



**MODELAGEM DE EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO
CANHOTO, PERNAMBUCO, A PARTIR DE ANÁLISES MORFOCLIMÁTICAS
E NEOTECTÔNICAS**



ÉVIO MARCOS DE LIMA

Recife
2022

ÉVIO MARCOS DE LIMA

**MODELAGEM DE EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO
CANHOTO, PERNAMBUCO, A PARTIR DE ANÁLISES MORFOCLIMÁTICAS
E NEOTECTÔNICAS**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de doutor em
Geografia. Área de concentração:
Geografia Física.

Orientador (a): Antonio Carlos de Barros Corrêa

Recife

2022

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Lima, Évio Marcos de.

Modelagem de evolução geomorfológica da bacia do Rio Canhoto, Pernambuco, a partir de análises morfoclimáticas e neotectônicas / Évio Marcos de Lima. - Recife, 2022.

187f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.

Orientação: Antonio Carlos de Barros Corrêa.

1. Rio Canhoto; 2. Geomorfologia; 3. Cartografia de Paisagens. I. Corrêa, Antonio Carlos de Barros. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ÉVIO MARCOS DE LIMA

**MODELAGEM DE EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO
CANHOTO, PERNAMBUCO, A PARTIR DE ANÁLISES MORFOCLIMÁTICAS
E NEOTECTÔNICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Filosofia e Ciências Humanas,
como requisito para a obtenção do título
de Doutor em Geografia. Área de
concentração: Geografia Física.

Aprovado em: 30/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Demétrio da Silva Mutzemberg (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Bruno de Azevêdo Cavalcanti Tavares (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Kleython de Araujo Monteiro (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba - UFAL

*Este trabalho foi dedicado à Dinalva Monteiro e José
Trajano, àqueles aos quais tudo faço e de quem tudo tenho.*

Vocês são a minha razão.

AGRADECIMENTOS

Assim como não existem sistemas isolados identificados na natureza, não existe trabalho humano que não dependa de um esforço coletivo. O menor labor imaginado precisou direta ou indiretamente de um grande esforço coletivo. A seguir, listo alguns daqueles que, sem os quais, não conseguiria fazer esse trabalho da forma que foi.

Primeiramente, minha família, Dunalva Monteiro, José Trajano, Érica Lima, Erico Lima e Thiago Carvalho. Vocês são meu esteio.

O meu orientador, professor Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa, a pedra basilar de um grande número de trabalhos, de saberes e de pessoas. Você é figura central.

Aos membros da banca de julgamento: Prof. Dr. Osvaldo Girão, Prof. Dr. Demétrio Mutzemberg, Prof. Dr. Kleython Monteiro e Prof. Dr. Bruno Azevedo. Agradeço demais todos os ensinamentos e conselhos.

Em se tratando dos colegas de laboratório, eu devo demais a todos, sem os quais ainda estaria juntando flagelos textuais de uma fraca experiência teórica. Carla Suelânia, Rhandysson Barbosa, Geislam Lima, Ana Clara Barros, Diogo Galvão, Claudio Cabral, Wemerson Flávio, Leandro Diomério, Daniel Lira. Vocês foram fundamentais.

Neste ponto, em especial, devo destacar uma pessoa: Drielly Fonseca. Ela é o tipo de pessoa que, se não existisse, alguém teria de inventar. Quero um dia poder retribuir, ao menos, metade do que você fez por mim todos esses anos. Você é um ser humano muito especial.

Aos amigos da ciência, Jonas Souza, Renata Azambuja, Bruno Tavares e Kleython Monteiro. Nossas conversas são sempre estimulantes e cheias de ideias. Obrigado por compartilhar comigo um pouco do tanto que sabem.

Ao professor Dr. Demétrio Mutzemberg, pela ajuda com os contatos do Laboratório de Metrologia e Arqueologia Patrimonial – MAP/UFPE. E ao MAP/UFPE pela parceria com o trabalho de datação por LOE.

A Lucas Cavalcanti, pela contribuição teórica e pelo empréstimo de diversos materiais sobre geossistema e outros conceitos.

A Rodrigo de Freitas, pela ajuda inicial, com os trabalhos de campo. Lhe devo muito e um dia vou pagar.

A Rafael Brandão, pela ajuda com o campo de exploração, e a Thiago Carvalho, pela ajuda com o campo de coleta. Desculpem o cansaço, o estresse e, em especial ao último, desculpe a martelada, juro que foi sem intenção.

Obrigado a Ana Carolina de Souza, pelo estímulo constante.

Agradeço a Flavia Renny, Carlos Lima, Cristina e João, Euclides, Pollyanne e Diego, Vanessa e Thiago, Julio Cesar, Priscila e Lucas, Renata e Arildo, Leandro e Felipe, José Wagner e Rafael Silva, pela amizade de sempre. Como disse Christopher “Supertramp” McCandless, “a verdadeira felicidade é a que se pode compartilhar”.

Tudo que aqui foi feito e dito, não poderia ter sido feito e dito da forma que foi, sem a participação de vocês. Vocês são parte essencial deste trabalho e de quem eu sou. Obrigado pela existência em minha vida.

RESUMO

O trabalho da geomorfologia é investigar os processos que dão forma ao relevo da superfície terrestre. Esse trabalho envolve também a compreensão evolutiva dos fenômenos participantes dessa construção. Na presente pesquisa foram investigadas as composições paisagísticas da bacia hidrográfica do rio Canhoto, presente no agreste pernambucano, sua interação dinâmica e a influência morfotectônica para o desenvolvimento de modelos evolutivos.

Os métodos de investigação envolveram análises sedimentares, coletadas de maneira espacializada na área de estudos. Além deste trabalho, foram diagnosticadas as paisagens integrantes do sistema estudado, seguindo recente técnica de modelagem cartográfica para paisagens. Concomitantemente foram investigados os mecanismos morfotectônicos e o desenvolvimento de modelos gráficos com base no cruzamento dessas informações.

Os resultados obtidos apontam a elaboração de paisagens que respeitam o contexto ambiental geral e zonas específicas atreladas a contextos de menor expressão escalar. Além desses, também foram apontadas relações diretas entre as paisagens percebidas e os processos dinâmicos dos sedimentos. Finalmente, os dados apontaram para a modificação nos mecanismos de distribuição de massa superficial, a partir da entrada no holoceno, com repercussão na paisagem. Embora a dinâmica ambiental tenha sofrido variações genéticas, o controle na distribuição dos processos se dá por influência neotectônica e há registros dessa influência em diversos pontos da bacia. Os modelos criados apontam tais diferenças nos regimes de controles físicos e ambientais.

Conclusivamente, a metodologia proposta conseguiu êxito em relacionar aspectos físicos e ambientais para estabelecer modelos evolutivos, permitindo, para o caso estudado, estabelecer que a influência tectônica controla o ambiente enquanto o clima tem derivações atmosféricas.

PALAVRAS-CHAVES: Rio Canhoto, Geomorfologia, Análise Sedimentar, Cartografia de Paisagens.

ABSTRACT

The work of geomorphology is to investigate the processes that shape the relief of the Earth's surface. This work also involves the evolutionary understanding of the phenomena participating in this construction. In this research, the landscape compositions of the Canhoto river basin, present in the Pernambuco countryside, were investigated, as well as their dynamic interaction and morphotectonic influence for the development of evolutionary models.

The investigation methods involved sedimentary analyses, collected spatially in the study area. In addition to this work, the landscapes that make up the studied system were diagnosed, following a recent cartographic modeling technique for landscapes. At the same time, morphotectonic mechanisms and the development of graphic models based on the crossing of this information were investigated.

The results obtained point to the creation of landscapes that respect the general environmental context and specific areas linked to contexts of lesser scalar expression. In addition to these, direct relationships were also highlighted between the perceived landscapes and the dynamic processes of the sediments. Finally, the data pointed to changes in surface mass distribution mechanisms, starting with the Holocene, with repercussions on the landscape. Although the environmental dynamics have undergone genetic variations, control over the distribution of processes is due to neotectonic influence and there are records of this influence in several parts of the basin. The models created point out such differences in physical and environmental control regimes.

Conclusively, the proposed methodology was successful in relating physical and environmental aspects to establish evolutionary models, allowing, for the case studied, to establish that tectonic influence controls the environment while the climate has atmospheric derivations.

