridoideae</i> baixas C <sub>4</sub> ; algumas <i>Bambusoideae</i> C <sub>3</sub> , <i>Arundinoideae</i> C <sub>3</sub>	Regiões secas de baixa latitude e altitude ou condições edáficas	
<b>Rondel</b> ( <i>conical, circular</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> Sobretudo <i>Pooideae</i> C <sub>3</sub> , também <i>Bambusoideae</i> C <sub>3</sub>	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<b>Elongate echinate long cell</b> ( <i>elongate spiny</i> ) (Barboni <i>et al.</i> , 1999)	<b>Gramíneas</b> <i>Longcells</i> de todas as gramíneas		
<b>Elongate psilate</b> ( <i>elongate smooth</i> )	<b>Gramíneas</b> <i>Longcells</i> de todas as gramíneas		
<b>Cylindrical polylobate</b>	<b>Gramíneas</b> Predominam nas <i>Panicoideae</i> (C <sub>4</sub> e C <sub>3</sub> )	Clima quente úmido	
<b>Trapeziform short-cell</b> ( <i>rectangular</i> )	<b>Gramíneas</b> <i>Pooideae</i>	Regiões temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<b>Acicular hair cell</b> ( <i>point-shaped</i> )	<b>Gramíneas</b> ( <i>micro-hair</i> ou <i>prickles</i> de todas as epidermes); também nas <i>Palmae</i> , sementes de outras plantas		
<b>Bulliform cell</b> <b>Cuneiform</b> ( <i>fan-shaped</i> ) <b>Parallelepipedal</b>	<b>Gramíneas</b> (células buliformes de todas as epidermes)		

<b>Globular granulate</b> ( <i>sphericalrugose</i> )	<b>Dicotiledôneas lenhosas</b> (troncos de árvores e arbustos tropicais)		
<b>Globular psilate</b> ( <i>sphericalssmooth</i> )	<b>Dicotiledôneas</b> (epidermes de folhas e parênquima) <b>Gramíneas</b> (raízes e sementes)		
<b>Globular echinate</b> ( <i>Crenatespherical</i> )	Troncos e folhas das <b>PALMAE</b>		

Fonte: Luz (2014) adaptado de Coe (2009).

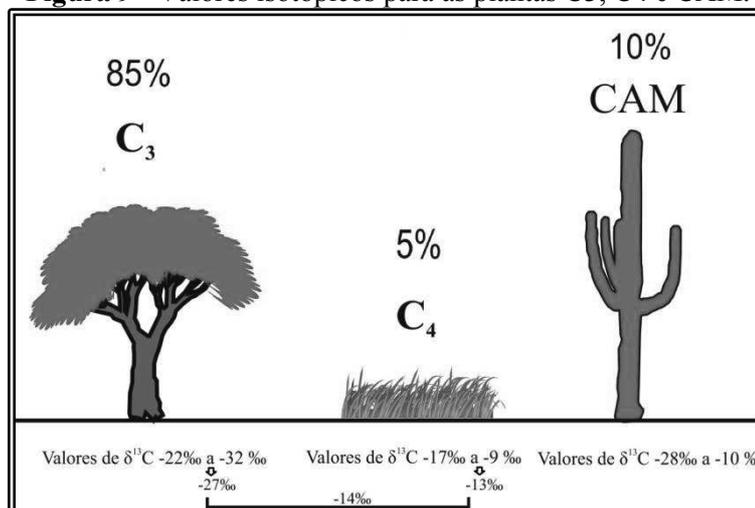
O Quadro 1 indica o tipo de fitólito e sua nomenclatura. Segundo Coe (2009), relacionando o tipo de planta ao seu ambiente característico, bem como a representação da forma que os fitólitos são encontrados nas lamínas microscópicas.

### 2.2.2 Isótopos estáveis ( $C^{12}$ e $C^{13}$ ) e datação $C^{14}$

No campo dos estudos paleoambientais é crescente a utilização de isótopos estáveis, uma vez que eles permitem distinguir as plantas entre gramíneas e florestas, que ocuparam as regiões no passado. O carbono tem dois isótopos de ocorrência natural o,  $^{12}C$  e  $^{13}C$ . Segundo Pessenda *et al.* (2005), aproximadamente 98,89% de todo o carbono na natureza é  $^{12}C$  e 1,11% é  $^{13}C$ . As plantas terrestres fazem a discriminação dos isótopos durante o processo de fotossíntese. As plantas  $C_3$ , desde a absorção através dos estômatos até a formação dos compostos de carbono, incorporam mais  $^{12}C$  que  $^{13}C$ .

Para Ducatti *et al.* (2011), a preferência ou a discriminação isotópica pelas moléculas  $^{12}CO_2$ , isótopo estável leve, é muito maior nas plantas  $C_3$  do que nas plantas  $C_4$ . Logo, plantas  $C_3$  são em média -14,4% mais leves que  $C_4$ . Desse modo, a discriminação isotópica é realizada por três principais grupos de plantas chamadas de  $C_3$ ,  $C_4$  e CAM (Figura 9). As plantas  $C_3$  correspondem às plantas arbóreas (floresta), as  $C_4$  às gramíneas de origem tropical, a subtropical e a CAM correspondem às espécies menos abundantes das *Cactaceae*, *Euphorbiaceae* e *Bromeliaceae*.

**Figura 9 - Valores isotópicos para as plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM.**



Fonte: Pessenda (2010).

Segundo Pessenda (1998a),

Estas diferenças isotópicas naturais permitem que o carbono derivado de cada ciclo fotossintético seja localizado no reservatório da matéria orgânica do solo. Devido à pequena troca no valor de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CPDB}}$  das plantas durante sua decomposição, o  $\delta^{13}\text{C}$  do carbono orgânico do solo integra a contribuição relativa dos diferentes ciclos fotossintéticos para o reservatório do carbono orgânico do solo. Como resultado, o  $\delta^{13}\text{C}$  do carbono orgânico do solo pode ser utilizado para documentar troca de vegetação em solos modernos e paleossolos (*ibid.*, p.9).

Nessa abordagem, CPDB é o padrão internacional para os dados de Carbono, PDB – (Belemnitella Americana da Formação PeeDee). Conforme Pessenda *et al.* (2005), os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  padronizados a partir de resultados do espectrômetro de massa que identificam que as “plantas C<sub>3</sub> variam de -32 a -22, com média em 27%. Para as plantas com mecanismo de fotossíntese C<sub>4</sub>, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variam de -9 a -17% com média em -13%. As plantas C<sub>4</sub> correspondem a 5% de todas as espécies”.

Apesar das controvérsias sobre as datações devido à possibilidade de contaminação com a matéria orgânica recente, natural da própria formação do solo e através das raízes e dos micro-organismos, a disponibilidade de carbono e a sua utilização pelas plantas colaboram

com os métodos para o reconhecimento da vegetação e da sua cronologia. Para evitar esses problemas, busca-se a datação de fragmentos de carvão, uma vez que são inertes. Ou, em caso de solos que não possuam os fragmentos de carvão, tem-se utilizado o método de extração da fração humina, o qual procura excluir com tratamento químico os contaminadores recentes, efetuando a datação apenas na matéria orgânica que é realmente antiga<sup>1</sup>.

Desde o ano de 1950, quando houve a descoberta do método  $^{14}\text{C}$  efetuada por W.F. Libby (1908-1980), o método é utilizado para determinar idades de até 50.000 anos. O método, baseado no ciclo do carbono, parte do princípio de que todas as plantas adquirem carbono enquanto estão vivas e que os seres humanos e animais ao se alimentarem de plantas incorporam o  $^{14}\text{C}$ . Nesse sentido, Pessenda *et al.* (2010) afirma que na morte das plantas ou animais a entrada do  $^{14}\text{C}$  cessa. O tempo da morte pode ser estabelecido pela determinação do  $^{14}\text{C}$  residual. O  $^{14}\text{C}$  decai com uma meia-vida de 5.730 anos a  $^{14}\text{N}$ .

Portanto, com a utilização do  $^{14}\text{C}$  é possível estabelecer a cronologia das amostras de solos coletadas, e assim, reconhecer o período de formação das Linhas de Pedra do município de Guarapuava.

### **2.3 Hipóteses para a formação das linhas de pedra**

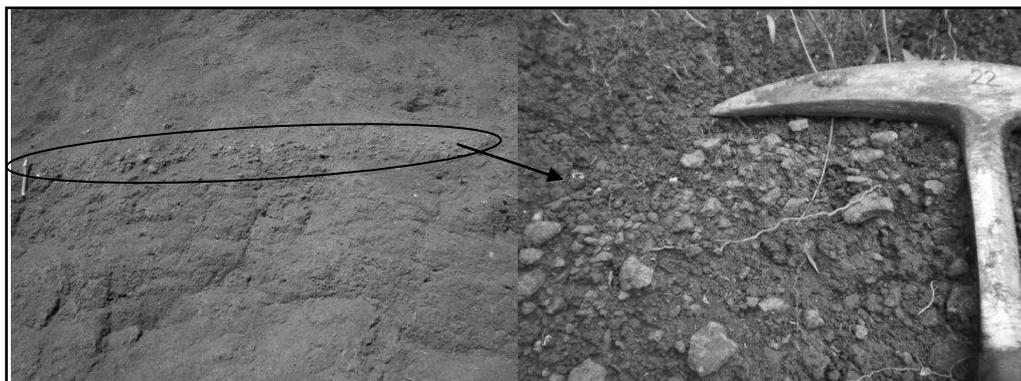
As linhas de pedra (Figura 10) fazem parte da dinâmica da superfície terrestre, e aparecem desde poucos centímetros até metros de profundidade, conforme mostram os estudos realizados Collinet (1969) na África; Bourgeat; Petit (1966), Madagascar, Ab'Sáber (1962); Bigarella e Mousinho (1965) em estudos no Brasil.

Para Hiruma (2007), as linhas de pedra ou também conhecidas como *Stone-line*, se referem a horizontes de solo com fragmentos angulosos e subangulosos, compostos por quartzo e couraças ferruginosas, dentre outros materiais mais resistentes à alteração química; elas aparecem paralelas à superfície e geralmente sobrepostas por uma camada de solo homogêneo. Abaixo da linha de pedra pode ocorrer a formação de rocha alterada ou camadas de solo.

---

<sup>1</sup>Conforme Gouveia; Pessenda (1999) e Pessenda *et al.* (2001).

**Figura 10:** Linha de pedra no afloramento da bacia do Rio Bananas, (15/05/2012).



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa (05/05/2012).

Nota: A – Distribuição da Linha de Pedra no afloramento.

B – Detalhe da Linha de Pedra.

Aliada ao grupo de pesquisadores que considera as alterações climáticas na modelagem da superfície terrestre, surge a denominação de paleopavimento para as linhas de pedra. Segundo a MINEROPAR (2009), o termo é entendido como um depósito antigo que corresponde a cascalheiras e baixos terraços relacionados às oscilações climáticas, normalmente marcadas por linhas de pedra.

O principal defensor dos paleopavimentos no Brasil foi Ab'Sáber (1969), o qual considerava que “as ocorrências de *Stone lines* representam casos de superposição de solo, em antigas superfícies pavimentadas por fragmentos de rocha resistente, de transporte apenas local e que foram posteriormente recoberta por detritos coluviais” (*ibid.*, p.1). De acordo com o autor, todo esse material estaria sujeito à alteração pedogenética condicionada pelas condições climáticas vigentes.

Em revisão de conhecimentos sobre as Linhas de Pedra de Ab'Sáber (1962), após a realização do XVIII Congresso Internacional de Geografia (UGI), no Rio de Janeiro em 1956, pesquisadores europeus estiveram no Brasil e puderam observar e colaborar com as hipóteses para a origem de linhas de pedra. A partir disso, surge uma nova opinião que destaca a ação biológica, elaborada por Cailleux (1957), em que “os detritos que enterraram a linha de seixos poderiam ter sido elevados acima dos seixos e fragmentos pela ação prolongada de térmitas (cupim), que teriam agido na rocha alterada e previamente reduzida da base” (AB'SÁBER, 1962, p. 1).

Contudo, a interpretação biológica para a formação das linhas de pedra de Cailleux (1957), em que as térmitas, vermes e formigas fariam a retirada seletiva das frações finas de solo para a superfície, levando ao espessamento dos fragmentos com fração maior em

profundidades, foi refutada por Ab'Sáber (1962), o qual afirma que “o embasamento dos pavimentos enterrados é composto de regolitos de diferentes rochas, não se observando quaisquer retrabalhamento na massa da rocha alterada capazes de documentar a ação antiga das térmitas” (*ibid.* p. 09). Nesse sentido, o autor ainda expõe que:

[...] a textura da rocha alterada deixa quase sempre entrever a posição original da xistosidade no caso dos embasamentos compostos de rochas metamórficas (São Paulo e Paraná), não havendo quaisquer indícios de perfurações labirínticas ou afofamentos oriundos da ação subatual ou mais antiga de insetos. (AB'SÁBER, 1962, p.9).

A partir desse pressuposto, o autor e seus colaboradores consideram que a Linha de Pedra “constitui um típico pavimento detrítico, de fragmentos e seixos retrabalhados, depositados sob a forma de chão pedregoso nas vertentes ligeiramente descarnadas das elevações baixas e medianas do país, esculpidas em uma fase úmida ou subúmida previa” (*ibid.*, p.12). O autor apregoa ainda, que a topografia anterior aos pavimentos era parecida com a atual e possuía alguns rebaixamentos formados por ravinamentos, conseqüentemente a mudança climática para o período de aridez, fazia com que a vegetação se tornasse rala e esparsa, tendo condições para o intemperismo físico realizar a desagregação dos fragmentos da rocha.

Nesse período, existiam rios intermitentes com hierarquia parecidos com os que se encontram no Nordeste brasileiro atualmente. Esses rios seriam responsáveis pelo transporte “dos seixos e fragmentos das vertentes pavimentadas que atingiam as calhas aluviais, retrabalhando os fragmentos liberados pela morfogênese mecânica e os depositando mais a frente em cascalheiros muito mais espessos de largos e anastomosados canais fluviais” (AB'SÁBER, 1962, p. 12).

Assim, uma reprodução da formação do paleopavimento seria o que ocorre hoje nos chãos pedregosos do semiárido brasileiro, em que o intemperismo físico disponibiliza material para a formação do paleopavimento. Considera-se que cada camada de solo que recobre “os pavimentos detríticos pedregosos esta inteiramente ligada com a umidificação do clima, posterior a fase semiárida moderada e esporádica que criou o pavimento detrítico” (*ibid.*). Ao defender sua teoria, Ab'Sáber (1962) afirma que “qualquer hipótese de trabalho que se adote nunca se poderá esquecer que foi a reativação recente da decomposição das rochas expostas acima dos leitos detríticos, em vertentes mais escarpadas ou em ‘calombos’ e ‘cabeços’ que despontavam acima do chão pedregoso primitivo” (AB'SÁBER, 1962, p.13).

Com a mesma perspectiva Bigarella; Mousinho (1965), ao estudar o significado paleogeográfico e paleoclimático dos depósitos rudáceos, explicam a formação dos paleopavimento ou linhas de pedra, afirmando que:

[...] as regiões de baixo relevo, sob clima úmido, tem a tendência de produzir seixos pequenos e litologicamente homogêneos. Eles constituem o resíduo inerte do intemperismo químico. Os depósitos de cascalhos formados por estes seixos são ditos maduros. Os seixos podem ser concentrados de diversas maneiras. Se, numa área florestada (condições climáticas úmidas), ocorrer um período mais seco suficientemente longo para causar o recuo das florestas, o solo ficará exposto e sujeito a vários processos de remoção. Os fragmentos mais pesados tenderão a se concentrar à superfície. Formando um pavimento desértico, enquanto que o material mais fino será transportado vertente abaixo. Comumente formar-se-á uma fina camada de cascalho a qual, em alguns casos, pode atingir até um metro de espessura. Este era um aspecto muito comum no passado, tendo ocorrido em áreas agora florestadas. Presentemente, esta camada de cascalho acompanhando a subsuperfície grosseiramente a topografia atual, representa um paleopavimento o qual encontra-se recoberto por um manto coluvial de 1 ou 2 m de espessura ou mesmo mais. Paleopavimentos constituem também aspectos frequentes no nordeste brasileiro, onde eles documentam condições climáticas mais severas, condições de formação de paleopavimento parecem ter ocorrido várias vezes no passado. (BIGARELLA; MOUSINHO, 1965, p. 11).