KEYWORDS: Canhoto River, Geomorphology, Sedimentary Analysis, Landscape Cartography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do geossistema Bacia do Rio Canhoto, no seu trecho no Estado de Pernambuco	19
Figura 2: Geologia da Bacia do Rio Canhoto	21
Figura 3: Uma paisagem apresenta resultados, inclusive, dos elementos não-visíveis que compõem o espaço tangível	24
Figura 4: Organização de um sistema ambiental clássico	30
Figura 5: Integração complexa dos sistemas físicos	33
Figura 6: Linhas de deposição marcam diferentes períodos do processo	38
Figura 7: Inselberg na cidade de Capoeiras, alto curso da bacia do Rio Canhoto-PE.....	47
Figura 8: Bloco diagrama exemplificando a relação entre o direcionamento das drenagens perpendiculares aos planos de compressão por ação do neotectonismo	50
Figura 9: Perfis sedimentares em área de ruptura morfotectônica assinalada por anomalia.....	84
Figura 10: Morfologia das superfícies elaboradas em cristas reflete diretamente a ação de processos endógenos sobre a elaboração do modelado	84
Figura 11: Espacialização dos pontos de coletas de amostras.	85
Figura 16: Quadro com atribuição dos sítios paisagísticos da Bacia do Rio Canhoto.....	102
Figura 17: Compartimento de Paisagens do tipo Agreste	103
Figura 18: Compartimento de paisagens do tipo Brejo	104
Figura 19: Compartimentos de paisagens do tipo Pântano pluviogênico e Tropical	105
Figura 20: Gráficos de proporção granulométrica para colúvios da bacia do rio	108
Figura 21: Posição e perfil longitudinal do ponto Estrada Riacho do Mel - ERM.	110
Figura 22: Camadas ferruginosas geradas pela manutenção da linha d'água em pontos de estagnação temporária.	111
Figura 23: Depósitos sedimentar com materiais de granulometria média em leito seco, marcando nível de base local em uma área de cimeira	112

Figura 24: Perfil do ponto de coleta Estrada Riacho do Mel - ERM.	113
Figura 25: Diagrama de Pejrup dos sedimentos ERM	114
Figura 26: Aplicação do gráfico de Shepard para sedimento de topo - ERM.	115
Figura 27: Diagrama de Flemming aplicado para a amostra ERM.....	115
Figura 28: Posição e perfil longitudinal do ponto Topo Norte Neves - TNN ...	116
Figura 29: Perfil do ponto de coleta TNN expondo o local de extração a 60cm de profundidade.	117
Figura 30: Gráficos de Shepard e Pejrup para o ponto TNN.....	118
Figura 31: Gráfico de Flemming aplicado à granulometria da amostra TNN 60	118
Figura 32: Posição e perfil longitudinal do ponto Sítio Bela Vista - SBV	120
Figura 33: Perfil do ponto de coleta SBV	121
Figura 34: Posição e perfil longitudinal do ponto Cristas de São José - CSJ.	122
Figura 35: Açude entre cristas. O plano de verticalização formado pelas cristas ajudar a consolidas sistemas de drenagens que, não raro, abrigam locais pantanosos.....	122
Figura 36: Perfil do ponto de coleta Cristas de São José.....	123
Figura 37: Gráfico de Pejrup aplicado às amostras CSJ.	124
Figura 38: Gráfico de Shepard aplicado aos sedimentos CSJ.	125
Figura 39: Gráfico de Flemming aplicado às amostras do ponto CSJ.....	125
Figura 40: Posição e perfil longitudinal do ponto Sítio Conceição-Paquevira.	126
Figura 41: Movimentos de rastejo do tipo "creeping" evidenciados em diversos loais do patamar inferior da bacia, evidenciando a relação de uso e ocupação com o meio.....	127
Figura 42: Perfil do pacote sedimentar selecionado no ponto SCP	128
Figura 43: Gráfico de Shepard aplicado aos sedimentos SCP.....	129
Figura 44: Gráfico de Pejrup aplicado para os sedimentos do ponto SCP.....	129
Figura 45: Diagrama de Flemming com exposição dos dados sobre as amostras coletadas no perfil SCP.	130
Figura 46: Geologia da bacia do Rio Canhoto.....	131
Figura 47: Distribuição geoquímica dos principais compostos presentes no ponto ERM.	132
Figura 48: Dados geoquímicos para a amostra TNN 60	133

Figura 49: Dados geoquímicos para as amostras CSJ	134
Figura 50: Dados geoquímicos das amostras SCP	136
Figura 51: Bloco diagrama do geossistema Bacia do Rio Canhoto, com marcação dos pontos de anomalias.....	147
Figura 52: Perfil topográfico da Bacia do Rio Canhoto, com marcação das descontinuidades topográficas.....	148
Figura 53: Esquema com a mudança de paradigma da elaboração morfotectônica controlada pela dinâmica do cisalhamento PE-AL.....	149
Figura 54: Direcionamento da drenagem e composição estrutural do sistema Bacia do Rio Canhoto.	150
Figura 55: Sombreamento sendo aplicado como técnica de identificação da inclinação das vertentes no sistema Bacia do Rio Canhoto.....	151
Figura 56: Relação das dinâmicas erosivas de construção das feições aprofundadas dos vales e a conjuntura petrográfica como comprovação de controle por parte do lineamento PE-AL.	152
Figura 57: Relação entre a variação da inclinação dos patamares e o aprofundamento das drenagens em detrimento da distribuição pedológica. .	154
Figura 58: Compartimentação do sistema Bacia do Rio Canhoto.	156
Figura 59: Modelo de evolução do trecho "alto" do sistema Bacia do Rio Canhoto.....	157
Figura 60: Superfície ferruginosa presente na área de estudos.....	159
..Figura 61: A subida das bases locais, na presença de água em maior volume, alterou a dinâmica local para um contexto de estagnação periódica.	161
Figura 62: Desenvolvimento de badlands associadas ao manejo inadequado do solo no sistema Crista de São José.	165
Figura 63: Modelo de evolução do modelado na área das Cristas de São José	166
Figura 64: Efeitos da dissecação linear promovida na área	169
Figura 65: Modelagem de evolução de relevo para a superfície relacionada com o ponto de coleta SCP.....	170
Figura 66: Fenômeno do rastejo e abertura de lineamento erosivo como evidência da aplicação de uma técnica de manejo pouco adequada aos regimes pluviométricos e condições pedológicas locais.	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação dos pontos de coleta	85
Tabela 2: Tabela de distribuição granulométrica.....	86
Tabela 3: Tabela de tempo necessário para sedimentação de partículas do solo	88
Tabela 4: Dados obtidos pela técnica de LOE para as amostras coletadas na área de estudos.....	92
Tabela 5: Quadro com atribuição dos sítios paisagísticos da bacia do rio canhoto	101
Tabela 6: Tabela multi-análise morfooscópica de grãos de colúvio da bacia rio Canhoto.....	107
Tabela 7: Tabela amostral de idade para o material CSJ-60	139
Tabela 8: Tabela amostral de idade para o material SCP- 70.....	141
Tabela 9: Tabela amostral de idade para o material SCP-140.....	143
Tabela 10: Tabela amostral de idade para o material BV - 100 e BV - 45.	145
Tabela 11: Tabela com os dados da RDE para a bacia do rio Canhoto, Pernambuco.....	146
Tabela 12: Dados de temperatura média e precipitação da Bacia do Rio Canhoto	153

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1. PROBLEMATIZAÇÃO, JUSTIFICATIVA E HIPÓTESES	17
REVISÃO DA LITERATURA	23
1. ARGUMENTAÇÕES SOBRE OS CONCEITOS DE PAISAGEM E GEOSSISTEMA	23
1.1. Breve discussão sobre o conceito de paisagem	23
1.2. Breve Discussão sobre a Teoria dos Geossistemas	31
1.3. Modelos de Classificação dos Sistemas de paisagens.....	35
2. MODELOS DE EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	39
2.1. O papel da (Neo)Tectônica na Geomorfologia do Nordeste do Brasil	48
2.2. Evolução Ambiental Quaternária.....	54
3. MÉTODOS DE ANÁLISE TEMPORAL EM GEOMORFOLOGIA	59
3.1. Análise Sedimentológica	63
3.1.1. Assinatura Geoquímica de Sedimentos.....	67
3.2. Luminescência Opticamente Estimulada – LOE.....	70
4. UMA DISCUSSÃO SOBRE A MODELAGEM GEOMORFOLÓGICA	74
4.1. Análise sobre Modelagens de Sistemas Ambientais.....	76
MATERIAIS E MÉTODOS	83
1. DAS VISITAS À ÁREA DE TRABALHO E COLETAS DE AMOSTRAS	83
2. DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS	86
2.1. Morfoscopia.....	88
2.2. Assinatura Geoquímica	89
2.3. Geocronologia.....	91
3. DA ELABORAÇÃO DA CARTOGRAFIA DAS PAISAGENS.....	92
4. ANÁLISE NEOTECTÔNICA.....	94
5. MODELAGEM AMBIENTAL.....	98
RESULTADOS.....	100
1. ANÁLISE DAS PAISAGENS	100
2. SÍNTESE PAISAGÍSTICA	101
3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	107

3.1. Análise Geoquímica	131
3.2. Datação por Luminescência Opticamente Estimulada – LOE	138
4. CONDICIONANTES MORFOESTRUTURAIS E A NEOTECTÔNICA	
REGIONAL.....	146
5. MODELAGEM AMBIENTAL.....	155
CONCLUSÕES	173
REFERÊNCIAS.....	179

INTRODUÇÃO

A geomorfologia é a ciência que investiga os processos responsáveis pelas transformações na superfície terrestre. Esse labor culmina inevitavelmente em uma análise sobre a evolução das formas de relevo e dos processos do interior e do exterior responsáveis por essa construção. Passa-se a entender a geomorfologia como a ciência síntese para este tipo de análise.

Uma paisagem é compreendida como o amálgama dos processos que participaram da sua construção, essas marcas contam a história de evolução desses ambientes (Ab'saber, 2003). Em geomorfologia, haverá um esforço histórico por desvendar esses processos a partir da análise das suas marcas.

Ao se compreender a paisagem, portanto, como um conjunto, é comum aceitar que esse conjunto responde diretamente a fluxos de matéria e energia, o que o configura como um sistema (Christofoletti, 2004), dessa forma, há uma dinâmica associada ao funcionamento desse sistema que corresponde à integração entre os fluxos de matéria e energia do sistema, desenvolvendo, dessa maneira, um ritmo de funcionamento.

Um sistema equilibrado em geomorfologia é aquele onde os fluxos de matéria e energia permanecem por um longo período sem apresentar uma variação tal que ultrapasse os limites de resiliência desse sistema, mesmo que esse funcionamento apresente comportamento dinâmico, a tendência constante é compreendida como equilíbrio (Hack, 1960). Assim, os componentes sistêmicos, de evolução das paisagens terrestre, são os referentes à dinâmica tectônica, fortemente relacionada às margens de placas.

As margens ativas apresentam dinâmica recorrente e episódios de grande magnitude – terremotos, tsunamis, vulcanismo – enquanto as margens passivas apresentam comportamento menos abrupto. As margens passivas evoluem pelos movimentos epirogenéticos assinalados em ciclos de transformação, seguidos, ou não, de (re)ativações orogenéticas pontuais (Popp, 2010). As ativações tectônicas recentes – Neotectônicas – estão caracterizadas pelo regime tectônico atuante desde a última organização regional, dentro do período Cenozóico (Maia *et al.*, 2011). Segundo Maia *et al.* (2010) os mecanismos neotectônicos da porção oriental do Brasil são classificados como “tectônica ressurgente”, ou seja, se aproveita parcialmente de planos de fraqueza

desenvolvidos durante fases tectônicas anteriores, onde a relevância em compreender tais fenômenos se dá por sua influência direta no direcionamento da drenagem, da dissecação e da agradação. A investigação desta complexa relação deve pautar análises em dimensões estruturais, para identificação dos controles, e paleoambientais, através da aplicação de índices, para compreensão do encadeamento processo-resposta no modelado.

O objetivo desse trabalho, portanto, foi delimitar a atuação de mecanismos neotectônicos e paleoclimáticos – e sua relação – na elaboração das formas do relevo na área de estudos, através de análise de padrões morfotectônicos, manipulação de informações gráficas em ambiente digital, aplicação de índices paleoambientais e análises físico-químicas em amostras de solos e sedimentos, a fim de promover a construção de um modelo de evolução para as formas do relevo citado, esboçando também possíveis cenários pretéritos e vindouros e transformações decorrentes dos processos ativos no local.

1. Problemática, Justificativa e Hipóteses

O presente trabalho está situado no âmbito do Grupo de Estudos do Quaternário – GEQUA, seguindo a linha de pesquisas “dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas” tendo como principal motivação a complexidade dos processos que atuam na evolução das formas na região da bacia do alto Mundaú, coadunando especulações sobre diferentes controles dos arranjos estruturais e implicações das/nas características ambientais locais.

A prerrogativa de descrição de uma área de estudos no âmbito da ciência geográfica deve, por imposição epistemológica, contemplar algum (alguns?) dos chamados “conceitos-chave” ou “conceitos fundamentais” de tal ciência, a saber: Espaço, Paisagem, Região, Território e Lugar. Desta feita, a explanação acerca da área investigada neste estudo está baseada no conceito de paisagem, apreciando a teoria do geossistema em consonância com o fundamento proposto.

Os termos “paisagem” e “geossistema”, enquanto teorias conceituais, serão esmiuçados adiante, sendo, neste momento, aplicados para o caso deste

trabalho. Mas primeiro, a nível puro de esclarecimento para o leitor que não está familiarizado com o Agreste do Estado de Pernambuco, é importante identificar espacialmente o campo de estudo.

A área de estudos está inserida na porção meridional de um cinturão orogenético ativado ao final do Éon proterozóico, a Superfície Borborema (Mabesoone, 2002), esta ativação relaciona-se a desorganização do paleocontinente Gondwana e a consequente adequação isostática intraplaca (Corrêa *et al.*, 2010).

A bacia hidrográfica do Rio Canhoto comporta parte da bacia do rio Mundaú. O rio Canhoto não apresenta uma nascente ativa, dependendo, em seu alto curso, do regime pluvial para apresentar fluxo hídrico, desta forma, é caracterizado como “intermitente”, no seu primeiro trecho, desde o município de Capoeiras até São João. A partir do município de Angelim, torna-se perene pela ação de afluentes com nascentes ativas nas áreas de brejos próximas a este município.

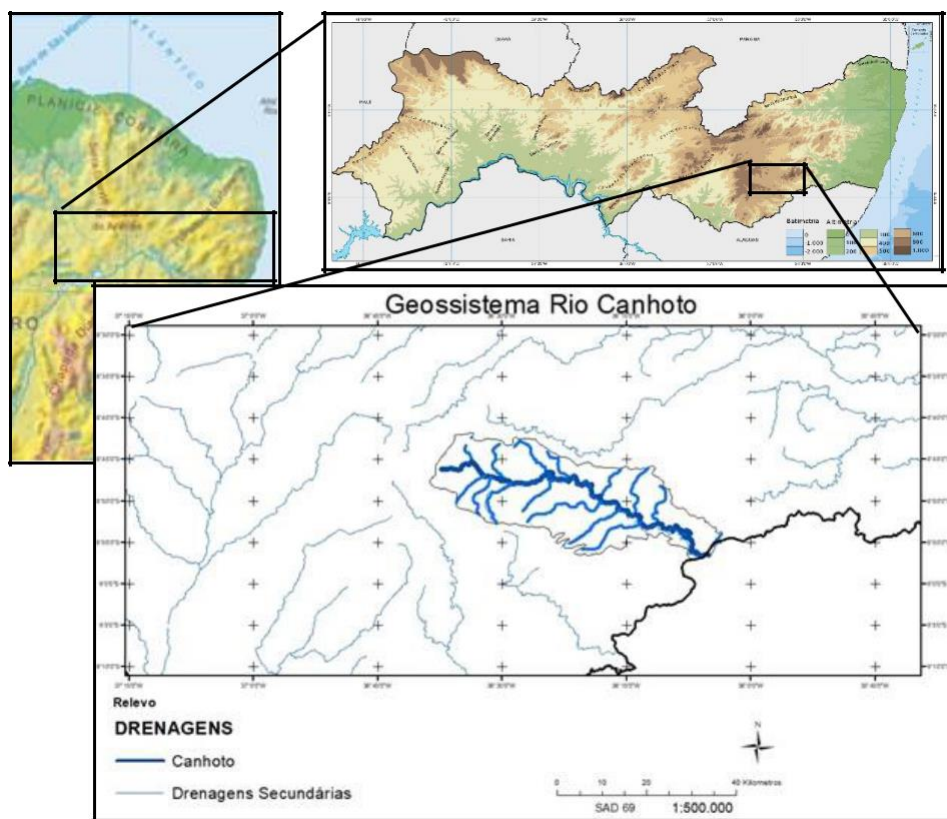
Em geomorfologia, é comum que se opte por analisar o recorte de uma bacia hidrográfica pela compreensão de que os processos de alteração das paisagens de um sistema físico estão fortemente atrelados a sua dinâmica hídrica, portanto, funcionando de maneira integrada no recorte espacial da bacia. Sobretudo, quando se tratam dos mecanismos externos aos componentes da crosta da Terra.

A justificativa para o estudo desta área especificamente, surge em decorrência da sua localização, em um ponto de transição ambiental que, seguindo a definição elaborada por Ab'saber (2003), consiste em uma região cujas características físicas e ambientais sofrem variação dentro de um determinado espaço, de acordo com a escala temporal específica de cada processo; esse trânsito, fica marcado pelas variações paisagísticas perceptíveis no recorte analisado, doravante expostos em outro capítulo.

Observando a imagem (Figura 1), é possível contemplar a localização do rio canhoto. Sua localização, encaixada entre dois arranjos ambientais fortemente relacionados com os aspectos topográficos e as disposições estruturais da litologia, está submetida aos controles internos de escala regional, pelos quais há, ao longo de todo período terciário superior e quaternário, o

esforço de soerguimento do bloco continental, defendido por autores como Maia *et al.* (2011).

Figura 1: Localização do geossistema Bacia do Rio Canhoto, no seu trecho no Estado de Pernambuco



Fonte: O autor (2022).

Essa região é chamada de superfície Borborema e sua flexura central engloba, sobretudo, os Estados da Paraíba e de Pernambuco. A área de trabalho possui uma variação topográfica da ordem de 600 m.

De acordo com a sua disposição geológica, a bacia do rio Canhoto está situada no terreno PE/AL. Este terreno está classificado como uma sub-região dentro da província Borborema, aquele terreno é descrito como uma faixa alóctone granítico-migmatítica, disposta desde a zona central do Agreste Pernambucano, margeando o lineamento Pernambuco, até o limite sul do Estado de Alagoas, margeando a sequência de falhas do sistema Vaza-Barris. O terreno Pernambuco-Alagoas possui dois sistemas de organização topográfica, bem definidos: o primeiro, associado às etapas de pujança dos ciclos de orogenia brasileiros, desencadeou o soerguimento dômico de parte da província Borborema, englobando o setor norte do terreno PE/AL (Corrêa *et al.*, 2010); o

segundo, associado ao tectonismo de margem passiva (Maia *et al.*, 2011) estruturou longos pedimentos aplainados, pouco ondulados, intercalados por soerguimentos estruturais locais, por vezes, sem sequer ultrapassar o capeamento sedimentar eluvial, onde barras de sedimentos das baixas e íngremes encostas estarão dispostos estratigraficamente seguindo os planos de verticalização impostos pelo arranjo estrutural (Lima, 2014).

Neste cenário, se acredita que a tectônica flexural permitiu o soerguimento à N-NO da superfície PE/AL marcado por zonas de cimeiras aplainadas, enquanto a evolução dos processos físicos contribuiu para a suavização das formas e o escalonamento da vertente S-SE, marcando linhas de paleoerosões (Lima, 2011). A ação das condicionantes estruturais impondo a característica topográfica local pode também ter alicerçado uma transformação ambiental em microescala, enfatizada pela dinâmica climática durante o quaternário (Suguio, 2010). Além destes fatores, abordagens recentes (Maia *et al.*, 2010; Maia *et al.*, 2011; Tavares, 2015) têm assinalado a ação de tectonismo durante o cenozoico, hipótese que conciliaria a ideia de uma reorganização ambiental recente – Neógena – pelos controles de microescala.