Para Queiroz Neto (2000), “a presença de linhas de seixos em profundidade, acompanhando ou não a topografia, não pode ser interpretada simplesmente como paleopavimento desértico, testemunho de climas mais áridos, pois pode ser resultado da ação selecionadora da mesofauna do solo” (*ibid.*, p. 65) em apoio à teoria das térmitas, como agente pedológico e organizador do solo.

Em função dos progressos da teoria da etchplanação, Collinet (1969), em estudo realizado no Gabão (África), por meio de descrições detalhadas dos perfis encontrados e de análise granulométrica, explica que as linhas de pedra em climas quentes e úmidos possuem origem autóctone que devido à percolação da água no perfil e da evolução dos solos, o material que compõe a linha deriva do intemperismo da rocha matriz.

Nessa perspectiva, o autor considera que as Linhas de Pedra que acompanham a topografia podem ser formadas pelo quartzo e por concreções ferruginosas, materiais que lideram a formação das linhas. Pelo fato de serem mais resistentes ao intemperismo químico, esses materiais ficam expostos no perfil por mais tempo, uma vez que as linhas não são necessariamente formadas por seixos ou materiais de maior granulometria, e sim, por grânulos e veios de quartzo. Para Riquier (1969), a organização dos materiais em linha ocorre

através da remodelação, e especialmente, pela pedogênese e compactação do solo, quando a estrutura da rocha não é mais conservada. Nesse caso, para explicar a direção e a espessura da linha, deve-se levar em consideração a análise temporal e a disposição das camadas no perfil.

Nesse âmbito, Collinet (1969) e Riquier (1969) defendem que as Linhas de Pedra resultam do intemperismo químico e do processo pedogenético, em regiões em que o clima e a temperatura propiciam água e calor suficientes para o intemperismo atuar sobre o maciço rochoso. Assim, levam solo à alteração e à remoção em solução de minerais menos resistentes, permanecendo no perfil, as feições de linha dos materiais mais resistentes (COLLINET, 1969, p. 9).

Além das hipóteses descritas até o momento pode-se citar as elencadas no quadro a seguir:

**Quadro 2:** Hipóteses para a origem das Linhas de Pedra.

HIPÓTESES	AUTORES
Hipótese do remanejamento por cupins.	Cailleux (1957), Segalen (1969), Cailleux E Tricart (1957), De Ploey (1964), Miklos (1992-93), Nicola (1993).
Hipótese da ação eólica.	Riou (1965).
Hipótese da descida dos elementos de maior granulometria no perfil.	Laporte (1962).
Hipótese do coluvionamento (paleopavimento)	Mousinho; Bigarella (1965), Penteadó (1969), Riquer (1969), Bigarella; Becker; Santos (1994), Ab'Sáber (1969, 1971) Riquer (1969),
Hipótese do estado de equilíbrio.	Young (1972), Nye (1955), Smyth; Montgomery (1962), Berry; Ruxton (1959).
Hipótese do intemperismo residual.	Collinet (1969), Porto (2003), Riquier (1969).
Hipótese do transporte de materiais em superfície.	Heinzelin (1955), Marchesseau (1965), Riou (1966).
Hipótese de inversão de materiais.	Segalen (1969).

Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa a partir de Hiruma (2007) e Santos *et al.* (2010).

Nessa abordagem, Santos (2010) afirma que a hipótese da ação eólica foi formulada por Riou (1965) em estudos na África, na qual a origem da Linha de Pedra ocorreria em período seco, em que afloram os fragmentos de quartzo e posteriormente eram recobertos por frações finas de origem eólica, além dessa, tem-se a teoria de Laporte (1962), a qual considerava que os materiais com maior tamanho desceriam e ficariam concentrados em subsuperfície no solo.

Nos estudos realizados em Uganda, por Brown *et al.* (2004) e colaboradores, sobre a formação das linhas de pedra, utilizou-se análises estatísticas e geoquímicas, a fim de que

voltasse a discussão no que se refere à origem autóctone ou alóctone. De acordo com Santos (2010), ao concluir o trabalho, os autores não determinam se ocorreu transporte ou não na formação da linha, demonstrando que os estudos da década de 60 até os estudos atuais não chegam a uma conclusão definitiva sobre a origem das Linhas de Pedra.

Ainda sobre os estudos de Uganda, os autores citados propuseram uma interpretação com base na erosão fluvial e na deposição, em que nos períodos de erosão intensa os veios de quartzo, os blocos de ferruginosos e de cascalho seriam mais resistentes ao transporte, resultando em uma topografia irregular. Com o passar do tempo, segundo Santos (2010), acontece a deposição fluvial preenchendo a topografia irregular, fazendo com que o material que resistiu à erosão permanecesse em forma de linha abaixo do material depositado.

Observando as hipóteses apresentadas, percebe-se que elas se alteram conforme a perspectiva de cada autor e as características que encontram em suas áreas de estudo. Portanto, as Linhas de Pedra devem ser analisadas com particularidade em cada região onde são encontradas.

### **2.3.1 Colúvio: como hipótese para a formação das Linhas de Pedra.**

A definição de colúvio possui várias controvérsias relacionadas ao posicionamento na vertente, ao transporte e às características do material, desse modo, busca-se apresentar alguns de seus significados.

Para Suguio (2003), colúvio, coluvião ou depósito coluvial são “depósitos incoerentes de aspecto terroso, em geral localizados em vertentes e sopés de relevo mais ou menos acentuados, normalmente resultantes da movimentação e declive abaixo de um elúvio. Comumente, os depósitos de tálus e detritos de escarpas [...]” (SUGUIO, 2003, p.19), o autor considera que o transporte colúvio ocorre principalmente por processos gravitacionais.

No entanto, colúvio também pode ser considerado como o revestimento subsuperficial generalizado da paisagem, uma vez que, “o colúvio seria encontrado recobrimdo as seções médias e inferiores das vertentes, aumentando a sua espessura quando diminuem os declives, entrando então em contato com o alúvio depositado pelo curso d’água no fundo do vale” (MOUSINHO; BIGARELLA, 1965, p.58). Assim, na parte superior da vertente passa a predominar o elúvio, a rocha alterada *in situ*, o qual não aparece apenas em locais onde aflora a rocha sã.

Os colúvios se apresentam geralmente com aspecto maciço e são compostos por sedimentos areno-argilosos, mas podem conter fragmentos de rocha de múltiplos tamanhos ou pouco intemperizados. A maioria dos pesquisadores acredita que o colúvio resulta de deslocamento em curta distância, através do movimento gravitacional chamado rastejo, assim, “dependendo dos materiais envolvidos tem-se rastejo de solo e rastejo de rocha” (BLOOM, 1978 *apud* SUGUIO, 2003, p. 19).

Por essa razão, o colúvio muitas vezes é associado à formação das Linhas de Pedra, em virtude de sua composição heterogênea que continua nas encostas, podendo-se encontrar afloramentos que evidenciam depósitos colúviais com linhas de pedra. Nesse sentido,

[...] um exame mais acurado pode até revelar várias gerações de colúvios, ou diferentes fases de colúviação separadas por horizontes de paleossolos ou com ‘linhas de pedras’ ou ‘linhas de seixos’, compostas em geral por fragmentos minerais ou rochosos angulosos ou subangulosos, representando muitas vezes, paleopavimentos detriticos dispostos mais ou menos paralelamente às vertentes. (SUGUIO, 2003, p.19).

Ainda quanto aos colúvios, Queiroz Neto (2001) “considera que correspondem a fases de deposição de materiais por movimentos de massa, seguidas por momentos de estabilidade com pedogênese e formação de paleo-horizontes A” (*ibid.*, p.69). Devido à grande quantidade de interpretações e descrições do conceito de colúvio, pretende-se no Quadro 3, extraído de Cruz (2006) mencionado por Bigarella *et al.* (1994), descrever os autores, cujos estudos estão relacionados às características principais na composição do termo colúvio.

**Quadro 3:** Características descritivas e genéticas do termo colúvio segundo diversos autores.

CARACTERÍSTICAS NA COMPOSIÇÃO DO TERMO	AUTORES
Posicionamento na vertente	Stamp (1966); Fairbridge (1968); Strahler, Strahler (1978); Bates, Jackson (1980); Campy, Macaire (1989); Daniels, Hammer (1992); Thomas (1994); Bigarella <i>et al.</i> (1994); Suguio (1998); Taylor, Enggleton (2001); Guerra, Guerra (2001); Suertegaray <i>et al.</i> (2003); SSSA (2005).
Características físicas do material	Stamp (1966); Fairbridge (1968); Bates, Jackson (1980); Campy, Macaire (1989); Butt; Zeegers (1992); Daniels, Hammer (1992); Bigarella <i>et al.</i> (1994); Suguio (1998); Taylor, Enggleton (2001); Guerra, Guerra (2001); Suertegaray <i>et al.</i> (2003); SSSA (2005).
Transporte por ação gravitacional/ movimentos de massa	Suguio (1998); Taylor; Enggleton (2001); Guerra & Guerra (2001); Suertegaray <i>et al.</i> (2003).

Transporte por escoamento superficial	Baulig (1956)*; Plaisance; Cailleux (1958)*. Strahler; Strahler (1978);
Transporte por movimentos de massa e/ou escoamento superficial	Stamp (1966); Fairbridge (1968); Bates, Jackson (1980); Campy, Macaire (1989); Butt; Zeegers (1992); Daniels, Hammer (1992); Bigarella <i>et al.</i> (1994); Thomas (1994); SSSA (2005).

Fonte: (CRUZ, 2006, p. 12 *apud* BIGARELLA *et al.*,1994)<sup>2</sup>.

As controvérsias que envolvem o termo colúvio estão relacionadas principalmente ao tipo de transporte, à localização na vertente e às características do material que compõem o colúvio. Percebe-se que dependendo das características da região, solo, rocha e da escola que os autores seguiram em seus estudos, ocorriam pequenas ou grandes mudanças no conceito do termo. Segundo Bigarella; Mousinho (1965), “os colúvios caracterizam-se pela ausência de estrutura e baixo coeficiente de seleção. Texturalmente contêm seixos esparsos e frequentemente grânulos de quartzo, algumas vezes verifica-se presença de feldspatos” (*ibid.*, p. 164), mineral que é destruído pelo processo de movimento de massa.

Em busca de maior esclarecimento sobre os colúvios, aparecem alterações que levam à expansão do conceito, surgindo às chamadas rampas de colúvio, em descrição efetuada por Bigarella; Mousinho (1965). Nos estudos de vales planos, esses autores consideram que as rampas de colúvio “foram originadas essencialmente por processos de solifluxão e de escoamento superficial. Sua natureza clássica, siltico-areno-argilosa depende fundamentalmente da litologia da área fonte” (BIGARELLA; MOUSINHO, 1965, p. 164), expandindo a mesma visão para outras regiões, só que agora considerando não apenas os movimentos de massa, mas também, os processos de solifluxão.

Para os autores, a configuração da topografia de inclinação suave refere-se à rampa de colúvio, que modifica o aspecto original da forma dos baixos terraços, podendo então ser identificada pela estrutura. Sobre essa questão, Moura; Silva (1998), ao caracterizar as formas de relevo encontradas no Sudeste brasileiro, descrevem que:

Os segmentos côncavos (hollows) teriam recuado mais rapidamente que as encostas convexas (noses), que constituiriam as áreas-fonte dos depósitos colúviais encosta abaixo. Esta dinâmica de erosão e sedimentação levaria ao desenvolvimento de feições deposicionais características nas reentrâncias das cabeceiras de drenagem em anfiteatro: os complexos de rampa de colúvio. (MOURA; SILVA, 1998, p.150).

<sup>2</sup>Dissertação de mestrado intitulada “Assinatura geoquímica de unidades colúviais da bacia do córrego do Rio Grande – depressão de Gouveia/MG”, de Luiz Otavio Martins Cruz.

Segundo Bigarella (2003), “as rampas colúvio-aluvionares foram originadas essencialmente por processos de solifluxão (ou equivalentes) e de escoamento superficial difuso ou torrencial” (*ibid.*, p. 1077). Desse modo, o material que constitui esses depósitos dependerá da litologia da área fonte, que ao serem transportados perdem a estrutura, sua espessura se torna variável e a sua composição granulométrica também é incerta e sem seleção. Ainda conforme o autor,

O clima úmido atualmente vigorando nas regiões florestais não seria favorável à formação das rampas. Dessa forma, as rampas de colúvio-aluvionares, constituem feições herdadas de condições climáticas pretéritas, relacionadas a fases ou flutuações para o clima mais seco. (BIGARELLA, 2003, p. 1077).

Ou seja, as rampas de colúvio encontradas atualmente revestindo a topografia e recobrando os terraços indicam processos que ocorreram no passado e possuem significado paleoclimático. Sobre isso, é importante reconhecer que existem diferenças entre a rampa de colúvio e terraços fluviais. Nesse sentido, Bigarella (1965) assinala que as rampas de colúvio também podem ser originadas de processos não fluviais, fazendo com que não haja correspondência entre o terraço fluvial e a rampa de colúvio.

Assim, “o material do terraço é formado principalmente por um cascalheiro, o qual foi depositado na calha de drenagem pela ação de transporte em lençol é, portanto, geneticamente diferente do material que lhe é sotoposto” (BIGARELLA, 1965, p. 164) a rampa de colúvio. Assim, a forma morfológica originada pela colúviação é totalmente independente da forma antiga originada pelo terraço no ambiente fluvial.

Por esse motivo, torna-se relevante o entendimento com relação à formação do colúvio, visto que muitas vezes, ele pode estar associado à origem das linhas de pedra, ou que estas estariam separando um depósito colúvio de outro.

#### **2.4 Dinâmicas de Superfície: Intemperismo, regolito, manto de intemperismo e transporte.**

Nesse tópico busca-se compreender os conceitos que fazem parte da dinâmica da superfície terrestre, que envolvem os fatores externos como o intemperismo (físico, químico,

biológico), regolito, manto de intemperismo, colúvio, elúvio elementos, processos que se relacionam e colaboram para o entendimento sobre a formação das Linhas de Pedra.

Ao abordar a dinâmica da superfície, Mousinho; Bigarella (1965) consideram que “os produtos detríticos da saturação das rochas constituem a estrutura subsuperficial da paisagem” (*ibid.*, p. 44). Essas paisagens são formadas através dos processos de intemperismo que causam alterações nas rochas de caráter mecânico, físico e químico, originando um manto composto de material detrítico com frações variadas, que “pode permanecer *in situ* como material residual (elúvio *sensu stricto*), sem movimentação ou, mais comumente, sofrer vários graus de deslocamento (colúvio); também podem ser totalmente removidos” (*ibid.*, 1965, p.44).

Suguió (2003), ao tratar do intemperismo, considera-o como um conjunto de processos naturais que causa a alteração das rochas na interface entre a atmosfera e a litosfera. Para o autor, a intensidade dos processos de intemperismo está condicionada a “três grupos de variáveis: condições climáticas (principalmente temperatura e pluviosidade); propriedades dos minerais (composição, coesão, etc.); e, variáveis locais (vegetação, vida animal, lençol freático, etc.)” (*ibid.*, p. 13).

O intemperismo pode ser determinado por processos físicos, químicos e biológicos. No caso do intemperismo físico ocorre a ruptura das rochas que compõem a crosta terrestre, através de esforços diretamente mecânicos atribuídos a várias causas, sendo três os principais mecanismos: “alívio de pressão, cristalização ou congelamento em poros ou fraturas e expansão térmica” (SUGUIÓ, 2003, p.13).