Dada à paisagem encontrada na área de estudos, a sua evolução dinâmica deve estar pautada sob duas perspectivas, não necessariamente excludentes entre si. O primeiro cenário está vinculado à mudança nos níveis de base locais e/ou no comportamento hidrológico da bacia, essa abordagem deve fazer referência à uma etchplanação dinâmica (Büdel, 1957; Thomas, 1994) enquanto, no segundo cenário, a dinâmica de sedimentação estaria associada a controles de larga escala vinculados a reativações Neotectônicas (Corrêa *et al.*, 2010; Maia *et al.*, 2011; Tavares, 2015).

Topograficamente, a área de estudos está dividida em dois setores: a noroeste, uma superfície elevada com patamares que alcançam 1000 m de altitude e, a sudeste, uma superfície rebaixada, com cotas médias da ordem de 300 m. Entre esses extremos há duas zonas de planificação intercaladas por picos elevados, o que evidencia uma situação escalonada entre patamares, Corrêa *et al.* (2010) atribuem o escalonamento topográfico desta bacia à variação litológica entre rochas mais jovens que cedem à pressão estrutural e são suprimidas concorrendo para a ondulação negativa, enquanto, segundo os autores, as estruturas petrográficas que possuem maior resistência à pressão,

bem como aos outros processos físicos internos e externos, permanecem em uma posição mais elevada na superfície caracterizando, neste ponto, a inversão do relevo, onde as superfícies mais jovens tendem a ocupar posições menos elevadas, topograficamente, enquanto que os topos estão sitiados por rochas mais antigas.

Litologicamente, (figura 2) esta unidade compreende as suítes de leucogranitóides metaplutônicas ao Norte; gnaisses e leucórsios do complexo Cabrobó, distribuídos em faixas ao Sul, Leste e Norte; suíte ortognaissica metaplutônica em uma pequena faixa ao Norte; e um conjunto de metagranitóides indiscriminados do complexo Belém de São Francisco nas faixas de Oeste e Sul.

Figura 2: Geologia da Bacia do Rio Canhoto



Fonte: O autor (2022).

Estruturalmente, uma série de alinhamentos, ora no sentido NE/SO, ora dispostos paralelamente desde a faixa central até às superfícies mais elevadas na porção NO/SE podem ter contribuído para a dispersão dos arranjos plutônicos bem como para o prolongamento dos variáveis graus de metamorfismo evidenciados nos componentes petrográficos na área. Os sistemas interiores que embasam o arranjo estrutural desta bacia também favorecem o desenvolvimento de feições correlatas.

Ao final desta introdução, é esperado que já se possa apresentar o quadro das fundamentações teóricas que deram sustentação ao trabalho aqui apresentado.

REVISÃO DA LITERATURA

1. Argumentações sobre os conceitos de Paisagem e Geossistema

É de natureza dada aos debates no âmbito da geografia, mais precisamente, da geografia física, que o conceito de Paisagem representa um tema fundamental das discussões deste ramo da ciência. Neste cenário específico, tem-se a geomorfologia como leito de debates fundamentais acerca do proposto. Com uma episteme particular, a ciência geomorfológica tem no conceito de paisagem um pano de fundo para suas discussões, bem como tal, o conceito de geossistema se insere com enfática representatividade, enquanto teoria que norteie os fundamentos para uma síntese naturalista (Cavalcanti, 2013).

Como deve ser conhecido, dentro dos objetivos deste trabalho está o de investigar a evolução dos geossistemas da bacia hidrográfica do rio Canhoto, assim como, paralela ou intrinsecamente, investigar sobre as transformações paisagísticas nos espaços e no tempo, dentro deste geossistema. Com base nessa premissa, é mister promover uma discussão sobre estes dois temas, afim de que as arguições provenientes dos seus usos não se confundam com achegas impertinentes, nem ultrapassem o real sentido de suas convenientes aplicações, o que representaria, além de desastroso exercício de futilidade, um desserviço à prosperidade científica.

Portanto, duas breves discussões sobre os conceitos de Paisagem e Geossistema serão apresentadas com o intuito de promover uma familiarização maior às suas respectivas derivações e aplicações deste emprego.

1.1. Breve discussão sobre o conceito de paisagem

Este conceito, paisagem, pode ser definido? Existe alguma forma de aplicação universal ou pode apenas ser aplicado a cada caso? Não há paisagens? Haveria apenas pistas do que pode ser aplicado como paisagem? A afirmação sobre a inexistência da “pedra fundamental” que definiria uma paisagem em todas as suas abordagens, não aponta fracasso para as definições já elaboradas ou a obsolescência dessas, pelo contrário, todas essas tratativas

formam o escopo de aplicações deste conceito; são todas estas aproximações que estabelecem um corpo científico e metodológico para o que, em geografia, será chamado de um “conceito-chave”.

Na discussão estética da arte pré-renascimento, por exemplo, o conceito de paisagem é aceito como uma perspectiva meramente visual (Besse, 2000). O conceito começa a ganhar forma a partir da contribuição de artistas europeus. Partido em duas vertentes artísticas, uma desenvolvida na Europa Setentrional, onde estão enfatizadas as descrições dos fatos que compõe o cenário, e outra mais trabalhada no Sul, onde ganha destaque a narração de eventos, nesse caso, as paisagens funcionarão aqui como quadros, planos de acontecimentos da existência como um todo (Gomes, 2017).

Ontologicamente, esta aplicação para o termo não está necessariamente apresentando uma dissociação entre os componentes que integram um retrato territorial. Porém, Besse (2000) aborda a paisagem como o resultado de interações e combinações do conjunto das condicionantes e funcionamento hierárquico dos meios ambientes. A perspectiva de Besse ainda admite que o resultado destas interações e condições pode evoluir em função das suas reverberações. Assim, este conceito se torna, não apenas algo físico, mas a narração de uma história, de maneira equivalente entre o mundo do visível e o mundo do “não-visível” (figura 3), algo que pode ser uma memória, remontada pelos meios que a compõem.

Figura 3: Uma paisagem apresenta resultados, inclusive, dos elementos não-visíveis que compõem o espaço tangível



Fonte: O autor (2022).

O sentido, ou entendimento, da história que evolui com o passar do tempo, deixa suas marcas na paisagem e, a estas marcas, podemos chamar signos, códigos que detêm um significado, um resultado, uma consequência dos fatos que constroem um ambiente (Besse, 2000). A ideia de significado do meio ambiente, só existe, pois, se houver a atribuição do fator humano. O intelecto que produz resposta ao fato, lhe verificando identidade de sentido, significado. Arthur Schopenhauer, filósofo do século 18, discute um dos sentidos mais atrelados ao conceito de paisagem à época, o belo.

Para o autor, a beleza é componente subjetivo à construção do intelecto humano, mais claramente, a projeção do sentido do ser em si sobre o objeto observado e, a esta projeção, nenhuma outra abordagem pode fluir de maneira mais vigorante do que a metafísica (Schopenhauer, 2006).

Seria, por tanto, a natureza ontológica da paisagem, apenas uma transfiguração metafísica. Aprofundando o tema, Schopenhauer (2006) discute o conceito de paisagem, enfatizando que, em uma abordagem estética, este termo já remete à perspectiva territorial, porém, atrelado ao campo visual; esta *Landschaff* será o reflexo do que a visão alcançar, obstante o “belo” apreendido pelo retrato, pela pintura, esta paisagem acima de tudo, é um reflexo da Ideia, da compreensão, do indivíduo, não podendo, por tanto, dissociar-se a uma compreensão metafísica, para além do visual. Assim, enfatiza o autor (Schopenhauer, 2006, p. 153) “O conhecer puro, enquanto tal, não é a coisa principal, mas com igual poder atua sobre nós a ideia conhecida: vemos em cada paisagem o mundo como representação em um grau significativo de objetividade da Vontade”.

Como o conceito de paisagem se acentua a partir da concepção humana, pode-se defini-lo como um objeto de investigação para uma metafísica da natureza (Kant, 2011). O filósofo europeu Immanuel Kant trata do entendimento da ciência, baseado na divisão tradicional grega, orientando seus agrupamentos em: Lógica – ditame da filosofia formal; Física – Tratado material sobre as leis da natureza; e Ética – Tratados sobre a liberdade de ação, os costumes, a moral em si.

Como o conhecimento vem do ser humano e, assim, a determinação de conceitos e teorias como consequência desse conhecimento, é possível afirmar que a investigação filosófica sobre a paisagem é a projeção de uma metafísica

da natureza, onde os objetos seguem submetidos às leis universais, porém a sua compreensão e o entendimento sobre as implicações dos seus diversos funcionamentos estão sob prisma do saber humano (Kant, 2011). Desta forma, é possível concluir que essas concepções introdutórias serviram de alicerce para estabelecer uma instituição do conceito de paisagem, sobre a qual, os diversos desdobramentos científicos irão debruçar seus esforços, diante das mais diversas aplicações, afim de estabelecer este conceito como uma ferramenta epistemológica.

Este tema polissêmico começa a enxergar um viés científico – do ponto de vista acadêmico, no campo da geografia –, com a contribuição de Alexander Von Humboldt ainda no século XIX (Vitte, 2006). Mesmo antes de uma sistematização geográfica, o naturalismo tateia os primeiros traços de descoberta da paisagem enquanto entidade.

Em Humboldt, a paisagem está para a natureza como a teia está para a aranha; a relação que se estabelece é de dependência e pertencimento. Os trâmites físicos de um ambiente que culminam com o desenvolvimento de uma paisagem, representam o “ser” próprio desta paisagem, assim, o passado não pode ser desprendido dessa compreensão. Mesmo o ente, a paisagem, sendo um retrato do agora, abrigaria a história e o reflexo do “cosmos” (Humboldt, 1875).