O intemperismo químico necessita de água para realizar a decomposição da rocha e ocorre em colaboração com o intemperismo físico, principalmente quando as águas da chuva caem compostas de elementos químicos presentes na atmosfera. É “quando o equilíbrio do conjunto de átomos, que constituem os minerais é rompido e ocorrem as reações químicas que conduzem o mineral a um arranjo mais estável, sob condições mais próximas da superfície terrestre” (*ibid.*, p. 14). Esse fenômeno faz com que o equilíbrio seja alterado, determinando novas fases às substâncias, com nova forma, temperatura e pressão. Já o intemperismo biológico, de acordo com o autor, ocorre geralmente pelas das raízes das plantas e dos animais que habitam as rochas e o solo, todavia, seus efeitos são os mesmos do intemperismo físico/químico.

A partir desses processos “são originadas partículas minerais discretas (produtos residuais) presentes na rocha matriz, que permanecem mais ou menos inalteradas, ao lado de

novos minerais formados por intemperismo, além de materiais em solução” (SUGUIO, 2003, p.13). Alguns desses produtos do intemperismo podem ser reconhecidos por meio dos argilo-minerais como o mineral olivina, que ao passar pelo processo de intemperismo, tem como produto residual a limonita e a hematita, expondo o processo de alteração mineral na composição do solo.

O tipo de intemperismo que predomina irá variar de acordo com a condição climática do ambiente, sendo que a desintegração mecânica e a decomposição química atuam sobre a natureza ao mesmo tempo, destacando-se uma sobre a outra dependendo do controle climático. Dessa forma, “nas regiões tropicais úmidas a decomposição química da origem a um espesso manto de material argiloso” (MOUSINHO; BIGARELLA *et al.*, 1965, p.45), em regiões subárticas, com grandes altitudes e latitudes temperadas, onde existe o predomínio do intemperismo físico, principalmente pelo congelamento da água (SUGUIO, 2003, p.13).

Portanto, pode-se dizer que o intemperismo é composto pela fase de fraturamento e decomposição da rocha matriz. Esse processo tem como resultado a formação do regolito e em seguida do solo. Em decorrência, o material alterado fica preparado para os processos seguintes de erosão, transporte e deposição que podem ser efetuados pela água, vento, gravidade, além das atividades antrópicas.

A rapidez no aprofundamento do intemperismo em virtude da decomposição química varia em função da natureza da rocha e do sistema de diaclasamento. As diaclases, ou seja, as aberturas de fraturas na rocha através do intemperismo físico favorecem a alteração química. Assim, “quando o sistema de diaclases é ortogonal formam-se seixos ou blocos arredondados (decomposição esferoidal). Entretanto, como a passagem para a rocha são é geralmente gradativa, há uma tendência para aumentar o grau de angulosidade em profundidade” (MOUSINHO; BIGARELLA *et al.*, 1965, p.46).

O intemperismo químico, por sua vez, causa a separação das placas de rocha, enquanto no centro desse bloco se mantém a rocha praticamente inalterada, se a parte central ficar exposta pode se desprender, mantendo a forma arredondada, imitando o transporte por rolamento (Figura 11). Dessa forma, “a decomposição esferoidal constitui a alteração progressiva do sistema de diaclasamento a partir de suas margens ou juntas, em direção ao interior do bloco” (BIGARELLA, 1994, p. 342).

**Figura 11** - Afloramento expondo a decomposição esferoidal em rochas basálticas.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa (05/05/2012).

Nota: Norte da Bacia do rio das Pedras - Guarapuava –PR.

Esse processo ocorre nos basaltos do terceiro planalto paranaense, na região de Guarapuava (Figura 11), sua decomposição dá origem aos Latossolos, a intensidade do processo depende da condição climática, umidade e temperatura.

Com a manutenção das condições necessárias para a decomposição esferoidal, amplia-se em profundidade a decomposição da rocha, formando uma massa de solo homogênea e espessa. Todavia, conforme Mousinho; Bigarella (1965), as alterações climáticas ao longo do tempo têm provocado a retirada desse material decomposto das vertentes, juntamente com a vegetação através dos movimentos de massa.

As áreas que estão sob o processo de intemperismo apresentam perfis compostos por solo e material em alteração, que podem ser chamados de regolitos. De acordo com Bigarella (1994), esses perfis são encontrados entre a rocha fresca e o solo na superfície do terreno e não têm distribuição uniforme, subdividindo-se em várias zonas dispostas num arranjo constante, embora não se trate de horizontes pedológicos. Para Porto (2000), o regolito

[...] nada mais é do que uma fina camada ou película representando um contato transicional entre a litosfera e a atmosfera. Como o regolito entende-se todo material inconsolidado que recobre o substrato rochoso inalterado, ou prolito, sendo formado por material intemperizado *in situ* ou transportado. (*ibid.*, p.25).

Desse modo, no regolito as propriedades físicas, químicas, minerais e a estabilidade da rocha se modificam progressivamente de baixo para cima até chegar aos solos de superfície, buscando estar em equilíbrio com as condições ambientais vigorantes.

Ainda ao tratar de áreas intemperizadas, Suguio (2003), considera que “a maioria dos perfis de intemperismo é caracterizada, na porção superior por um aumento de volume, enquanto o saprolito é restrito a rocha menos intemperizada com mudança desprezível de volume”. Em outras palavras, o saprolito retém a estrutura da rocha original, “desta maneira, os produtos de alteração predominantemente química, que constituem os mantos de intemperismo podem ser distinguidos em perfis verticais e pelas características físicas e mineralógicas” (*ibid.*, p.18).

Os conceitos apresentados indicam o quanto a superfície terrestre é formada por processos que interagem e dinamizam a área de contato entre a atmosfera e a litosfera, promovendo o surgimento de inúmeros conceitos e denominações, como o caso do manto de intemperismo que “possui aproximadamente o mesmo significado de regolito que é designação atribuída à porção externa de cobertura da litosfera, diretamente atingida pelos processos de intemperismo” (SUGUIO, 2003, p. 17).

Nesse sentido, para Toledo *et al.* (2009), o manto de intemperismo também pode ser chamado de alterita, composto por uma “assembleia de minerais secundários (argilo minerais, óxidos, hidróxidos, oxi-hidroxidos) e minerais primários resistentes à ação intempérica, pode gerar diferentes tipos de produtos: solos e depósitos minerais lateríticos ou supérgenos” (*ibid.*, p. 226), que são horizontes compostos por minerais de valor econômico.

Um dos produtos residuais do intemperismo é o elúvio, originado por eluviação, processo pelo qual os materiais do solo de um horizonte superior são deslocados em solução ou suspensão para níveis inferiores. A eluviação afeta inicialmente os sais mais solúveis e passam a atuar sobre as substâncias menos solúveis como a sílica, nos lateritos ou os argilo-minerais, nos podsóis. Segundo Suguio (2003), os horizontes que perderam materiais por eluviação formam os eluviões ou horizontes eluviais, e os que recebem materiais constituem os iluviões ou horizontes iluviais, entrando ambos na decomposição do regolito.

Nessa abordagem, elúvio, eluvião ou depósito eluvial são praticamente sinônimos de saprolito, sendo representados por material residual sem movimentação, isto é, que permaneceu *in situ* após a sua formação. De acordo com Suguio (2003), “em geral, a passagem do elúvio para a rocha matriz não é brusca, mas transicional. Além disso, embora o

elúvio seja bastante decomposto quimicamente, ainda exhibe as estruturas originais das rochas” (*ibid.*, p.18).

Ao tratar do conceito de regolito, Mousinho; Bigarella (1965) consideram-no um “conjunto do material detrítico recobrindo a rocha fresca e derivando dos processos de intemperismo. Do ponto de vista estrutural é constituído fundamentalmente por elúvio e colúvio” (*ibid.*, p. 47). Sob o ponto de vista dos autores, o elúvio refere-se à rocha alterada *in situ* que apesar de constituir muitas vezes um manto bastante decomposto quimicamente, ainda retém a sua estrutura original. Para eles, a denominação “colúvio refere-se ao material que sofreu deslocamento, isto é, o resultado da movimentação de elúvio”. Dessa forma, “o elúvio compõe áreas mais restritas como a estrutura das linhas de cristas e ombreiras, já o colúvio recobre toda a superfície do terreno, tendo maior espessura nas depressões da topografia” (MOUSINHO; BIGARELLA, 1965, p.47).

### **3. MÉTODO DE TRABALHO**

A fim de compreender a gênese das Linhas de Pedra em Guarapuava – PR foram utilizados métodos de trabalho de campo, laboratório e gabinete para posteriormente testar as hipóteses que foram levantadas a partir de análise bibliográfica.

#### **3.1 Trabalhos de campo**

Foram realizadas trabalhos de campo no município de Guarapuava, com o objetivo de reconhecer os afloramentos que apresentam Linhas de Pedra que sejam representativas para o município. Sendo localizado à meia encosta, o afloramento na bacia do rio Bananas foi eleito pela representatividade que o rio possui, configurando-se não como uma área apenas de deposição como o são as áreas de baixa encosta e fundo de vale, além disso, a Linha de Pedra é composta por diferentes materiais entre fragmentos de rochas e minerais. Outro fator que colaborou com essa escolha fora a facilidade de acesso ao afloramento, visto que o local de pesquisa se encontra na beira de uma estrada rural na localidade de Lajeado se distanciando apenas 16Km do centro da cidade de Guarapuava.

##### **3.1.1 Seção sistemática**

Com a escolha do afloramento já efetuada, realizou-se a limpeza da área para o reconhecimento da Linha de Pedra ao longo do afloramento como um todo. Em seguida, foi elaborada uma seção sistemática, cujas medidas permitiram verificar a sua espacialização bidimensional para posterior individualização e descrição das unidades pedológico/sedimentares que o compõem.

**Figura 12** - Vista geral do Afloramento Lajeado com a Linha de Pedra.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa (2012).

O afloramento em estudo possui de 9,60m de comprimento e sua altura varia entre 3,30 e 3,60m. Nessa unidade de estudo foram identificadas e individualizadas sete unidades, as quais foram identificadas por números, possibilitando o reconhecimento geral do afloramento.

### **3.1.2 Coleta de amostras deformadas**

A coleta das amostras para datação  $^{14}\text{C}$ , fitólitos e isótopos estáveis do carbono  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ , foi realizada através da abertura e do aprofundamento do afloramento com uma retroescavadeira (Figura 13). Após esse trabalho, foi necessário maior aprofundamento utilizando pá de mão e enxada, efetuando o emparelhamento e a limpeza do local utilizado. Fato que possibilitou a retirada de amostras sem contaminação, as quais foram coletadas da base para o topo do afloramento com intervalo de 10 em 10 cm, sem entrar em contato direto com as mãos, apenas com plásticos e/ou papel alumínio.

**Figura 13:** Procedimentos para coleta de amostras.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa (2013).

Conforme pode ser observado pela Figura 13, a imagem “A” refere-se à utilização da retroescavadeira para aprofundamento e limpeza do afloramento; a “B” ao afloramento já preparado, com a indicação dos pontos de coleta das amostras para datação  $^{14}\text{C}$ ; a imagem “C” diz respeito ao procedimento de coleta amostra para datação  $^{14}\text{C}$  utilizando faca e forma de alumínio moldável; e a “D” refere-se à coleta das amostras para isótopos estáveis e fitólitos utilizando o saco plástico sobre a mão e colocando a amostra com a faca.

## 3.2 Análises Laboratoriais

### 3.2.1 Análise Granulométrica

O emprego da granulometria colaborou para a identificação da medida do tamanho dos grãos, necessário para estabelecer a distribuição quantitativa das partículas pelo perfil pedológico. Conforme sugere Suguio (1973), a fim de encontrar a textura das unidades utilizou-se o diagrama triangular.

Realizou-se análise granulométrica em duas sequências diferentes no afloramento Lajeado, uma identificada com números que buscou reconhecer as características físicas das sete unidades individualizadas no afloramento e outra que foi realizada, seguindo uma linha vertical de sequência base/topo do afloramento identificada com letras do alfabeto.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Geomorfologia Dinâmica e Aplicada da UNICENTRO, com as amostras deformadas coletadas na seção sistemática, adotando a rotina de separação de materiais grosseiros através do peneiramento, e dos materiais finos pelo sistema de pipetagem, método 1.16.1 da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979, adaptada). As amostras coletadas no perfil foram secas em estufa a uma temperatura de 85°C por 24 horas, para em seguida, efetuar a desagregação mecânica com um gral de porcelana.

Posteriormente, coloca-se todo o material desagregado na peneira com as frações maiores de 4 mm (seixos), agitando-os por quinze minutos em peneira, os seixos que permaneceram na peneira foram pesados e anotados em formulário. Do material que passou pela peneira, retira-se 50g, e coloca-se sobre um conjunto de peneiras sobrepostas em sequência de 2.0 mm, 1.0 mm, 0.50 mm, 0.250 mm e 0.125 mm que são agitados por 15 minutos, o que fica retido em cada peneira devido ao tamanho do agregado que é retirado, em seguida pesado e anotado em formulário. O material que não ficou retido nas peneiras, ou seja, o que restou no último recipiente, foi colocado em copo plástico e imerso em solução dispersante composta por 25 ml de Hidróxido de Sódio (NaOH), sendo agitado com bastão de vidro e permanecendo por 12 horas. Depois disso, acrescenta-se 25 ml de Peróxido de Sódio, que agitados por 10 minutos com bastão de vidro, permaneceram em repouso por mais 12 horas.

Após o período de 24 horas, o material foi colocado em uma peneira com abertura de 0,0625 mm e lavado com no máximo 1000 ml água destilada. Os sedimentos retidos na

peneira foram colocados em uma placa de Petri (anteriormente pesada e identificada) e levados à estufa para secagem, após a secagem, realizou-se a pesagem e anotado em formulário, a diferença entre os valores de pesagem correspondem à areia muito fina na amostra (EMBRAPA, 1979).

O material que passou pela peneira foi depositado em uma proveta de 1000 ml para a realização da rotina de pipetagem, em que são coletadas as frações de silte e argila. No decorrer desse trabalho, a sala de coleta e a solução aquosa se mantiveram na temperatura de 20°C. Com a temperatura estabilizada, e baseando-se na lei de Stoke, da velocidade de decantação, efetuou-se o cálculo do tempo para coleta de partículas na fração silte e argila. Os tempos estipulados foram de: 1min55seg (silte grossa), 7min 40seg (silte média), 30min 40seg (silte fina), 1h 01min19seg. (silte muito fina) e, 4h 55min (argila). Agitou-se o material contido nas provetas por 1 minuto, seguido da liberação do cronômetro inicia-se a contagem do tempo para coleta das amostras.

No tempo pré-estabelecido, mergulha-se uma pipeta de 50 ml à profundidade de 20 cm na primeira coleta, as quatro coletas seguidas no tempo estipulado são realizadas a 10 cm de profundidade. Então, o material coletado foi depositado em Beker (anteriormente pesado e identificado) de 50 ml, o qual permaneceu na estufa para secagem na temperatura de 85°C. Depois de secas, as amostras foram pesadas, e os valores anotados em formulário. Após o término desse trabalho, os dados foram transferidos para planilha do *Microsoft Excel*®, no qual se efetua os cálculos estatísticos e a elaboração dos gráficos realiza-se juntamente com o *Corel Draw X5*®.

### **3.2.2 Grau de Arredondamento, Esfericidade e Rugosidade**

Essa análise colaborou para reconhecer se houve transporte na formação da Linha de Pedra – objeto dessa pesquisa, proporcionando forma arredondada e o alisamento de suas paredes, ou então, para saber se estes são de origem local e foram desagregados pelo processo de intemperismo.

Os grânulos foram analisados a partir da observação de suas formas e comparação com a carta de esfericidade (Anexo1), utilizando-se a carta modificada por Castro (2008) de Bullock *et al*, a partir de Petti John (1957).

Foi efetuada a comparação de 165 fragmentos coletados na linha de pedra de forma aleatória, com a carta de esfericidade, segundo o grau de arredondamento, esfericidade e rugosidade. Posteriormente, a forma do fragmento é classificada segundo as suas faces: angular quando apresenta facetas com vértices agudos, como subangular quando as facetas têm vértices ligeiramente arredondados, como subarredondado quando as curvas intercalam-se a facetas, como arredondado quando apresenta curvas não concordantes e como bem arredondado quando apresenta somente curvas suaves e concordantes (CASTRO, 2008, p.53)

Para detectar a esfericidade leva-se em consideração, segundo Castro (2008), o grau de arredondamento da amostra, podendo classificá-la em esférica, subesférica, subalongada e alongada. Em se tratando da rugosidade do fragmento considera-se a possibilidade da superfície ter sofrido (ou não) alisamento ou de apresentar-se (ou não) áspera.

### **3.2.3 Fitólitos**

O fitólito compõe um registro da planta que fica no solo após a sua morte, possibilitando reconhecer o tipo de vegetação que ocupou a região do afloramento no passado. No trabalho de campo, as amostras para identificação fitolítica foram coletadas da base até o topo do perfil, com intervalo de 10 em 10 cm, identificando-as de acordo com a profundidade no perfil vertical. Em seguida, realizou-se o transporte das amostras para o Laboratório de Geomorfologia Aplicada da UNICENTRO, onde foram secadas em estufa sob uma temperatura de 50 °C durante 12 horas. Após o processo de secagem, o material foi peneirado (0,25mm), e separando 15g do material que passou pela peneira, que foi levado ao Laboratório de Estudo Paleoambientais (LEPAF), possibilitando a sequência dos procedimentos baseados nos estudos de Santos (2013).

As 15g de amostra já separadas foram colocadas em cadinho de porcelana, elevados para a mufla à temperatura de 450°C durante 4 horas, procedimento pelo qual ocorre a queima da matéria orgânica. O material queimado foi colocado em Becker de 500 ml, completando-se o volume de 100 ml com ácido clorídrico. Esta solução foi aquecida a 50°C durante 20 minutos, para que ocorra a eliminação de impurezas das cinzas e do óxido de ferro. Após ser resfriado o material, completa-se, novamente o volume de 100 ml, com água destilada e aguarda-se a decantação para a lavagem (joga-se a água e permanece no fundo o material a ser extraído), este processo é repetido por várias vezes, podendo haver variação na quantidade

de lavagens, dependendo do local onde a amostra foi coletada, pois esse processo visa à retirada da argila.

Decorrido o processo de lavagem, o material é colocado em estufa para secar a 110°C. Posteriormente, mistura-se o material seco com Cloreto de Zinco ( $ZnCl_2$ , densidade 2,35g/cm<sup>3</sup>), agitando-o com bastão de vidro. Em seguida centrifuga-se a solução por 5 minutos, retirando apenas a porção sobrenadante; lava-se novamente com água destilada (centrifugação 1.000 rpm/5min), sendo acrescentadas poucas gotas de HCl para colaborar com a retirada do Cloreto de Zinco. Em seguida, efetuam-se várias lavagens com água destilada até a retirada completa do Cloreto de Zinco. Novamente retira-se o sobrenadante e o material restante foi pingando com pipeta de 50 ml sobre as lâminas de vidro, que são secadas em chapa aquecida e cobertas com Entellan® e lamínula, foram confeccionadas oito lâminas para cada amostra coletada.

Posteriormente, as lâminas seguem para a identificação e contagem dos fitólitos, que foi realizada em microscópio biológico com a utilização da tabela de contagem que possui as formas mais conhecidas de fitólitos (Anexo 2), a contagem de cada amostra foi realizada em três lâminas, com oito transectos, quando necessário em mais laminas até atingir duzentos fitólitos.

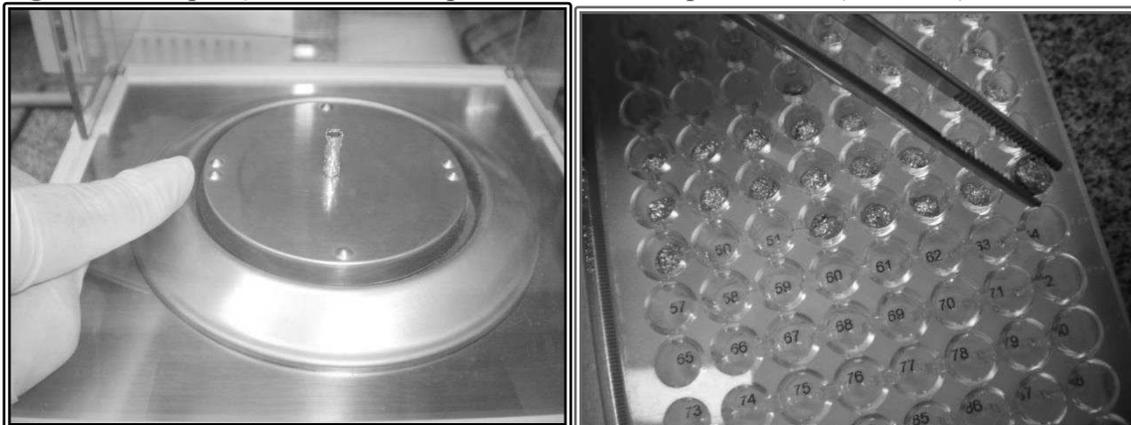
### 3.2.5 Análise de Isótopos Estáveis de Carbono $\delta^{13}\text{C}$

Esta análise compõe a discriminação isotópica, possibilitando reconhecer quais são as plantas  $\text{C}^3$  que caracterizam as florestas, e as plantas  $\text{C}^4$  que caracterizam as gramíneas. A coleta das amostras para análise de isótopos estáveis de carbono  $^{13}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}$  foi realizada de 10 em 10 cm, retirando-se em média 100 gramas de amostra, identificados com sua profundidade em dois afloramentos, sendo o que apresentava a Linha de Pedra, e outro afloramento aberto a uma distância de 100m que ficou identificado como afloramento de referência, as amostras não tiveram contato direto com as mãos. Em seguida, levou-se para o Laboratório de Geomorfologia Aplicada da UNICENTRO, onde foram secadas à temperatura de  $50^\circ\text{C}$  por doze horas. Decorrido esse processo, foram transportadas ao laboratório  $\text{C}^{14}$ /CENA na USP *Campus* ESALQ em Piracicaba – SP, onde foi possível dar sequência ao processo metodológico.

Cada amostra foi misturada de forma homogênea, sendo separados 5 gramas para a desagregação em almofariz de porcelana. Esse material foi pesado em balança de precisão, colocando-se 80 miligramas de amostra em microtubo moldável e próprio para utilização no espectrômetro. Molda-se com pinças até adquirir a forma de bolinha (Figura 14), que é colocada em forma numerada, seguindo a ordem de coleta no afloramento. Após esse processo, as amostras foram encaminhadas aos técnicos laboratoriais que utilizam o espectrômetro de massa para a realização do processo de discriminação isotópica/fracionamento isotópico.

Segundo Pessenda *et al.* (1996) quanto mais negativo os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais empobrecido em carbono é a amostra, sendo que as plantas  $\text{C}_3$  correspondem a plantas arbóreas (floresta), as  $\text{C}_4$  gramíneas de origem tropical.

**Figura 14** - Preparação das amostras para análise de isótopos estáveis ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ).



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa.

### 3.2.6 Datação de Humina com $^{14}\text{C}$

Para que os resultados de datação tenham uma boa resposta cronológica no afloramento, é necessária a escolha cuidadosa do local de coleta das amostras, que no caso desse estudo, o objeto pesquisado é formado pelas Linhas de Pedra, buscou-se então coletar as amostras de modo que representasse esta feição na cidade de Guarapuava-PR. A partir disso, foram coletadas duas amostras: uma delas 30 cm abaixo e outra a 30 cm acima da Linha de Pedra, sendo retirados 300g de cada amostra, sem contato direto com as mãos, para isso, foi utilizada uma faca, forma de alumínio e saco plástico, evitando a contaminação da amostra com material recente.

Depois de efetuada a coleta, o material foi transportado ao Laboratório de Geomorfologia Aplicada da UNICENTRO, onde foi realizada a preparação das amostras e posterior envio ao laboratório  $^{14}\text{C}$  - CENA/USP, que efetuou os encaminhamentos necessários.

A primeira etapa realizada, ainda em Guarapuava, chama-se extração da humina e seguiu os procedimentos descritos por Pessanda *et al.* (1996a).

Em sequência, separa-se 200g do material coletado em trabalho de campo, retirando todas as raízes com o uso de uma pinça. Posteriormente, o material foi secado, as formas de secagem foram forradas com papel alumínio de modo que recobrisse a amostra, a fim de que não ocorresse a contaminação, por sua vez, a secagem ocorreu em estufa a  $50^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas.

Após a secagem as amostras passaram pelo tratamento químico, que consiste primeiramente na desintegração ácida em que os 200g de amostra são colocados em uma solução, com 5 litros HCl ácido clorídrico (0,5 mol) a 70°C durante quatro horas. Em seguida, o material foi misturado com a solução, utilizando um bastão de vidro, após esse período e o resfriamento da solução para que fosse retirado o material sobrenadante, permanecendo apenas o resíduo que decantou na base do recipiente.

Esse resíduo passou por lavagens com água destilada até atingir o pH 3-4, sempre aguardando a decantação e retirando-se o líquido superior. Para as lavagens, ao retirar o sobrenadante, fora utilizado em todo o procedimento um “kitassato” ligado a uma bomba de vácuo e ao balão que estava com a amostra (Figura 15), o que evitou a movimentação do material acumulado.

**Figura 15** - Extração da humina.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa.

A segunda etapa do tratamento químico consistiu na reação do resíduo com o Hidróxido de sódio – Pirofosfato de sódio 0,10M. Para isso, preparou-se 3 litros dessa solução que foram divididos em três lavagens, cada lavagem utiliza 1 litro e tem duração de 12 horas (total de 36 horas), após as três extrações, o resíduo é lavado com água destilada até atingir o pH 3-4.

Na terceira e última etapa, realizada no Laboratório de Geomorfologia Dinâmica e Aplicada da UNICENTRO, ocorre a hidrólise do resíduo sólido, com 1 litro de HCl (3 mol) durante doze horas na temperatura de 100°C. Após esse período e o resfriamento do material, realiza-se a lavagem com água destilada até atingir o pH 3-4, retirando todo o material sobrenadante, depois leva-se à estufa para secagem a 50°C, o resíduo foi desintegrado e colocado em um saco plástico, sendo encaminhado ao Laboratório <sup>14</sup>C (CENA/USP) onde foi

submetido ao processo de síntese benzênica. A pequena quantidade de CO<sub>2</sub> adquirida com este processo foi colocada em um recipiente de vidro e encaminhada ao Laboratório da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, que realizou a datação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Afloramento Lajeado

A construção de seção sistemática permitiu reconhecer a disposição bidimensional do afloramento Lajeado, o qual apresenta 9,60m de comprimento e entre 3,30m e 3,60m de altura. É composto por seis unidades pedológico/sedimentares incluindo uma Linha de Pedra, conforme descrito a seguir.

A unidade 1 (Figura 16) corresponde à base do perfil que fica a uma profundidade de 3,30m, sua cor é bruno amarelado escuro (3/6 10YR), variegada com laranja, preto e amarelado, tem baixa plasticidade e é composto por rocha alterada, e textura areno-siltosa. O contato com a unidade suprajacente (unidades 3 e 4) e sua lateral (unidade 2) é abrupto.

A unidade 2 (Figura 16), situada na base do perfil, é bruno escuro (3/3 7.5YR) variegada com rosa, alaranjado, preto, branco, esverdeado e amarelo. Não possui plasticidade e os fragmentos encontrados são destorroados à mão. Os resultados de granulometria indicam textura areno-siltosa.

A unidade 3 apresenta cor bruno amarelado escuro (4/6 10YR) e se constitui em dois núcleos que se encontram imersos na unidade 4, sendo um deles em contato com a Linha de Pedra (Figura 16). A plasticidade é média e a textura areno-argilosa.

A unidade 4 é bruno amarelado escuro (3/4 5YR). O contato superior é com a Linha de Pedra é abrupto, apesar de serem encontrados pequenos fragmentos de rocha distribuídos em meio a esta unidade, a sua textura esta entre arenosa e areno-argilosa.

A Linha de Pedra tem cor predominante bruno avermelhado escuro (3/4 5YR), localizada cerca de 1,10m da superfície com espessura média de 20 cm (Figura 16). À vista desarmada é possível identificar areia muito grossa, grânulos, seixos e matacões. Esse material é constituído principalmente por fragmentos de basalto medianos a fortemente alterados, quartzo e calcedônia alterada, geralmente branca.

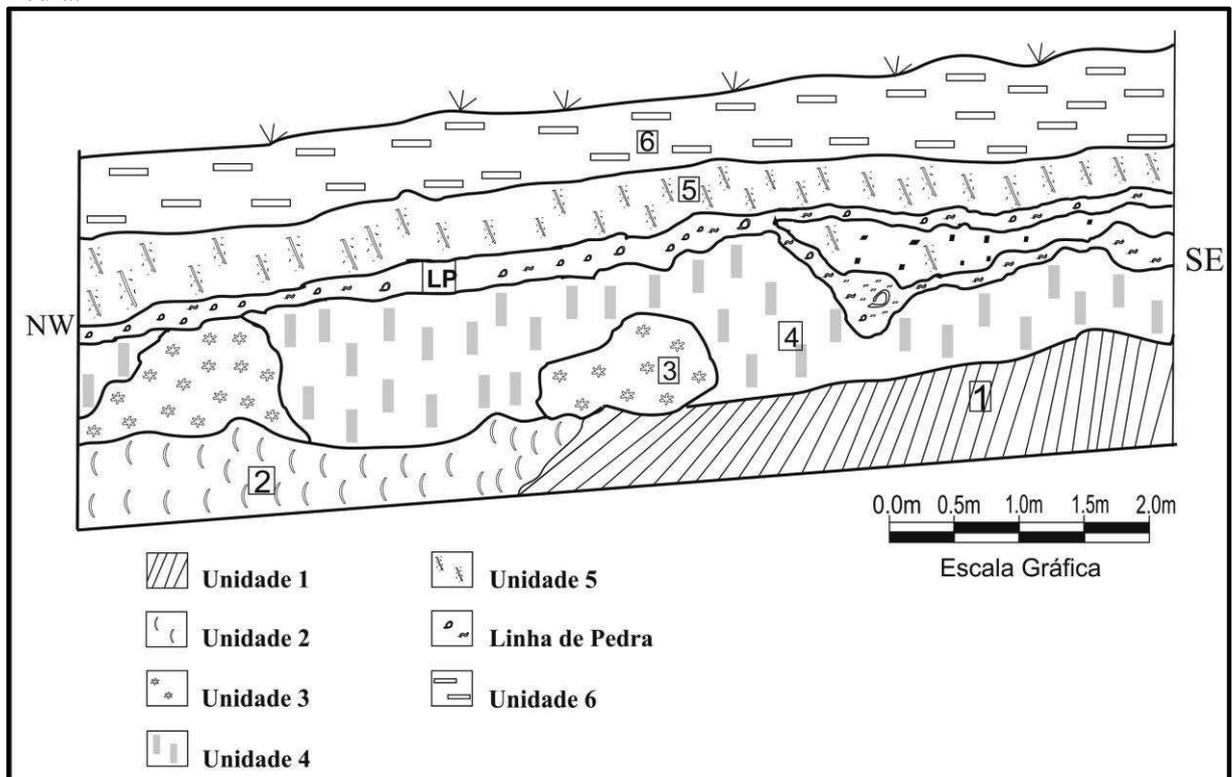
A distribuição espacial da Linha de Pedra no perfil não é homogênea. Ela se posiciona de modo sub-horizontal à superfície do terreno. No sentido sudoeste para Noroeste divide-se em duas unidades, que se unem novamente a aproximadamente 2,10m do início do afloramento SE (Figura 16). Aparentemente o material identificado à vista desarmada é o mesmo em toda a extensão dessa unidade. O material que se encontra no interior da

bifurcação da Linha de Pedra é formado por matriz fina, de textura argilo-siltico-arenosa com cor vermelha acinzentada (4/4 7.5R).