Se por um lado Humboldt constrói o alicerce do entendimento sobre evolução das paisagens, por outro lado, a própria ideia em si do que seria uma paisagem, parece estar amplamente agregada aos tratados filosóficos sobre a metafísica Kantiana e a projeção do entendimento humano sobre um objeto. O que lhe confere uma natureza estática. Assim, as arguições sobre o termo “paisagem” pretéritas ao século 18 irão costumeiramente aceitar que paisagem é lugar e, portanto, ente estático. Nesse período, de ebulição cognitiva sobre os mais variados aspectos da natureza, também se deve conferir méritos às inferências do geólogo escocês James Hutton, em sua clássica afirmação sobre a evolução dos vales e o trabalho de escultura desenvolvido pelo rio, como mecanismos que interagissem produzindo um resultado.

De fato, as observações dos naturalistas contemporâneos a Hutton, já admitem que a natureza funciona de maneira sistemática; que os componentes da terra desempenham trabalhos e que estes trabalhos geram resultados, bem

como, admitem também que a origem do planeta terra é a mesma para todas as partes e que as transformações que vão resultar em paisagens diversas, ocorrem com o tempo. O autor (Hutton, 1795) enfatiza

Na teoria atual, é mantida, que não há nenhuma parte da terra que não tenha tido a mesma origem, na medida em que esta consiste naquela terra sendo coletada no fundo do mar, e depois produzida, como terra, com massas de substâncias derretidas, pela operação de causas minerais. Mas, embora todas essas coisas sejam semelhantes ou iguais quanto à forma de sua produção, elas estão longe de o ser em relação aos períodos de sua composição original, ou às operações subsequentes que podem ter sofrido (p.132, *tradução nossa*).

O conceito de paisagem ainda não está amplamente aplicado a estas verificações, porém, tais arguições, servem de desígnio para diversas aplicações futuras. Em suma, como descreve Humboldt (1952), o meio natural será composto de “quadros” descrições de cenários que obedecem a um funcionamento, ainda que a representação seja feita para o momento, a dinâmica existe para cada componente de uma paisagem, sendo estes submetidos às leis naturais, seu movimento gera transformação da paisagem, que está submetida ao entendimento humano (Humboldt, 1952).

Sendo, os componentes da paisagem, objetos submetidos às leis da física, a energia é princípio fundamental da dinâmica desses componentes (Christofletti, 1999) e, por consequência, desta paisagem. Assim, a energia é base para funcionamento do sistema da natureza. Esta conclusão vem do século XVII. O filósofo Holandês Baruc De Espinoza (1632-1677) afirma que não há explicação pela qual a existência acontece, ela simplesmente acontece. Tal como seja, para cada componente da existência seja necessária energia para fazê-la acontecer. Seria, por tanto, a energia, um componente das paisagens porquanto as paisagens são coisas? Então o tempo, por si apenas, não configura entidade física, assim, não é responsável por quaisquer modificações no estado dos objetos, muito embora, através do tempo é possível perceber as transformações que um sistema sofrerá em função da atuação dos seus agentes dinâmicos, tais como, a energia.

Estudos contemporâneos como o de Cavalcanti (2014) argumentam sobre a temporalidade das paisagens. Segundo o autor (Cavalcanti, 2014, p. 19),

[...] as paisagens acumulam a história dos processos tectônicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, biogeográficos e culturais, mas são, antes de tudo, entidades da ordem do presente, pois constituem o resultado geoecológico e visível da interação de elementos e processos naturais e culturais.

Assim, a observação do espectro da paisagem, não se configura apenas em um contorno espacial, mas, também, num dado fragmento de tempo. Sendo plausível admitir a ideia de que essa complexa dinâmica sendo processada através do tempo, resultará em novos componentes, novos processos e novas paisagens.

São as percepções da modernidade alcançadas no século 19, com as ideias evolutivas de Charles Darwin, na biologia, e Karl Groove Gilbert, na geologia, que norteiam essa compreensão sobre comportamento dinâmico – evolutivo – da paisagem, para o mundo ocidental. No final deste mesmo século, o trabalho de William Morris Davis (1899), concatena, de maneira definitiva, uma ideia sistemática sobre a evolução de uma paisagem. O ciclo geográfico de Davis, está alicerçado na compreensão de dinâmica do relevo, trabalhado preteritamente por Gilbert e admite etapas para este processo evolutivo, segundo as quais, a paisagem responderia de acordo com o tempo de seus esforços.

A geografia passa a ser o pano de fundo para as análises que envolvem o conceito de paisagem. Os trabalhos de Davis revolucionaram a maneira de enxergar o relevo e o meio natural; a ideia de comportamento evolutivo do relevo, em estágios, que compreenderiam uma dinâmica temporal, é, sem dúvida, um dos maiores avanços na ciência do ocidente, entretanto, esta nova forma de enxergar uma paisagem natural não percebeu a teia de componentes que atuam nas transformações, reduzindo o processo dinâmico de evolução do relevo a termos absolutos.

A herança naturalista impõe, informalmente, uma dicotomia para a aplicação do conceito de paisagem, em “Paisagem Natural” e “Paisagem Cultural” (Christofolletti, 1999). Segundo o autor, tal debate tende a romper-se com a contribuição de Carl Sauer (1925 *apud* Christofolletti, 1999) onde fica

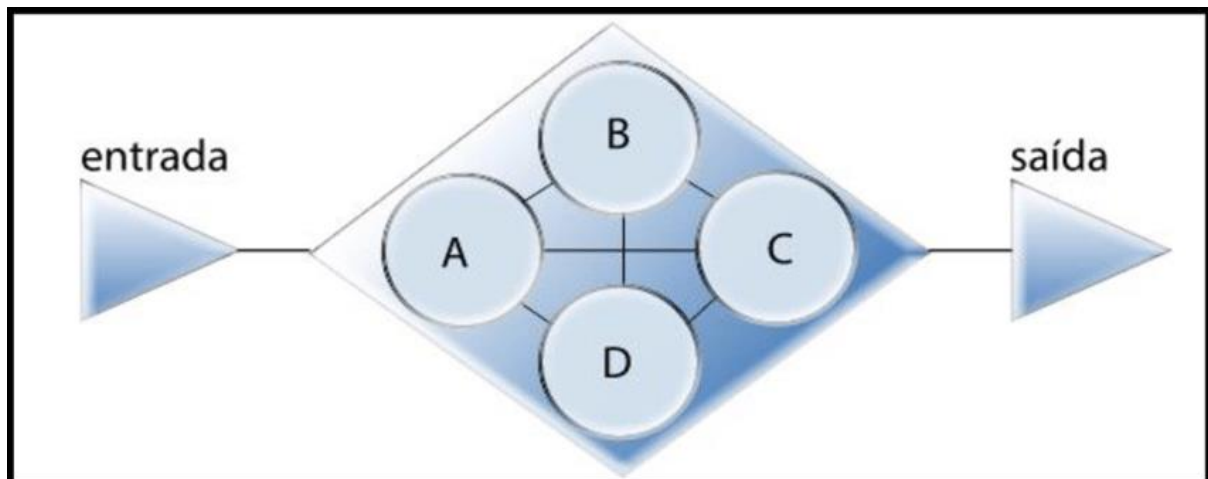
estabelecido este conceito como a epítome dos constituintes de um determinado espaço, durante um determinado tempo e, mais profundamente, enseja a geografia como a “fenomenologia das paisagens” (Christofoletti, 1999). A contribuição de Sauer não é apenas saudável ao estudo das paisagens, mas serve de fundamento epistemológico para a ciência geográfica.

Contemporaneamente ao desenvolvimento dessas abordagens globais e bilaterais, um conceito científico ganha amplidão junto aos diversos segmentos de ciências, sobretudo, àquelas que lidam com o chamado “meio natural”; é o conceito de sistemas.

O biólogo holandês Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972) anexa o conceito de sistemas às ciências da natureza a partir da sua “teoria geral dos sistemas” (Bertalanffy, 1975) na qual, os sistemas se caracterizam por apresentar relações de trabalho em diferentes hierarquias, apresentando um grau de conectividade que, em conjunto, formam um todo integrado. O estudo dos sistemas permite achegas sobre diferentes classes e arranjos de trabalhos e de resultados desses trabalhos.

Assim, segundo Christofoletti (2004) os sistemas vão ser classificados em “Isolados”, quando, dadas as condições iniciais, não sofrem perda nem obtenção de matéria ou energia com o ambiente que os circunda, sendo uma concepção teórica não percebida na natureza estando, apenas, induzida pela lógica da própria teoria, sendo o Universo a indução mais aproximada de um estado de isolamento (figura 4). Os sistemas físicos também podem ser chamados “não-isolados”, quando mantiverem comunicação com outros sistemas, neste caso, podem ser subdivididos em: “Abertos”, quando ocorre troca de matéria e energia com outros sistemas, e “fechados”, quando existir permuta de energia, mas não de matéria (Christofoletti, 2004), podem servir de exemplos, no primeiro caso, um sistema fluvial, onde haverá transmissão de matéria (sedimentos, subprodutos orgânicos, plantas, animais) e energia (fluxo hídrico), bem como, ilustra uma situação de sistema fechado o planeta Terra, onde não há uma troca regular de matéria, porém há constante manutenção de energia com o sistema solar e outros.

Figura 4: Organização de um sistema ambiental clássico



Fonte: Christofolletti (1999).