A unidade 5, por sua vez, possui textura areno-argilosa e plasticidade média, e cor vermelha acinzentada (4/4 7.5R) em toda sua extensão. Esta unidade apresenta pedalidade colunar, e seu contato com a Linha de Pedra e com a unidade 6 é abrupto.

A unidade 6 corresponde ao horizonte “A”, sua cor é vermelha acinzentada (4/4 7.5R), a matriz é seccionada por inúmeros biotúbulos de origem vegetal e de insetos. A organização do solo sugere uma pedalidade colunar. A superfície é composta por serapilheira com aproximadamente 5 a 7 cm de espessura. Sua textura é areno-argilosa.

**Figura 16** - Esquema do Afloramento Lajeado indicando as unidades encontradas e a Linha de Pedra.

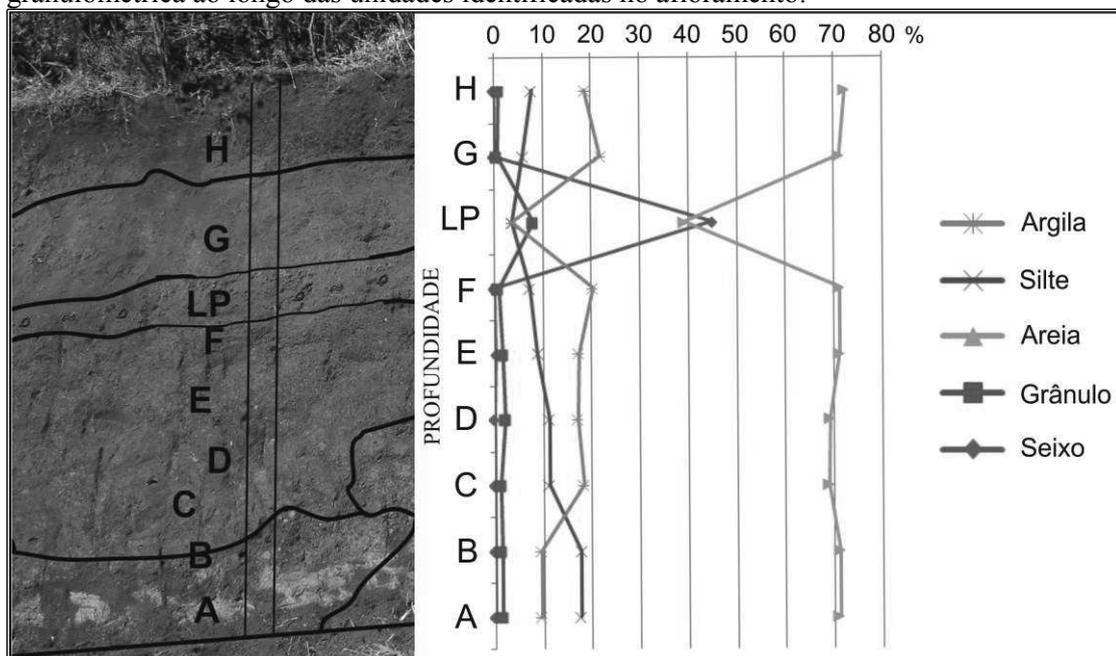


Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

## 4.2 Granulometria

A análise granulométrica das amostras coletadas no perfil (Figura 16) indicou maior quantidade da fração areia, com média de 67,36%, ao longo do perfil, a exceção da Linha de Pedra cujos percentuais de areia caem para 39%. Quando comparados os percentuais das frações argila, silte, grânulo e seixo das demais unidades do perfil com a Linha de pedra, fica evidente a mudança textural (Figura 17).

**Figura 17** - Vista parcial do afloramento; destaque para os pontos de coleta de amostras e distribuição granulométrica ao longo das unidades identificadas no afloramento.



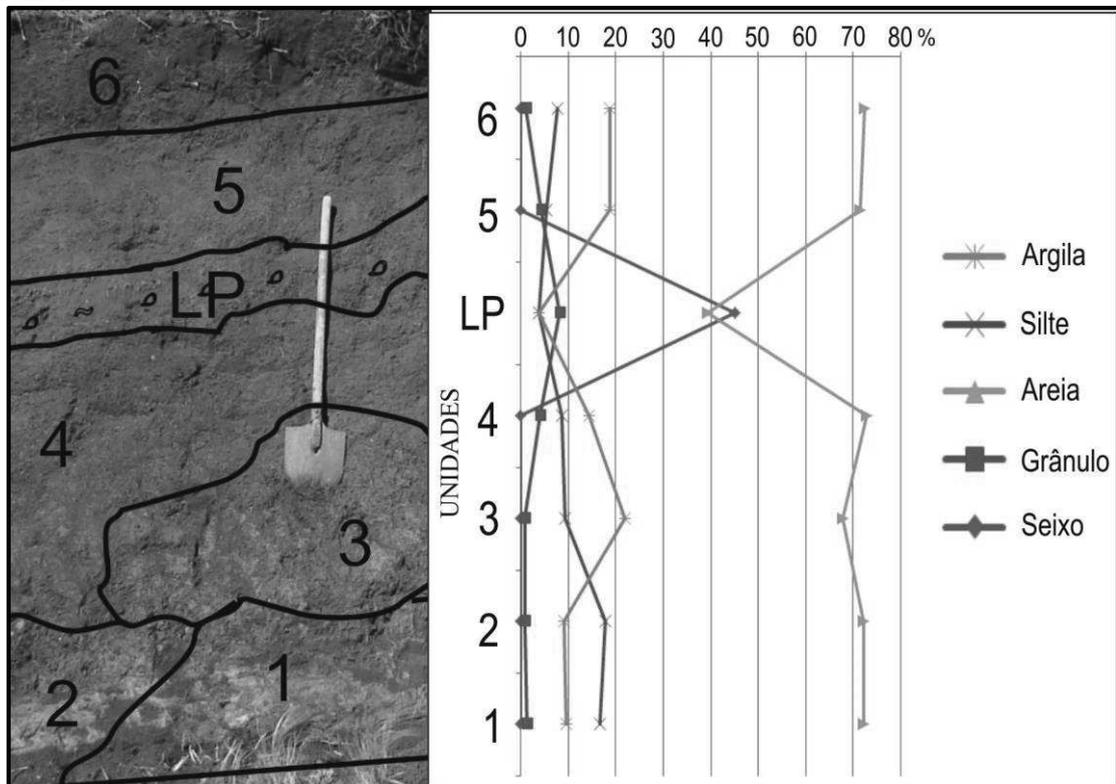
Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

A fração de argila ficou com média de 15,25%, a unidade que apresentou maior quantidade foi a unidade “G”, logo acima da Linha de Pedra, apresentando redução na fração argila no topo do afloramento e redução nas unidades que compõem a base do afloramento. A unidade 3 também merece destaque na quantidade de argila, que havia sido diferenciada das outras unidades em campo devido as suas características visuais e na análise granulométrica ela mantém esta diferenciação com acréscimo na quantidade de argila e pequena redução na quantidade de areia.

No entanto, com a fração silte tem-se um acréscimo nas unidades da base do afloramento Lajeado (Figuras 17 e 18) e sua média fica entre 10% e 20%, sendo que as unidades com maior quantidade de silte são as unidades A, B e 1, 2, colaborando com as

observações de campo em que o solo desagregava com facilidade, pois o silte não garante a coesão ao solo, fato que indica que essas unidades compõem a alteração da rocha matriz.

**Figura 18** - Vista parcial do afloramento Lajeado e distribuição granulométrica da base ao topo do afloramento.

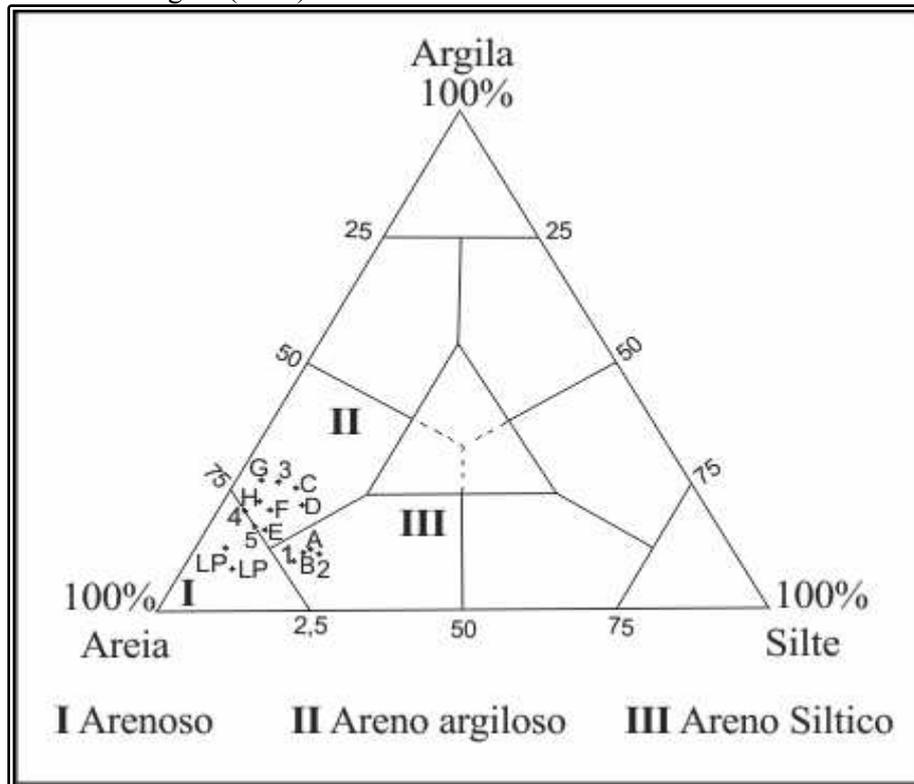


Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

As unidades 4 e 5 apresentam aumento na quantidade de grânulos ao aproximar-se da Linha de Pedra, indicando que as amostras coletadas no sentido SE, onde ocorre a bifurcação na linha de pedra tem-se maior quantidade de material granular disperso da linha principal do que no sentido NW, em que os grânulos estão mais concentrados na Linha de Pedra.

Segundo o diagrama triangular (Figura 19), as amostras que representam as unidades denominadas com letras do alfabeto apresentam sequência textural da base para o topo, A e B apresentam textura areno-siltosa e as unidades C, D, E, F, G e H possuem textura areno-argilosa e, a Linha de Pedra, por sua vez, está na classificação arenosa por ser a maior fração apresentada no diagrama.

**Figura 19** - Diagrama triangular com resultado da textura de todas as amostras, baseado em Suguio (1973).



Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

Quanto às amostras que foram coletadas nas unidades do afloramento e identificadas por números, representadas na Figura 19, as unidades 1 e 2 possuem textura areno-siltosa, a unidade 3 e 6 areno-argilosa, as unidades 4 e 5 aparecem na transição entre as texturas arena e areno-argilosa, e a Linha de Pedra com textura arenosa.

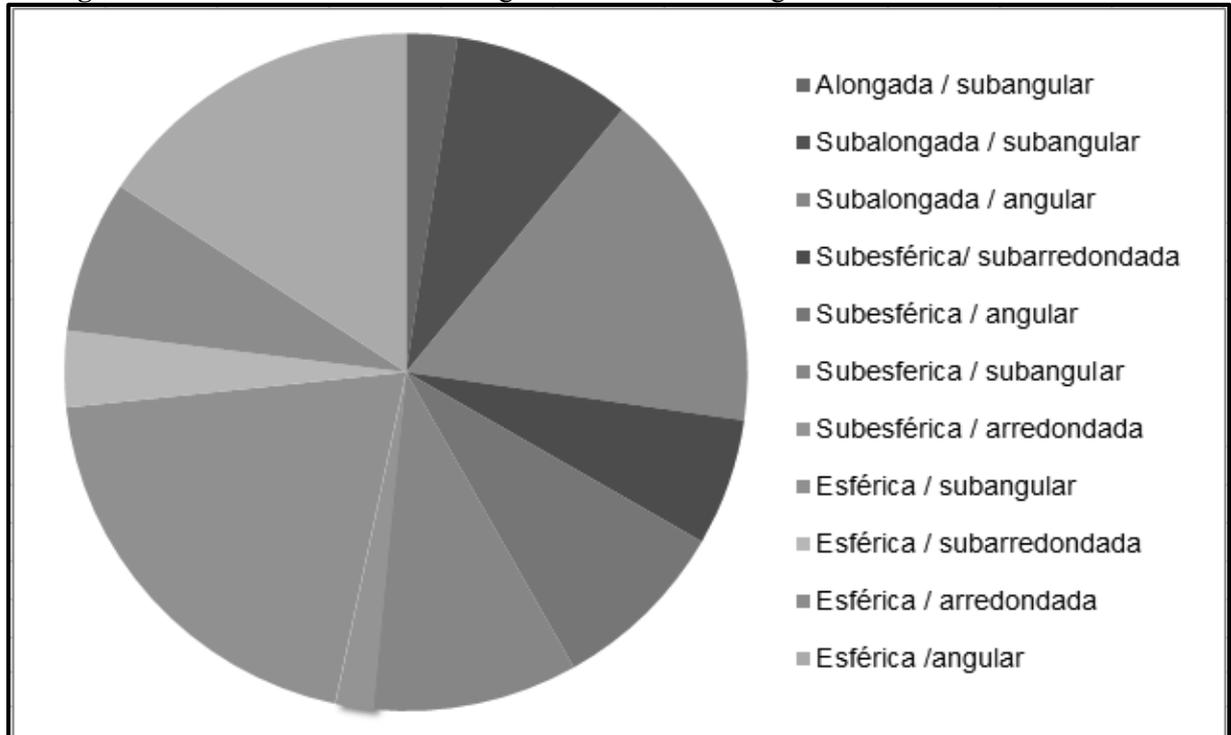
As amostras coletadas no sentido NW do afloramento (identificadas por letras), novamente destoam das amostras coletadas na porção SE (identificadas por números) devido à maior quantidade de grânulos e a presença da unidade 3, que apresenta maior quantidade de argila.

#### 4.3 Grau de arredondamento, esfericidade e rugosidade

Realizou-se a distinção nos fragmentos coletados na Linha de Pedra, como apresentados na Figura 20. Seguindo a ordem de esfericidade e grau de arredondamento, as amostras indicaram predomínio de forma subalongada/angular, esférica/subangular e

esférica/angular, sendo que nenhuma amostra foi identificada como esférica bem arredondada.

**Figura 20** - Amostras classificadas segundo a esfericidade e grau de arredondamento.

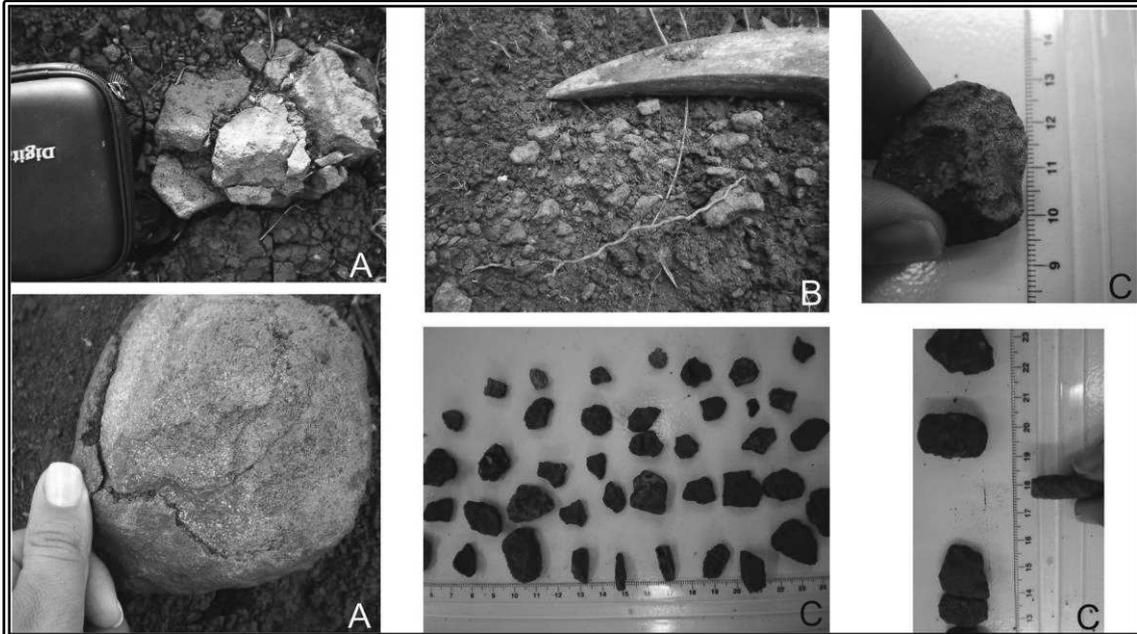


Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

As amostras foram classificadas em 4 principais grupos, segundo o grau de arredondamento: 67 respectivamente para subangular e angular; 16 subarredondada e 15 arredondada. A esfericidade das amostras foi identificada em alongada 4; subalongada 41; subesférica 43; esférica 81.

Quanto à rugosidade, as amostras foram identificadas como rugosa e ondulada, não foram identificadas amostras alisadas, como pode ser observado na Figura 21. Seguindo a geologia da região e o que foi visualizado em campo sabe-se que estes fragmentos foram originados a partir da alteração da rocha matriz, ou seja, do basalto (Figura 21).

**Figura 21** - Fragmentos encontrados na Linha de Pedra.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa (2013).

Conforme a Figura 21, as imagens referentes à letra “A” demonstram os fragmentos de rocha alterada encontrados próximos ao afloramento e expõem o processo de intemperismo e desagregação do bloco maior que compõe a rocha. As imagens “B” mostram os fragmentos de rocha que compõem a Linha de Pedra, e por sua vez as imagens “C” apresentam os fragmentos que foram coletados na Linha de Pedra para análise em laboratório.

Portanto, a Linha de Pedra é constituída por pedaços de basalto bem alterados, cujos tamanhos variam entre 1 e 2 cm (mais comuns) e 5cm. Em menor quantidade, não mais que 5%, ocorrem fragmentos de quartzo que raramente ultrapassam 3mm de comprimento por 2mm de largura. A origem desse material se deve provavelmente à alteração de pequenos geodos encontrados na matriz basáltica (Figura 21).

Digno de nota é a existência desse material imerso na matriz fina que compõe o afloramento. Esses fragmentos são encontrados em todo o afloramento sem apresentar qualquer arranjo ou estratificação, exceto a Linha de Pedra.

Os fragmentos coletados na Linha de Pedra estudada indicam que estes sofreram a desagregação da rocha principal, devido ao processo de intemperismo esferoidal sem que houvesse necessariamente a interferência direta de mudança climática. Esses dados destoam de todo o aporte teórico defendido por Bigarella; Mousinho (1965) no que diz respeito à formação das Linhas de Pedra, para os quais ocorreria em virtude da alternância entre climas

secos e úmidos favorecendo que os fragmentos mais pesados se concentrassem na superfície originando o pavimento desértico, e o material fino seria, por sua vez, transportado vertente abaixo. Os dados também não se enquadram com a teoria de Ab'Sáber (1962), considerando que a fase seca na região sul teria sido como o clima atualmente vigente no nordeste brasileiro ocorrendo a formação dos chãos pedregosos, e o material que o recobriria estaria ligado a períodos de umidificação do clima.

Bigarella (1994) aponta a importância da esfoliação esferoidal que destrói o entorno da rocha. O processo de alteração química desenvolve formas subarredondadas concêntricas muito parecidas às cascas de cebola, deixando fragmentos de rocha *sã (boulders)* perfeitamente arredondados em meio ao solo autóctone. Esses fragmentos, frequentemente côncavos, são bem descritos na bibliografia especializada, bem como, fáceis de serem reconhecidos em pesquisa de campo (IBGE, 2007; CUMBE, 2007; GODOY *et al.*, 2013). Entretanto, a presença de fragmentos de basalto, oriundos desse processo intempérico, na Linha de Pedra, não é necessariamente indicativo de mudanças ou flutuações climáticas na região. Ao contrário, esses fragmentos parecem estar relacionados à alteração *in situ* da litologia como exemplificado nas Figuras 11, 21A, 21B e 21C.

#### 4.4 Datação

As amostras coletadas no afloramento com Linha de Pedra e datadas com  $^{14}\text{C}$ , indicam que na profundidade de 1,40m a idade do material é de 18Ka AP (18094 – 18461), conforme o Quadro 4. Ou seja, a datação obtida para essa amostra coloca o depósito no final do último máximo glacial, ainda na Época do Pleistoceno. A literatura especializada indica que nessa época as temperaturas médias estariam abaixo da média atual, e a umidade também estaria abaixo da taxa de umidade contemporânea.

Segundo Ab'Sáber (1979), nesse período teria ocorrido a “regressão das florestas e ampliação das formações abertas inter e subtropicais” (*ibid.*, p.2), pois a glaciação pleistocênica desencadeou uma série de processos conectados que desestabilizaram o clima tropical. Ainda segundo o autor, a extensão da corrente Falklands-Malvinas ocasionou uma faixa semiárida em áreas com baixo nível topográfico, situada desde o Uruguai, Rio Grande do Sul até o Sul da Bahia.

A segunda datação foi efetuada com material extraído a 0,80m de profundidade, acima da Linha de Pedra. A idade fornecida pelo  $^{14}\text{C}$  foi de 6,8Ka AP (6716– 6805). As condições ambientais estimadas para essa fase são de mais aquecimento e umidade, contrastando com as condições ambientais de 18Ka atrás. Segundo Suguio (2008), esse aquecimento natural do planeta ocasionou no derretimento e com isso, na redução de 2/3 das geleiras.

Para Ab'Sáber (1979), o Holoceno foi marcado pela re-expansão das florestas, de norte para sul ao longo da fachada atlântica, com intenso processo de retropicalização, com retomada da decomposição química de rochas e aumento de vazão nas cabeceiras de bacias e sub-bacias hidrográficas.

**Quadro 4** - Localização e identificação das amostras destinadas à datação por  $^{14}\text{C}$ .

<b>Identificação</b>	<b>Nº do laboratório NOME DO LABORATORIO</b>	<b>Idade (anos AP)</b>	<b>Idade calibrada (anos AP)</b>
Profundidade de 0,80cm	LACUFF#14011*	5950 ± 21	6716– 6805
Profundidade de 1,40m	LACUFF#14012	15054 ± 49	18094 – 18461

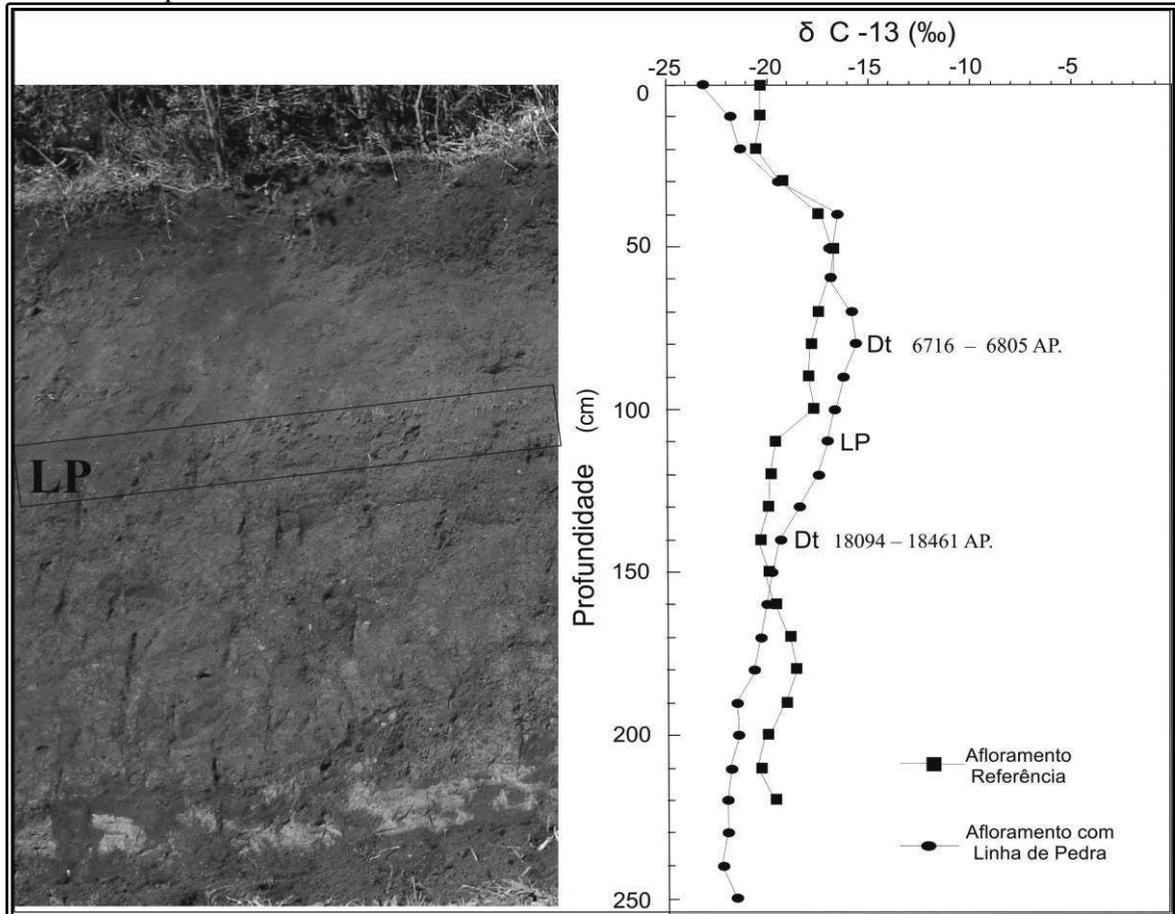
Fonte: \* Laboratório responsável pelas análises AMS, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ (2014).

#### **4.5 Resultados de isótopos estáveis carbono**

As amostras coletadas e analisadas do afloramento Lajeadozinho que apresenta a Linha de Pedra apresentaram variação de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -15,65 e -22,28%, e no afloramento utilizado para comparação como referência a variação de  $\delta^{13}\text{C}$  foi entre 16,82% e -20,49%, o que indica a mistura entre plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  durante maior parte dos afloramentos, com momentos em que se sobressaem as plantas  $\text{C}_4$  (gramíneas), conforme a Figura 22.

Nas amostras que representam o topo do afloramento até 30 cm de profundidade há um empobrecimento isotópico indicando o predomínio das plantas  $\text{C}_3$  (Figura 22). Atualmente o local não é ocupado por plantas arbóreas, demonstrando que o local sofreu degradação antrópica ou que o ponto de coleta está recebendo influência de plantas que estão no topo da encosta. Entre 30 e 50 cm os dados de laboratório indicam uma mistura entre plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

**Figura 22** - Vista parcial do afloramento Lajeadozinho e gráfico com os resultados obtidos na análise isotópica.



Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.  
Obs.: LP (Linha de Pedra) e Dt (Datação).

No afloramento com Linha de Pedra ocorre um enriquecimento isotópico a partir de 50 cm até 1m de profundidade, indicando maior influência na região das plantas C<sub>4</sub>, momento em que as gramíneas se sobressaíram. Esses resultados corroboram os dados encontrados no estudo na turfa Guará, aproximadamente 20 km em linha reta do afloramento Lajeadozinho, realizado por Silva (2013), em que os valores indicaram dois momentos de abertura da vegetação, um a 99 cm e outro entre 48 cm de profundidade.

A partir de 1m de profundidade para a base, as amostras de ambos os afloramentos apontam para a existência de mistura entre plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, e a partir de 1,60 metros a mistura se mantém.

A Linha de Pedra está na profundidade entre 1,10 e 1,30m, profundidade em que os dados δ <sup>13</sup>C indicam mistura, com predomínio das gramíneas. Segundo os resultados nos

últimos 18 Ka AP (15054 ±), ocorreu a mistura de plantas com predomínio na presença dos campos indicando menor umidade. Já nos últimos 6.8 Ka AP (5950 ± 21), ocorre uma arborização com o clima mais úmido. Portanto, os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  não apontaram para períodos com clima semiárido ou árido, apenas ocorre redução da umidade em que as gramíneas aparecem com maior intensidade, mantendo-se a mistura entre plantas.

Destoando dos dados do estudo realizado por Pessenda *et al.* (1996a), em Londrina no Paraná, que indicaram a presença significativa das plantas  $\text{C}_4$  desde ~ 11.000 para ~ 4000  $^{14}\text{C}$ . Nesse estudo, concluiu-se que no sul do Brasil, entre cerca de 11.000 anos AP até 9000-8000 anos AP, as gramíneas  $\text{C}_4$  e um clima seco predominaram na região, demonstrando que a fase seca começou mais cedo nas regiões Sudeste e Sul do que no restante do Brasil.

**Quadro 5:** Resultados  $\delta^{13}\text{C} \%$  / C – total / Humina  $^{14}\text{C}$  afloramento Lajeadozinho.

Profundidade	$\delta^{13}\text{C} \%$	C – total %	Humina $^{14}\text{C}$
0,00	-23,10	3,66	
0,10	-21,80	2,20	
0,20	-21,31	2,42	
0,30	-19,43	2,05	
0,40	-16,56	1,82	
0,50	-16,64	1,73	
0,60	-16,90	1,65	
0,70	-15,87	1,36	
0,80	-15,65	1,32	6716– 6805
0,90	-16,28	1,21	
1,00	-16,70	1,18	
1,10	-17,05	1,03	
1,20	-17,57	0,76	
1,30	-18,43	0,53	
1,40	-19,41	0,49	18094 – 18461
1,50	-19,82	0,42	
1,60	-20,05	0,46	
1,70	-20,42	0,50	
1,80	-20,70	0,44	
1,90	-21,54	0,41	
2,00	-21,49	0,38	
2,10	-21,83	0,38	
2,20	-22,08	0,33	
2,30	-22,02	0,33	
2,40	-22,28	0,31	
2,50	-21,66	0,36	

Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

Digno de observação no Quadro 5, além dos dados de  $\delta^{13}\text{C} \%$  e datação, são os valores de C – total, que a partir da profundidade 1,10m que representa a Linha de Pedra, os valores não ultrapassam 1%, indicando a baixa quantidade de matéria orgânica identificada nas

amostras abaixo da Linha de Pedra; já as amostras que estão acima da Linha de Pedra apresentam um acréscimo 1,9% ao se aproximar do topo do afloramento.

#### 4.6 Fitólitos

Os principais morfotipos observados foram: *Bullifom* (Figura 23 A); *Elongate* (Figura 23 B); *Elongatepsilate* (Figura 23 C); *Trapezifom* (Figura 23 D); *Saddle* (Figura 23 E); *Globular echinate* (Figura 23 F) e *Bilobate* (Figura 23 G).