Assim, Ab'saber (2003) assinala para a inevitável conclusão, a que chega o cientista após uma carreira de investigações sobre a paisagem, de que esta, representa herança, o fruto de uma concatenação de fatores histórico-temporais. Portanto, a concepção ontológica da paisagem fica alicerçada sob o legado do histórico de processos físicos, endógenos e exógenos (Ab'Saber, 2003). A concepção de fatores homogêneos dentro da definição de paisagem permitiu identificar e agrupar paisagens dentro de paisagens, embasado na diferenciação genética de sua evolução e nas diferentes características físicas e ecológicas. Assim, seria possível haver algum tipo de classificação para as paisagens que podem até ser desdobramentos de classificações de outros objetos de análise das ciências, mas que, por razões diversas, acaba por representar, também, maneiras de organizar as paisagens.

A trama científica que engloba o conceito de sistemas aplicado a diversos ramos científicos terá seu ápice, no âmbito da geografia e do estudo das paisagens, no início da década de 1960 com o trabalho de Viktor Sochava (1963) onde são constituídas algumas terminologias para o campo da geografia física. Neste trabalho, é apresentado ao mundo o conceito de geossistema como uma unidade natural que englobaria todas as unidades possíveis, desde o geossistema planetário às menores classes geossistêmicas (fácies físico-geográfica) (Sochava, 1963). Na afirmação do autor, o geossistema representa a síntese da interação entre os componentes de um ambiente, embasada na troca de fluidos e energia, podendo se encerrar em uma pequena mancha de solo com delgada cobertura vegetal até o planeta terra, como o geossistema

fundamental, a variar de acordo com o grau de interação entre os componentes analisados e os cenários resultantes. O sistema físico ambiental com nomenclatura soviética pode configurar como a mais recente definição com possibilidade de associação ao conceito de paisagem. Segundo Christofoletti (1999, p. 42)

Os sistemas ambientais físicos representam a organização espacial resultante da interação de elementos componentes físicos da natureza (clima, topografia, rochas, águas, vegetação, animais, solos) possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando uma organização (sistema) composta por elementos, funcionando através de fluxos de energia e matéria, dominante numa interação real, as combinações de massa e energia, no amplo controle energético ambiental, podem criar heterogeneidade interna no geossistema, expressando-se em mosaico paisagístico.

Antes de haver prosseguimento com as formas de classificação do conceito de paisagem é preciso abrir espaço à discussão sobre a teoria do geossistema, visto que, posteriormente, toda a referência epistêmica do trabalho será galgada em uma associação ontológica entre estes dois conceitos.

1.2. Breve Discussão sobre a Teoria dos Geossistemas

No mundo oriental, mais precisamente na Rússia, no final do século XIX, a ciência natural interpela, sobretudo, as relações pedológicas, suas causas e reverberações ambientais dentro de um apanhado científico bastante prolífico (Cavalcanti, 2014). Segundo Christofoletti (1999), a primeira síntese natural a ganhar força naquele país vem de Dokutchaev (1912), designando o “Complexo Natural Territorial” como um recorte espacial onde os fatos da natureza interagem em certo grau de co-dependência.

Segundo Cavalcanti (2013) o trabalho de Dokutchaev tem aspirações no naturalismo Humboldtiano, seguindo sua herança metodológica, embasada nos tipos, na regularidade, na unidade cósmica e na correlação de fatos ou de “quadros”, como componentes dessas formações integradas. As observações de Dokutchaev sobre a relação de desenvolvimento dos solos com o clima, sua interação com as plantas e animais de uma determinada região, serviram de

base para que fossem formuladas zonas de influência mútua, baseadas nessas relações (Cavalcanti, 2013). Assim, estava inaugurada, ainda que de forma incipiente e, até certo ponto, inconsciente, a concepção de sistema aplicada as relações de natureza. As investigações deste naturalista acabam por resultar na concepção de solo, como se conhece, e na sua rápida divulgação pelo mundo, mais do que isso, estão lançadas também as bases para a compreensão do posicionamento das paisagens e suas morfologias a partir das influências da latitude e da longitude (Cavalcanti, 2013).

As tentativas de promover uma unidade aos ambientes naturais vão estar em pauta durante a primeira metade do século XX no mundo científico. A proposição mais aceita no mundo ocidental surgiu com os trabalhos de André Cailleux e Jean Tricart (1952, 1965,) que forneceram um apanhado bastante significativo de noções acerca da concepção de unicidade na natureza (Vitte, 2007). Suas contribuições foram influenciadas pela ideia de ecossistema (Tansley, 1935) e pela Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1975).

Voltando ao cenário Russo, Viktor Sochava (1963) apreendendo a visão holística aplicada por Dokoutchaev desenvolve a sua concepção de síntese da natureza, o Geossistema. De pronto o conceito ganha força no seu país natal, sendo amplamente divulgado na Europa a partir de então (Christofolletti, 1999). Os geossistemas serão definidos por Bertalanffy (1973, *apud* Sochava, 1978, p. 9) como “uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados”. Sendo esta hierarquia, o ponto de maior relevância dos geossistemas.

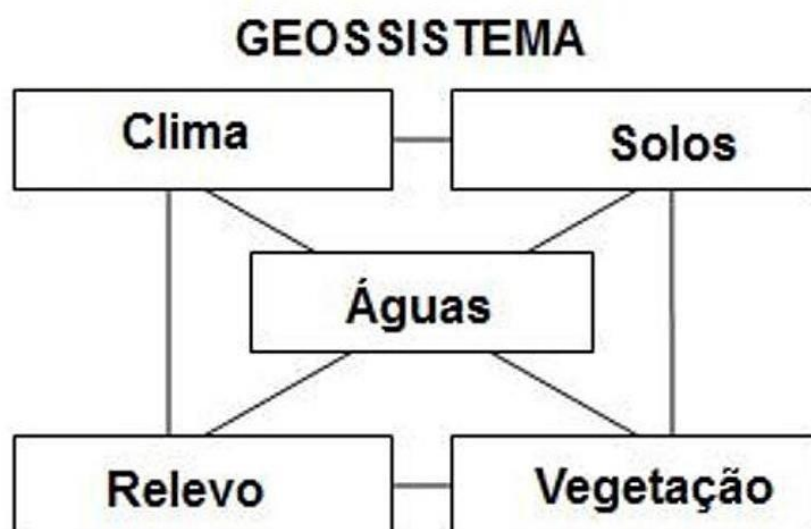
Anos depois, o geógrafo francês Georges Bertrannd irá promover uma definição particular para o conceito de geossistemas, arraigado nas definições dos sistemas naturais propostos por Tricart e Cailleux (1956), contudo, sua concepção não engloba o cerne fundamental do conceito soviético, de que os geossistemas não possuem uma definição territorial pré-concebida, podendo fazer referência desde o planeta Terra até uma mancha de solo sobre leito rochoso com vegetação rasteira (Cavalcanti, 2013). Contudo, os trabalhos de Bertrannd irão desenvolver excelsa influência no mundo acadêmico brasileiro, de tal forma que, durante muitos anos no século XX haverá uma confusão entre os conceitos e sua abordagem na geografia do Brasil (Corrêa, 2010). Em defesa da correta aplicação do conceito, o próprio Sochava (1978, p. 6) afirma

Uma vez mais é necessário encarar a questão do estudo dos geossistemas como formações naturais, desenvolvendo-se de acordo com os níveis segundo os quais atuam, sobretudo, na esfera da geográfica. Muitos dos autores da URSS e no exterior assim o compreendem. Somente tais geossistemas estão sendo estudados na natureza, sendo publicados os resultados desses estudos. Outras interpretações de um geossistema representam construções especulativas, cujas noções são fragmentariamente formuladas numa direção extrema.

Os esforços desta correção ainda são necessários, sobretudo, pelas reverberações dos trabalhos iniciais dos geógrafos franceses aqui no Brasil (Cavalcanti, 2013).

Compreendendo a adequação ao termo correto que deverá ser adotado neste trabalho, pode-se alinhar o geossistema (figura 5) com o conceito de paisagem, uma vez que ambas definições serão entendidas como sistemas físicos, à priori. Assim, os sistemas físicos serão aceitos como o objeto de estudo da geografia física (Christofolletti, 1999), onde o conjunto interativo desses sistemas irá compor as paisagens (Tricart, 1977) funcionando de maneira integrada (Sochava, 1978), dinâmica e com tendência constante ao equilíbrio (Hack, 1960), onde cada processo gera um resultado e cada resultado funciona como uma marca de sua ocorrência na própria paisagem (Ab'saber, 2003).

Figura 5: Integração complexa dos sistemas físicos



Fonte: Christofolletti (1999).

Em suma, os sistemas físicos são o conjunto de processos intra e inter-relacionados que constituirão as formas das paisagens. Para Hack (1960) o comportamento das formas das paisagens é cadenciado por uma evolução dinâmica que busca o equilíbrio através do balanço isostático nas distribuições de massa e energia, onde pontos específicos da crosta podem variar de litologia apresentando composições mais ou menos resistentes, o que resulta no controle de evolução do saprolito, dos níveis de base, na distribuição dos canais e aplainamentos (Hack, 1960). Em suma a relação entre geossistema e paisagem, numa ótica de similaridade, induz o pesquisador a compreender o conceito de sistemas de paisagens (Cavalcanti, 2014) como método contumaz neste empenho.

Enquanto sistemas, as paisagens responderão ao resultado dos processos integrantes e, mesmo que de uma forma muito tênue, cada paisagem abrigará uma quantidade de mecanismos funcionando de maneira interativa com outra paisagem (sistema), onde, assim como o um geossistema, *stricto sensu*, as paisagens também podem existir em diferentes níveis de compreensão, a depender de seus componentes.

Resistindo à leviana tendência de decorrer em generalizações, mas pelo esforço de compreender um cenário do qual a própria visão não é ferramenta adequadamente aplicável, é necessário, uma vez mais, investigar a possibilidade de classificação dos sistemas de paisagens, mesmo que este trabalho seja, por vezes, execrável aos trabalhos modernos, devido aos esforços pretéritos. Não é impossível encontrar similaridade conceitual entre a teoria dos geossistemas (Sochava, 1963) e o conceito de quadros naturais (Humboldt, 1952), por exemplo.

Esta assertiva garante que todo esforço de entendimento holístico de um objeto natural deve ter mérito reconhecido. Indo mais além, é justa e necessária a tentativa de estipular um modelo que dê conta da representação de um padrão comportamental aos sistemas físicos, por este motivo, serão agora contempladas algumas ideias que norteiam esta investigação, sobre as quais, estão dispostas as concepções mais utilizadas acerca destes sistemas.

1.3. Modelos de Classificação dos Sistemas de paisagens

Nos sistemas físicos, desde as observações de Humboldt, no século XIX, já se tinha a noção de que havia um recorte espacial que se equiparava a outros, no tocante a algumas características físicas, tais como o clima. Segundo o autor (1952, p. 111)

Reconheceu-se que o máximo de calor a certas horas de um dia de verão, tomado em uma longa série de anos, é quase o mesmo em todas as regiões da terra, nas margens do Neva, no Senegal, nas margens do Ganges e do Orenoco; quer dizer que quase não varia senão de 27 a 32 graus Reaumur.¹

Nota-se no trecho, evidentemente, que se trata de uma observação sobre uma faixa latitudinal pouco variável. No entanto, tal classificação espacial seria formatada apenas cerca de 120 anos depois, permitindo o equívoco da assertiva.

Mesmo decorrendo em erros iniciais, que muitos mais servirão para embasar os acertos futuros, do que para repreender a atuação dos pesquisadores primordiais da ciência, a herança do naturalismo para o entendimento da configuração dos sistemas de paisagens é contumaz. Mas não há apenas um enfoque quanto a classificação; as paisagens apresentam características específicas e, com isso, também, causas específicas, de forma tal que, a este trabalho, um sem número de especialistas vão debruçar seus esforços ao longo do século XX.

No século XX, o modelo dos domínios morfoclimáticos da Terra (1958) foi desenvolvido por Cailleux e Tricart. Logo, este modelo, se tornou uma base de compreensão sobre as distribuições de clima s e paisagens pelo mundo, sendo adotado por, pelo menos, toda a face ocidental do planeta. O que o marcou como, talvez, o último modelo generalista de classificação das zonas climáticas da Terra.

Este modelo se baseou na distribuição de calor na superfície terrestre, bem como o posicionamento dos corpos hídricos e das massas de terras e sua

¹ A escala de medição “Reaumur”, foi desenvolvida pelo físico francês René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), em 1730, com base nos pontos fixos de congelamento da água, em 0°, e 80° sendo o ponto de ebulição do mesmo elemento, representando 4/5 da escala de Celsius. No trecho descrito, 27° Re, correspondem a 33,7° C, enquanto 32° Re assinalam 40° C.

influência na distribuição de energia que toca a atmosfera advinda da radiação solar. Uma adaptação deste conceito será aplicada ao Brasil graças aos esforços de Aziz Nacib Ab'saber (1924-2012). Ab'saber busca atribuir as bases da concepção de Cailleux e Tricart, como um modelo generalista da natureza, do qual se podem arraigar informações para a composição de um quadro que represente de maneira mais eficaz os mosaicos paisagísticos regionais, ou seja, um modelo que abarque situações de um campo reduzido de análise. Esse trabalho foi proposto para o território brasileiro, onde se foi averiguado seis macrodomínios (2003). Enquanto os espaços intervalos entre cada domínio foram classificados como “áreas de transição”.

Contudo, mesmo os domínios macroscópicos ainda não podem contemplar toda a gama de feições de um vasto território, seja pela extensão deste território que alcança configurações ambientais diversas, seja pela atuação de algum fator pontual que promova uma variação física ou química local. Para tal situação surge a definição de “paisagens de exceção”. O termo “Paisagens de exceção, refere-se a fatos isolados, de diferentes aspectos físicos e ecológicos, inseridos no corpo geral das paisagens habituais” (Ab'saber, 2003, p. 147).

O pensamento de Ab'saber evolui com o passar dos anos e sua definição de domínio morfoclimático recebe uma remodelagem, ao que o pesquisador irá chamar de “Domínios de Natureza”, como uma clara referência simbiótica aos conceitos de paisagens e geossistemas. A contradição entre a existência de atores singulares que representam alterações locais em paisagens dentro de um macrodomínio expõe a inevitável falha que existe na busca por uma regra natural geral, para um sistema de classificação de paisagens. Entretanto, a busca por uma definição generalista não representa exercício banal, desde que sejam respeitados comportamentos individuais de algumas regiões.

Um sistema de classificação de paisagens será eficaz ao passo que contemplar as relações de microescala atuantes em diversos seguimentos de complexo paisagístico, possibilitando assim, que uma unidade de classificação seja, na verdade, um grande mosaico desconstruído a partir de níveis e sub níveis de interação. Ao que, tais sub níveis, podem figurar contextos completamente diferentes das hierarquias superiores, caracterizando, portanto, que tais arranjos não comportam hierarquias totalmente aninhadas. Um exemplo simples dessa

relação pode ser encontrado nos maciços elevados da margem meridional da Borborema, onde uma complexa teia de fatores climáticos e geológicos construiu cenários difusos aos percebidos em áreas adjacentes (Lima, 2014).

Seguindo tais esforços, contempla-se em diversos trabalhos (Cavalcanti, 2014) que os métodos de classificação de paisagens surgem pautados em um mecanismo de regionalização, onde são explorados os indivíduos nos seguimentos de tipologias destacando padrões, possivelmente repetitivos. Neste interim metodológico Ab'saber (2003) definirá 4 categorias para os sistemas de paisagens, defendidos, entre outros, por Cavalcanti (2014) e Lima (2014), a saber: Zona, atribuída a um domínio de condicionantes globais, sendo a “Zona Tropical” um exemplo desta aplicação; Domínios de Natureza, onde existirão controles regionais, a exemplo dos mares de morros; famílias de ecossistemas, com predomínio de agentes pontuais como a orografia e a drenagem, sendo observado como referência o Agreste nordestino brasileiro; e, por fim, os mini biomas, onde a topografia local e os usos da terra serão exemplos de determinantes genéticos, podendo ser citados os brejos de altitude da província Borborema como representantes destas classes.

Mais do que uma simples definição possa contemplar, a amplitude do termo “paisagem” permite elaborar um sem fim de abordagens e aplicações, sejam essas integradas ou não a outros mecanismos de análises, como a teoria sistêmica, a saber, tão polissêmicas quanto à própria definição desse conceito-chave da geografia (Castro, 2007), dado essa concepção holística e simbiótica, é possível haver similar variedade de abordagens que contemplem os mais variados modelos de classificação, entretanto, é mister a necessidade de um arcabouço metodológico que concatene esses modelos de forma a construir um conhecimento sistemático, por isso, o ramo científico onde a abordagem do conceito de paisagem é ampla e profunda, é a geomorfologia.

A ciência geomorfológica é aquela que lança o olhar sobre a evolução da paisagem, de maneira mais fecunda, e que consegue relacionar os diversos saberes em torno da análise do espaço geográfico sob a ótica paisagística.

Não obstante à perspectiva de análise da paisagem sob uma ótica integradora entre componentes, processos e formas, e colocando em vislumbre a teoria sistêmica, Cavalcanti (2010, p. 41) sob preceitos da escola russa (Isachenko, 1991; Sochava, 1978), procura definir o termo paisagem como

[...] uma área específica, homogênea em sua origem e história de desenvolvimento, com o mesmo fundamento geológico, o mesmo tipo de relevo, o clima geral, uma combinação uniforme de condições hidrotermais, solo, biocenoses e conjunto lógico de partes morfológicas – *fácies e tratos*.

A necessidade de se retornar ao conceito de paisagem surge em função do arranjo proposto, nesse momento, com a justaposição entre a geomorfologia e os modelos de classificação de paisagens.

Cavalcanti (2014) descreve em seu método, que a técnica para realizar uma modelagem aplicável a uma paisagem deve preocupar-se em identificar uma paisagem grande e subdividi-la em paisagens menores e observar paisagens pequenas e organiza-la em paisagens maiores. Atentando para o fato de que qualquer modelo hierárquico de modelagem de paisagens tende a representar mais uma situação pontual do que a generalização que pressupõe o trabalho. Seguindo mesma linha de raciocínio, Simmel (2009, p. 6) afirma que “ver como paisagem uma parcela do chão com o que ele comporta, significa então, por seu turno, considerar um excerto da natureza como unidade – o que se afasta inteiramente do conceito de natureza”.

O estudo de Correa (2001) é um exemplo de como estabelecer ambientes dentro de uma paisagem a partir de uma classificação específica, neste caso, processos de erosão/deposição (figura 6). Mais tarde, Corrêa e Mendes (2002) irão refletir sobre os problemas das superfícies de aplainamento, pois sua gênese não consegue ser amplamente explicada nos modelos desenvolvidos, de uma forma que contemple a situação de todos os ambientes e de todas as paisagens.

Figura 6: Linhas de deposição marcam diferentes períodos do processo



Fonte: Lima (2014).

Observando atentamente, os sistemas que compõem uma paisagem, podemos enxergar a complexa teia de processos que criam sistemas dentro de sistemas, a depender da escala espaço-temporal analisada. Os problemas de generalização nos modelos de classificação, portanto, parecem ser um pressuposto da própria ciência, contudo, algum esforço deve ser empenhado nesse sentido.