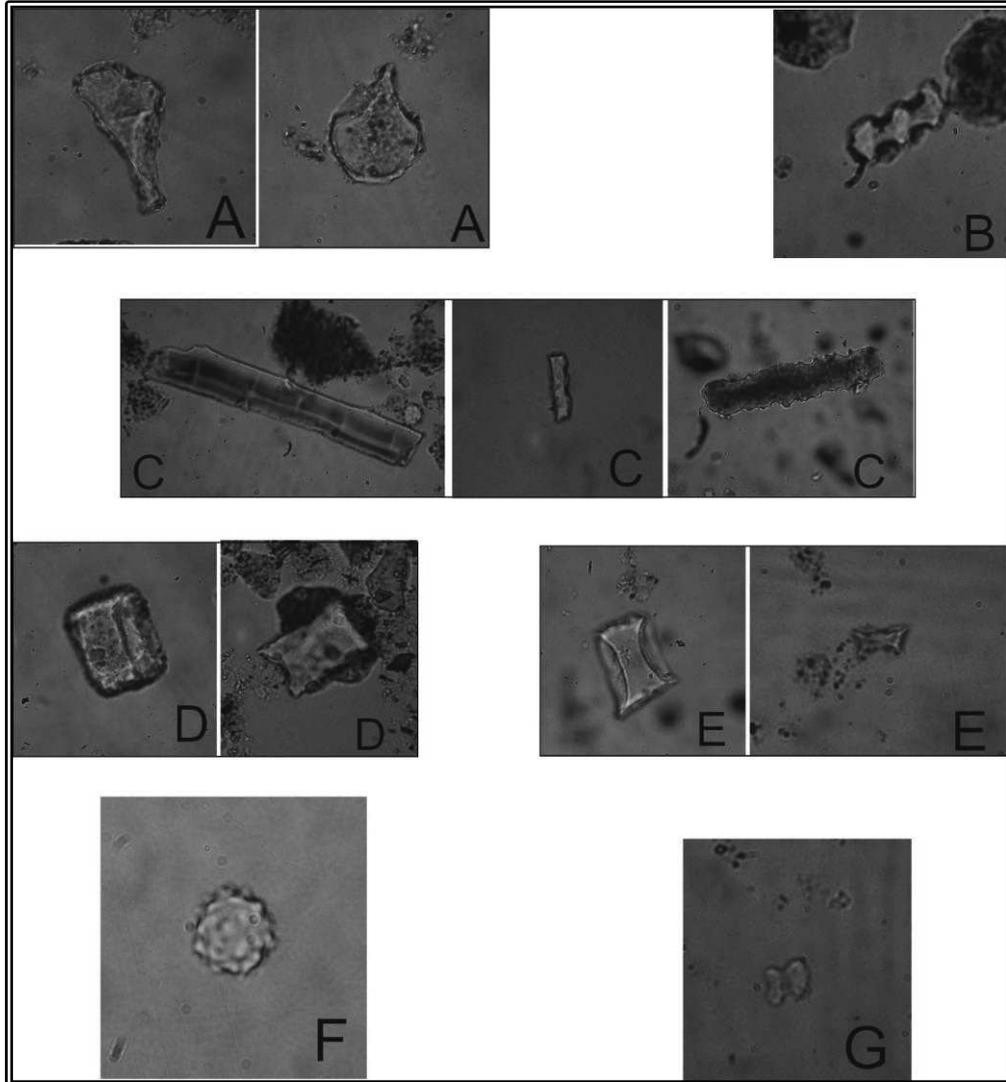
O morfotipo avistado com maior destaque ao longo do afloramento foi *Elongatepsilate*, característico de gramíneas (COE, 2009) (Figura 24). O morfotipo *Globular echinate* (Figura 23), característico da família Arecaceae (PIPERNO, 1998; RASBOLD *et al.* 2011; MONTEIRO *et al.* 2012; PEREIRA *et al.* 2013) está em evidência a partir da profundidade 70 cm até aproximadamente 30 cm quando então sofre redução em direção ao topo (Figura 24). É possível observar que nesse intervalo de ocorrência pronunciada de *G. echinate* também ocorre de maneira discreta o morfotipo *Globular psilate* (Figura 24) característico de herbáceas monocotiledôneas e gramíneas (BREMONT *et al.* 2005).

O morfotipo *Bilobate*, *Cross* e *Rondel* tiveram baixa ocorrência (picos ~20), fato também observado para o morfotipo *Saddle* porém com picos de até 40 ocorrências (60 e 20 cm) (Figura 24). Os morfotipos *Cuneiform bullifom* e *Parallepipedal bulliform* (característicos de gramíneas, sendo formados principalmente quando estas sofrem processos em que predominam maior evapotranspiração (PARRY e SMITHSON, 1958; BREMONT *et al.* 2005) tiveram picos de ocorrência muito similar, no entanto, não ultrapassando 50, notando-se que as maiores concentrações estão entre 115 a 80, 40 e no topo do afloramento (Figura 24).

O morfotipo *Block* citado por Raitz (2012) para eudicotiledoneas arbustivas teve ocorrência reduzida (<20), sendo que a maior ocorrência se dá a 50 cm (Figura 24).

A concentração dos fitólitos variou ao longo do afloramento (de 0 a 400 – figura 24) aumentando em direção ao topo. As amostras abaixo da linha de pedra apresentaram concentração de fitólítica extremamente baixa (< 50). Salienta-se o diminuto tamanho dos morfotipos avistados bem como o alto grau de degradação. Vale ressaltar que as amostras da profundidade 140 cm (15.054 anos cal AP) não apresentaram fitólitos, tal fato pode estar ligado à predominância dos processos decomposição da rocha matriz.

**Figura 23** - Principais formas de fitólitos encontrados.

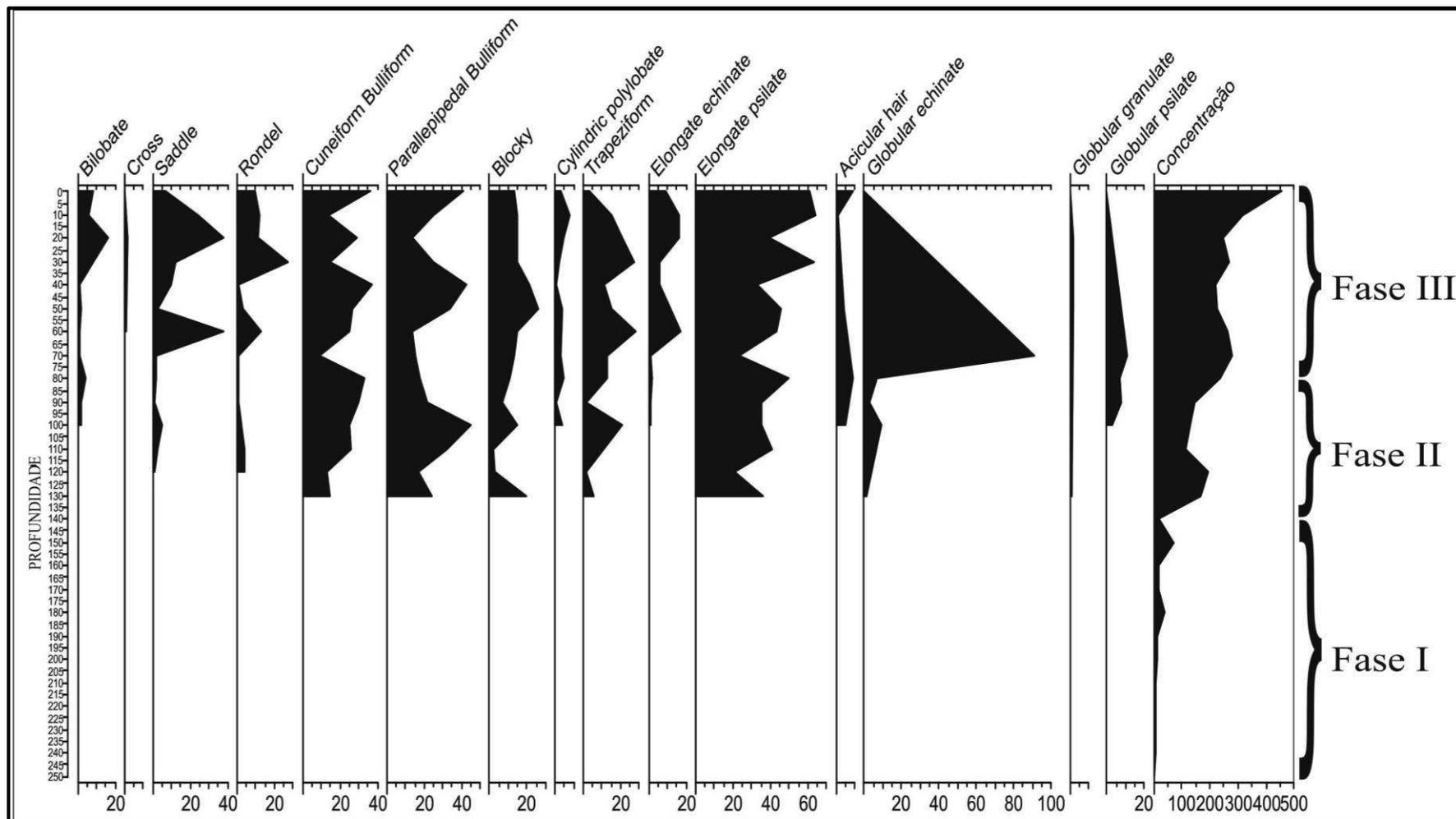


Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

Na Figura 23, as imagens “A” referem-se aos fitólitos denominados *Bulliform*; “B” aos fitólitos *Elongate*; as imagens “C” indicam os *Elongatepsilate*; as “D”, demonstram os *Trapeziform*; as “E” apresentam os fitólitos *Saddle*; a “F” mostra o *Globular Echinolate*; e a imagem “G”, os fitólitos denominados *Bilobate*.



Figura 24 - Afloramento, fitodiagrama com as formas fitólitos e índices fitolíticos.



Fonte: Elaborado pela autora da pesquisa.

## 7 Fases encontradas no afloramento

Com base nos resultados laboratoriais e de campo foi possível individualizar três fases ambientais distintas ao longo do afloramento, as quais são descritas a seguir.

### 4.7.1 Fase I

Entre 2,50 e 1,30m, baixa concentração de fitólitos indicando que possivelmente as unidades situadas abaixo da Linha de Pedra não foram ocupadas por vegetação. Possivelmente essas unidades (1, 2, 3 e 4) não chegaram a formar uma superfície pedológica em condições de dar suporte ao desenvolvimento de 71 plantas. Essa pode ser uma explicação razoável para a quase inexistência de fitólitos nessas unidades, uma vez que o material fitolítico encontrado, além de raro, estava deteriorado, impossibilitando sua identificação. Vale destacar que tal situação é forte evidência da não percolação ou iluviação dos fitólitos.

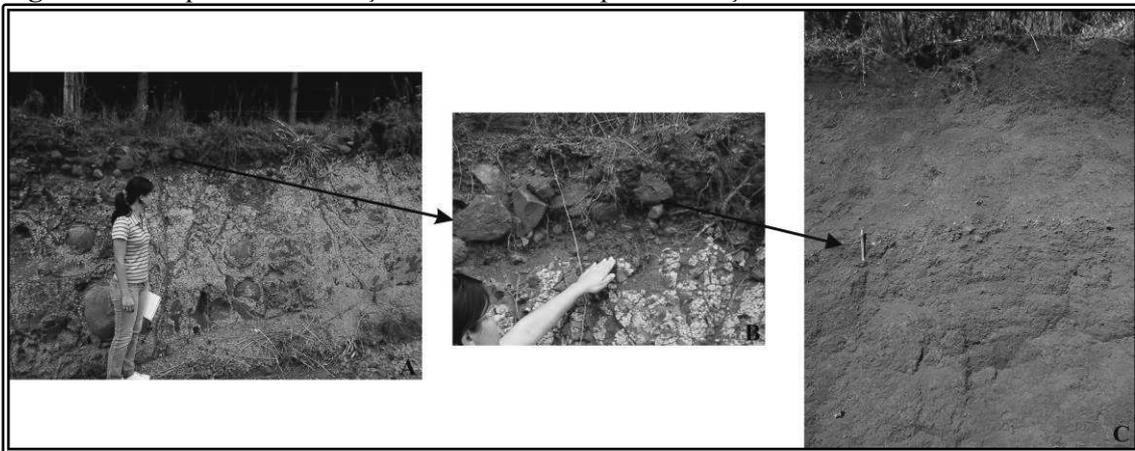
A datação realizada em humina na profundidade de 1,40 m apresentou idade em 18 Ka AP no final do Pleistoceno Superior. A partir da profundidade 1,30m não são mais encontrados fitólitos, apontando para a inexistência de vegetação abaixo dessa profundidade. Em estudo de Silva (2013) encontraram-se fitólitos com baixa concentração em material turfoso na profundidade 153 cm com idade de 15.648 anos cal. AP. Também no estudo de turfa realizado por Luz (2014), no município de Campo Mourão, foram encontrados fitólitos preservados em amostras datadas em 48.8 Ka  $\pm$  270 anos AP.

A ausência de fitólitos nas unidades (1, 2, 3 e 4), assim como a redução dos valores de C-total, permite aventar a hipótese de que o material formador dessas unidades é o autóctone ou seja, alterita oriunda do basalto, litologia típica do Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 1981; BIGARELLA, 1994), conforme a Figura 25.

As análises granulométricas indicam que essas unidades têm aproximadamente 20% de silte e baixa concentração de argila. Dentre as unidades analisadas granulometricamente estas são as que apresentam as maiores taxas de silte. As descrições de campo demonstram que a unidade apresenta feições herdadas da rocha-mãe. Assim, acredita-se que essas duas unidades são, na prática, uma só, tratando-se, portanto, de um manto de alteração oriundo dos basaltos que compõem a base litologia da área.

A Figura 25 apresenta um comparativo entre uma área com alteração esferoidal de basaltos (A e B) e o afloramento Lajeado. A infiltração da água através de diaclases favoreceu a alteração da rocha, deixando no topo do afloramento rocha com menor alteração, pois a água passa por esses fragmentos acumulando-se abaixo deles fazendo com que o material mais úmido tenha alteração mais rápida do que os fragmentos que ficaram no topo (Figura 25). Esses fragmentos que resistiram ao intemperismo ficaram preservados por mais tempo compondo a Linha de Pedra. Sob esse raciocínio, as Linhas de Pedra, segundo Collinet (1969), seriam os fragmentos oriundos do intemperismo da rocha matriz.

**Figura 25** - Esquema de evolução do afloramento para formação da Linha de Pedra.



Fonte: Arquivo da autora da pesquisa.

No esquema apresentado pela Figura 25, a imagem “A” representa o afloramento de basalto em processo de intemperismo esferoidal (bacia do rio das Pedras). A imagem “B”, com *zoom* no topo afloramento com intemperismo esferoidal, esse material é mais resistente ao intemperismo, apresentando manutenção da alteração abaixo do material resistente. E a imagem “C”, por sua vez, mostra o afloramento após o processo de intemperismo e soterramento da Linha de Pedra (bacia Rio Bananas).

#### 4.7.2 Fase II

Fase correspondente ao início da Linha de Pedra, 1,30 a 80cm de profundidade. Fase em que se inicia a deposição fitolítica propriamente dita, sob condição de baixa umidade com predomínio de gramíneas e plantas C4.

É possível que no topo dessa fase (80 cm) datada em 6.800 anos cal AP, que o afloramento tenha passado a receber material coluvial do topo da enconsta, fato que possibilitou o surgimento da vegetação e o soterramento do material que estava em processo de intemperismo. Nesse sentido, pode-se dizer que a Linha de Pedra é autóctone apenas na parte do material que recobre a Linha onde esta sofreu movimentação.

Os fragmentos de basalto semicirculares, arredondados, presença de quartzo, caldedônia alterada e sua distribuição sobre o manto de alteração, associados aos dados granulométricos, à assembleia fitolítica e aos dados isotópicos, não deixam dúvidas quanto à origem dessa Linha de Pedra. Diante disso, a Linha Pedra, objeto da pesquisa, não é marco de mudança climática, mas um resíduo do manto de alteração da rocha. O material que se sobrepõe à Linha de Pedra apresenta característica de colúvio, pois é constituído por material heterométrico sem estratificação e com pedalidade, sendo este último elemento característico de evolução pedológica.

Os resultados encontrados na pesquisa de Silva (2013), na turfa Guará, Guarapuava, datada sua base no pleistoceno tardio em 15.648 anos cal. AP indicou que a área foi um refúgio florestal, dessa forma, na região não existiu clima árido suficiente para expor um material pedregoso.

Ainda em pesquisas efetuadas na região norte do Brasil, Pessenda *et al.* (2009) descreve que as florestas ocupavam o sul do Amazonas, no período glacial afirmando que não ocorreu aridez generalizada pelo país durante o glacial pleistocênico, mas houve um contraste climático com regiões secas e outras úmidas.

Devido à altitude da área de estudo no reverso da Escarpa da Esperança, Ab'Sáber (1979) descreve que o clima semiárido avançou no sentido base/topo das escarpas, e perdeu força com o aumento da altitude, uma vez que estas áreas apresentavam maior umidade e influência das chuvas orográficas. Desse modo, as áreas superiores das escarpas e em alguns altos esporões e maciços costeiros, serviram como área de refúgio à vegetação, visto que não foram fortemente atingidas pelo clima árido.

#### **4.7.3 Fase III**

Fase entre 80 a até a superfície, caracterizada pelo aumento paulatino da umidade, evidência marcada pelos fitólitos (aumento da concentração) e pelos dados de  $\delta^{13}\text{C}$ .

Assim, o aumento da umidade e da temperatura possibilitou a instalação e a existência de uma diversidade de plantas, indicadas pela maior concentração de fitólitos nesta fase. Os

dados  $^{13}\text{C}$  indicam a mistura entre gramíneas e floresta, ao aproximar-se do topo do afloramento ocorre predomínio da vegetação de floresta.

O desenvolvimento dessa vegetação no topo do afloramento só foi possível, graças ao material coluvial depositado sobre a rocha em processo de alteração. Esse material possui características pedológicas, indicadas na granulometria como presença de argila, que retém a umidade e possibilita a agregação do solo para o desenvolvimento das raízes.

Aumento de umidade foi detectado no trabalho realizado por Guerreiro et al. (2013) que estudaram as espículas de esponjas presentes em lagoas e leques aluviais na região de Querência do Norte/Paraná, onde registraram a presença de clima secos de Pleistoceno e mais úmidos no Holoceno a 7.540 anos AP.

Esse aumento na umidade também foi encontrado em pesquisa de Parolin (2007) no rio Paraná, em que amostras datadas em cerca de 8.000 anos AP indicaram aumento da força do rio que proporcionou corte mais profundo no canal transformando área de várzea.

## CONCLUSÃO

Ao final dessa pesquisa concluiu-se que a Linha de Pedra presente no afloramento situado ao sul de Guarapuava tem como origem o processo de alteração do basalto. A datação do material resultou 18 Ka AP, correspondendo ao Pleistoceno Tardio, mais especificamente ao Último Máximo Glacial na profundidade de 1,40m. Já na profundidade de 0,80m, a datação apontou para o início do Holoceno, provavelmente com maior disponibilidade de umidade e calor. Verificou-se ainda, que abaixo da profundidade (1,10 – 1,30m) média da Linha de Pedra não se encontram fitólitos, ou seja, não havia solo para o desenvolvimento de plantas, apenas rocha. Já acima da Linha de Pedra, os fitólitos aparecem indicando o desenvolvimento de plantas na área.

Os dados isotópicos apontaram para a mistura de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, com predominância de gramíneas ao longo de maior parte do afloramento, provavelmente devido ao solo raso para o desenvolvimento de plantas de grande porte, estas que aparecem apenas na porção do topo do afloramento.

Tendo em vista que um dos objetivos dessa dissertação foi comparar os resultados obtidos na pesquisa com as hipóteses já conhecidas para origem de Linhas de Pedra, uma das hipóteses reconhecidas para esta região era a de Bigarella (1965), em que a Linha de Pedra documentaria um clima árido do passado. Porém, a partir dos resultados obtidos, percebe-se que em Guarapuava, as Linhas de Pedra não são de origem climática, pois de acordo com os dados fitolíticos, isotópicos, datações por <sup>14</sup>C e dados sedimentológicos e pedológicos a área estudada não foi submetida ao ambiente árido capaz de formar Linhas de Pedra pela supressão da vegetação e exposição do solo ou rocha. Nesse caso, o que as informações obtidas sugerem é que houve a redução da disponibilidade hídrica, mas não o suficiente para permitir a exposição a céu aberto do solo por desaparecimento da vegetação.

Portanto, a teoria que melhor está relacionada à origem da Linha de Pedra em Guarapuava é de Collinet (1969), em que os fragmentos expostos em Linha são resíduos do intemperismo da rocha matriz. Como sugere a Figura 25, os fragmentos que formam a Linha de pedra são autóctones originados pelo intemperismo da rocha, e o material que recobre a Linha sofreu movimentação encobrendo-a. Conforme já descrito na caracterização da área de estudo, são encontradas áreas acima do afloramento Lajeado composto por rocha aflorando e por blocos de rocha, revelando que o processo de intemperismo ainda é ativo na região e que as maiores espessuras de solo estão nas áreas mais próximas ao rio. Assim, o

afloramento Lajeado era composto por rocha em decomposição esferoidal e não solo expostos por períodos de aridez.

Tendo em vista que este estudo foi realizado em um afloramento com Linha de Pedra do município, espera-se que outras pesquisas, em outros afloramentos e até mesmo com outras metodologias, possam complementar esta conclusão, identificando as regularidades (ou irregularidades) no que diz respeito à formação das Linhas de Pedra na região.

## REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhosinhumados do Brasil Oriental. Curitiba. **Boletim da Universidade do Paraná Geografia física**, v. 1, p. 2; n.32, 1962.

\_\_\_\_\_. Ocorrência de stonelines na região de São Paulo. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 10, p. 9-10, 1969.

\_\_\_\_\_. Limitações dos informes paleoecológicos das Linhas de Pedra no Brasil. **Inter Facies**, São José do Rio Preto – SP, n. 1, p. 1-27, 1979.

Atlas geográfico, **IBGE**, (2004), organizado por BERTOTTI, L.G. Mapa de localização das áreas de estudo. 2008.

BIGARELLA, J. J. MOUSINHO, M. R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. **Boletim paranaense de Geografia**, Curitiba. n. 16/17, p. 153-197, 1965.

\_\_\_\_\_. [et. al.] **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. V.3, p. 425.

\_\_\_\_\_. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Contribuições de Everton Passos... [et. al.] – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. V.3, p. 877-1436.

\_\_\_\_\_.; MOUSINHO, M. R.; SILVA. J. X. da. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos. **Boletim paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16/17, p. 116-151. 1965.

BREMOND, L. et al. **Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa**. Journal of Biogeography, v. 32, p. 311-327, 2005.

CALEGARI, M. R. et. al. Reconstrução das condições de Formação de horizontes húmicos em latossolos por análise fitolítica. **XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA. III Encontro do Quaternário Sulamericano. XIII ABEQUA Congress - The South American Quaternary: Challenges and Perspectives**. 2011, p.6.

CAMARGO FILHO, Mauricio. **O significado paleoambiental de sequência pedossedimentar em baixa encosta: o caso dos paleossolos Monjolo – Lapa –PR**. 2005. p. 325f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade de Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CAMARGO FILHO, Mauricio. **Aspectos Fundamentais da evolução Geomorfológica Cenozóica da Bacia do rio Bananas**. 1997. 195f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

CASTRO, S. S. de. **Micromorfologia bases para descrição de lâminas delgadas de solos**. UFG; UNICAMP; FUNAPE. Goiânia. 2 ed. 2008. p. 135.

COE, H. H.G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo frio, RJ, durante o quaternário.** 2009.340 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha), Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2009.

COLLINET, J. 1969. **Contribution al'étude des "stone-lines" dans la région du Moyen-Ogooué (Gabon), Cahier. ORSTOM: Série Pédologie VII, 1:3-42.** Disponível em: <[http://www.bondy.ird.fr/pleins\\_textes/](http://www.bondy.ird.fr/pleins_textes/)>. Acesso em: abril/2012.

CUMBE, Â. N. F. **O Patrimônio Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação.** Mestrado em Geografia. Braga, 2007.

CRUZ, L. O. M. **Assinatura Geoquímica de Unidades Coluviais da Bacia do Córrego do Rio Grande – Depressão de Gouveia/MG, 2006.** 152f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de Métodos de Análise de Solos.** 1979.

HIRUMA, S. T. **Revisão dos conhecimentos sobre o significado das linhas de seixos.** Revista do instituto geológico, São Paulo, 27-28 (1/2), 53-64, 2007.

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas classificação climática do Paraná.** Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>. Acesso em 12/11/2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia.** 2 ed. Rio de Janeiro, 2007.

LIMA, A. G. de. **Controle geológico e hidráulico na morfologia do perfil longitudinal em rio sobre rochas vulcânicas básicas da formação Serra Geral no estado do Paraná.** 2009. 219f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LUZ, L. D. **Aspectos paleoambientais do Quaternário superior na região de Campo Mourão, Paraná.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2014.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Curitiba: IBPT, 1968. 350 p.

MAHER, B. A.; THOMPSON, R. **Quaternary Climates, Environments and Magnetism.** Cambridge University Press, New York: 390 p., 2009

MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. Complexo das rampas de colúvio. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1998, p.143-180.

MOUSINHO, M. R; BIGARELLA, J. J. Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. **Boletim paranaense de Geografia,** Curitiba. N. 16/17, p. 43-84. 1965.

MONTEIRO, M. R. ; PEREIRA, J. S. R. ; RASBOLD, G. G. ; Parolin, M. ; CAXAMBU, M. G. . **Morfologia de fitólitos característicos de duas espécies de Arecaceae do bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart.** Revista de Biologia Neotropical, v. 9, p. 10-18, 2012.

OLIVEIRA, P. E., BEHLING, H., LEDRU, M. P., BARBERI, M., LABOURIAU, M. L. S., GARCIA, M. J., MEDEANIC, S., BARTH, M., BARROS, M. A. & YBERT, R. S. 2005. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: **Quaternário do Brasil** (C. R. G. Souza, K. Suguio, A. M. S. Oliveira & P. E. Oliveira, eds.). Holos Editora, Ribeirão Preto, 2005, p.52-74.

PAROLIN, M; VOLKMER-RIBEIRO, C; STEVAUX, J. C; Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná river, Brazil. **Rev. bras. paleontol.** 10 (1):17-26, 2007.

PARANÁ estado do, MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. Disponível em [http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2\\_Geral/Geomorfologia/Atlas\\_Geomorforlogico\\_o\\_Parana\\_2006.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorforlogico_o_Parana_2006.pdf) Acesso em: 20/05/2012.

PARANÁ estado do, MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR. **Glossário de termos geológicos (2009).** Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=P>>. Acesso em: 02/06/2012.

PARRY, W. D. & SMITHSON, F. Silicification of Bulliform Cells in Grasses. **Nature**, v. 181, p. 1549 – 1550, 1958.

PESSENDA, L. C. R.; VALENCIA, E. P. E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C. C.; MARTINELLI, L. A.; CERRI, C. C.; ARAVENA, R; ROZANSKI, K. **Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. Radiocarbon, Tucson**, v. 38, n.2, p. 203-208, 1996.

\_\_\_\_\_.; LISI, C. S.; GOUVEIA, S.E.M. Datação por 14C. In: \_\_\_\_\_. **Laboratório de C-14. Técnicas e Aplicações Paleoambientais.** (Série Didática). 1. ed. Piracicaba: CPG/CENA, V.2.p. 5-7, 1998(a).

\_\_\_\_\_.; GOUVEIA. S. E. M; ARAVENA. R. **Radiocarbon dating of total soil organic matter and humin fraction and its comparison with 14c ages of fossil charcol.** University Arizona Radiocarbon, vol.43, nr 2b, 2001, p. 595-601.

\_\_\_\_\_. Os isótopos estáveis do Carbono e os distintos tipos de vegetação. In: Stevaux, J. C.; PAROLIN, M. Síntese do Período Quaternário do Estado do Paraná (Box 2.3). In:

PAROLIN, M; VOLKMER-RIBEIRO; LEANDRINE, J.A. (Org.). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. Campo Mourão.** Editora da FECILCAM, 2010, p.53.

\_\_\_\_\_. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, 2005. pp. 75-93.

\_\_\_\_\_. *et al.* The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in: southeastern Brazil since 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research.** v. 71, p. 437- 452. 2009.

PEREIRA et al. 2013. **Caracterização morfológica dos fitólitos de Butia microspadix Burrete (ARECACEAE).** Revista de Ciências ambientais. Canoas.

PIPERNO, D. R. The occurrence of phytoliths in the reproductive structures of selected tropical angiosperms and their significance in tropical paleoecology, paleoethnobotany and systematics. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 61 (1989): 147-173 147. **Elsevier Science Publishers B.V.**, Amsterdam -- Printed in The Netherlands, 1989.

QUEIROZNETO, J.P. **Geomorfologia e Pedologia.** R. Bras. Geomorfologia, 1:59-67, 2000.

\_\_\_\_\_. **O Estudo de formações superficiais no Brasil.** Revista do instituto Geológico, São Paulo, 22 (1/2), 65-78, 2001.

RAITZ, E. **Coleção de referência de sílico fitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais,** 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Francisco Beltrão. 2012.

RASBOLD, G. G. MONTEIRO, M. R; PAROLIN, M; CAXAMBÚ, M. G.; PESSENDA, L. C. R.. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butiaparaguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia.** Série Botânica, Porto Alegre, 66(2), p.265-270, 2011.

RIQUIER, J. **Contribution a l'étude des "stone-lines" en régions tropicales équatoriales.** Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. VII, n°. 1, 1969.

SANT'ANNA NETO, J. L; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In. SOUZA, C. R. G. *et al.* (Orgs.) **Quaternário no Brasil.** Ribeirão. Preto-SP: Holos, 2005.

SANTOS, L. J. C. *et al.* **Gênese das Linhas de Pedra.** In: Revista brasileira de Geomorfologia – v.11, n° 2, 2010, p.103-108.

SANTOS, J. C. A. dos. **Paleogeografia e paleoambientes do baixo curso do rio Ivaí- PR.** 82f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2013.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crítérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007. 404p.

SIMEPAR sistema meteorológico do Paraná (2012) >[www.simepar.com.br](http://www.simepar.com.br) < acesso em varias datas

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Ed. EdgardBlücher LTDA. EDUSP. 2003. p. 400.

\_\_\_\_\_. **Mudanças Ambientais da Terra**. SãoPaulo: Inst. Geológico, 2008. 336 p.

\_\_\_\_\_. **Introdução a sedimentologia**. Sao Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317 p.

SILVA, D. W. **Caracterização paleoambiental da região de Guarapuava-PR, a partir de sedimento de turfa**: Um estudo de caso. Dissertação. (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava, 2013.

STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M. Síntese do Período Quaternário do Estado do Paraná. In: PAROLIN, M; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J.A. (Orgs.) **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da FECILCAM, 2010.

TRATZ, E. do B. **As rochas vulcânicas da província magmática do Paraná, suas características de relevo e sua utilização como recurso mineral no município de Guarapuava - PR**. 2009, 196f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

THOMAZ, Edivaldo Lopes; VESTENA, Leandro Redin. **Aspectos climáticos de Guarapuava - PR**. Guarapuava: Unicentro, 2003. 106 p.

**ANEXOS**

## 1. Carta de Esfericidade

Esfericidade	Alongada						Alisado Rugosidade superficial
	Subalongada						
	Subesférica						
	Esférica						
Esfericidade	Alongada						Ondulado Rugosidade superficial
	Subalongada						
	Subesférica						
	Esférica						
Esfericidade	Alongada						Rugoso Rugosidade superficial
	Subalongada						
	Subesférica						
	Esférica						
		Com arestas	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular	
		Grau de arredondamento					

Fonte: CASTRO, S. S. de. Micromorfologia bases para descrição de lâminas delgadas de solos. UFG; UNICAMP; FUNAPE. Goiânia. 2 ed. 2008. p. 135.

## 2. Tabela de contagem de fitólitos.

		FORMA	CONTAGEM	OBS.			FORMA	CONTAGEM	OBS.
BILOBATE	Ar.				BULLIFORM	Cn.			
	Ba.					Cna			
	Ch.					Pa.			
	Ehrh.					BI			
	Pn.				CP				
	Ou.				CT				
	B				Trap.	PI			
SADDLE	Ba.					Sn			
	Ch.					Tr.			
	Po.				Elongate	Ec.			
	Ar.					Ep.			
	Phar.					Ed.			
	Anom.				EI.				
	Aru.				Ac.				
	Ou.				Uc.				
	S				Sc.				
	RONDEL	Ba.				H			
Po.					Globular	Ge.			
Ou.						Gg.			
R						Gp.			
					G				
					CR				
					Pp.				
				TOTAL					
				Tc.					

Fonte: Elaborada pelo Laboratório de Estudos Paleoambientais – LEPAFE com base em PIPERNO,2008.