Na tentativa de elucidar a relação entre processo e forma de uma paisagem os geomorfólogos empenharam suas pesquisas a fim de esclarecer o processo de evolução das paisagens e seus mecanismos, contudo, estes trabalhos geram um grande volume de conhecimento que carece de um espaço distinto nesta investigação para garantir o máximo alcance das explanações pretéritas que, em muitos casos, têm reverência de teoria clássica para a ciência geomorfológica.

2. Modelos de Evolução Geomorfológica

No período das pesquisas naturalistas, começa a surgir na comunidade científica, o interesse por elucidar a evolução das paisagens ao longo do tempo. Porém, é apenas no século XIX com as contribuições de Karl Groove Gilbert que um esboço sistemático acerca das etapas de transformação pelas quais uma paisagem passa, até o estágio ao qual se encontra.

Em um primeiro momento, as investigações esbarram na limitação técnica e no frágil arcabouço teórico ao qual estão alicerçados os conceitos de época sobre os processos que geraram as transformações dos relevos.

De fato, os trabalhos de Gilbert representam o marco zero das investigações sobre evolução de relevo de maneira integrada a outras ciências. É também no século XIX que outros avanços teóricos, em diversos ramos científicos, permitem que haja a integração de conhecimentos voltados para um mesmo norte, embasados na perspectiva evolucionista e no abandono do mito enquanto norteador analítico.

Porém, foi apenas no último ano deste século que o trabalho de William Morris Davis (1899) intitulado Teoria do Ciclo Geográfico, definiu aquele seria compreendido com o primeiro modelo de evolução de paisagens. A teoria de Davis está estabelecida em suas observações do Nordeste dos Estados Unidos.

Segundo este trabalho, o relevo sofre um processo de soerguimento rápido e, posteriormente sua elevação, ocorrerá um processo de abertura de vale fluvial e rebaixamento das margens de maneira uniforme e progressiva no sentido do nível de base local.

O painel exposto por Davis revela que sua teoria se baseia em estágios de evolução, onde o relevo jovem seria a superfície elevada ainda com poucas, ou nenhuma, marcas de erosão, o relevo maduro é aquele em que existem vales fluviais e o papel das drenagens se torna proeminente na superfície, por último, o relevo senil, aquele ao qual a superfície está aplainada e próxima do nível de base local. Para Monteiro (2010), Davis lança as bases para a compreensão do conceito de superfícies de aplainamento, onde, segundo aquele autor, é lançada mão da análise de evolução de uma vertente, pela qual, será possível entender todo o comportamento evolutivo do relevo.

Segundo Pelvast e Claudino Sales (2002), as superfícies de aplainamento são “superfícies rochosas horizontalizadas formadas pela ação erosiva, apresentando declives apenas suficientes para a ocorrência do escoamento superficial livre das águas e dos fluxos fluviais”. A discussão sobre as superfícies de aplainamento ganhará força durante o decurso do século vinte e será continuamente averiguada no decorrer deste trabalho, no entanto, neste momento será voltada atenção ao desenvolvimento de outros exemplos de modelos teóricos em geomorfologia.

O paradigma cíclico desenvolvido por Davis foi o padrão do pensamento geomorfológico por, pelo menos, 50 anos em todo o mundo ocidental e seu êxito estava contido no fato de haver uma sistematização dos ciclos de evolução, contrariamente à descrição isolada feita por seus contemporâneos (Christofolletti, 1980). Entretanto, apesar do elevado grau de aceitação da teoria davisiana, outros paradigmas foram propostos seguindo o pensamento de evolução cíclica. Isso se deve, dentre outros, às brechas existentes na teoria, onde, de acordo com Tricart (1971), o trabalho de Davis não leva em consideração os meios inseridos dentro dos ambientes e sua interferência na dinâmica dos processos, como é o caso da vegetação que nunca fora descrita como partícipe do processo de modelagem do relevo, contudo, há apenas a compreensão do processo em si.

Para Christofolletti (1980) a teoria do ciclo geográfico ou ciclo de erosão apresenta o erro contumaz de considerar como “normal”, apenas, a erosão promovida pela água corrente, enquanto, o gelo e o vento eram colocados ao plano da excepcionalidade. Fato que foi criticado pela comunidade científica, sobretudo após a segunda guerra mundial (Christofolletti, 1980).

Apesar de ser amplamente aceito na primeira metade do século vinte, o modelo davisiano, não estava livre de críticas que se desdobravam, principalmente, na caracterização dos processos em si, pois estaria apoiada na ideia de uma longa estabilidade tectônica. Assim, no início do século XX, na Alemanha, Walter Penck (1924) formulou uma teoria de evolução do relevo baseada no conceito de ciclicidade, mas que levava em consideração o componente ativo. Segundo esse tratado, a erosão se estabelece de maneira paralela ao soerguimento, enquanto a lenta ativação tectônica não seria capaz de promover a ascensão do bloco, por outro lado, a denudação atuando de forma mais intensa, seria o principal escultor do relevo.

Contudo, apesar das críticas direcionadas a alguns aspectos do trabalho de Davis, outro modelo teórico de evolução do relevo só vai ser justaposto ao trabalho do pesquisador estadunidense, em 1956, pelo geomorfólogo inglês Lester C. King (1907 – 1989). Revisitando a evolução das vertentes, como problemática central de sua teoria, King se debruça sobre a forma de alteração desses compartimentos em função do avanço erosivo sobre os mesmos. Desta forma, para King, as vertentes regridem paralelamente, umas às outras, conservando o ângulo de inclinação original. Desta feita, os pedimentos irão evoluir entre o sopé e o leito fluvial, à medida que a vertente se afasta deste. Como produto dessa transformação, os vales irão evoluir em função dos níveis de base locais, onde cada sub compartimento pode apresentar um nível de base próprio. A adaptação do modelo de Penck, adotado por Lester King, seria aplicado ao bloco continental, dado que, em sua subdivisão, poderão ser verificados diversos outros patamares menores que apresentarão, em suas respectivas escalas de análise, a formação de novos vales e novas vertentes, segundo os quais, poderá haver uma evolução particular (Christofolletti, 1980).

No Brasil, o aprimoramento da teoria de pediplanação, proposta por King, será, em um primeiro momento, o modelo de evolução geomorfológica mais aceito. O próprio pesquisador participou de diversos estudos, principalmente na

costa leste do Brasil, onde divulgou sua teoria aplicando-a ao contexto morfológico do Brasil (1956).

Corrêa & Mendes (2002) atentam para os apontamentos descritos por Helgren (1979) que justificam a aceitação do modelo de King, apesar deste modelo apresentar dificuldade de uma verificação empírica, sendo os principais destes apontamentos relacionados à possibilidade de alçamento generalizado do bloco continental, o recuo paralelo das encostas recorrente por longas distâncias, bem como o longo recuo dos knick-points dos rios e a recorrência de superfícies rebaixadas associadas a um nível de base comum, o nível do mar (Corrêa & Mendes, 2002).

Todos esses processos, ora descritos podem ser compreendidos como fenômenos indexados a uma relação fina entre o arranjo estrutural e o comportamento climático dos ambientes onde os fatos correlatos são verificados. Ainda como achega ao trabalho de King, é palatável restringir os fenômenos cognoscíveis a um recorte espacial notadamente tropical, se não, de forte influência da variação climática entre fase seca e úmida, pela reconhecida atenção aos processos de intemperismos. Tal compreensão é fortalecida pela afirmação de Christofolletti (1980) ao identificar o vínculo entre a teoria proposta por Penck, para clima s úmidos e a defesa de King para todo um contexto continental.

Muito embora, é sábio refletir que tal defesa não estava livre de entrementes. Se, por um lado, os processos de evolução do modelado, em Penck, são expostos de maneira tal que o rio ganha um papel determinante nesta evolução, King, irá refletir sobre a fase da maturidade do relevo, onde o local de maior dinâmica será concentrado nas vertentes.

Notadamente restritos a processos dentro de uma escala esgotada entre o clima e o componente geológico, os modelos de evolução de relevo desenvolvidos durante a primeira metade do século XX, até meados deste, preocupam-se com a contemplação de arranjos dentro da chamada “macro escala” de análise.

Porém, na década de 1960, surge uma proposta de modelagem geomorfológica que busca alinhar os saberes dos campos da física, biologia e química em uma visão integradora dos fenômenos de transformação do relevo.

Assim, foi proposta a teoria do equilíbrio dinâmico (1960) de Jonh T. Hack. Para Hack (1960) o comportamento das formas das paisagens é cadenciado por uma evolução dinâmica que busca o equilíbrio através do balanço isostático na distribuição de massa e energia, onde pontos específicos da crosta podem variar de litologia apresentando composições mais ou menos resistentes, o que resulta no controle de evolução do saprolito, dos níveis de base, na distribuição dos canais e aplainamentos (Hack, 1960).

Apesar da grande conta que se espera do componente geológico, como definidor do balanço estrutural inicial, à medida que se somam os processos físicos, químicos e biológico, dentro de uma cadeia de intemperismos e sempre correspondendo às imposições físicas dos corpos presentes em cada recorte, a dinâmica correspondente a distribuição das massas geradas por tais intemperismos cuida de acentuar novas formações.

Em Hack (1960) as transformações superficiais se dão pelo princípio da isonomia, onde os sistemas tendem ao equilíbrio mesmo onde há transformação. De uma maneira clara os processos físicos e ambientais funcionam sistematicamente contrabalanceando uns aos outros (Ibanez *et al.*, 2014).

Aqui, a forma das superfícies terá correspondência com todos os processos atuantes sobre os corpos envolvidos com a dinâmica evolutiva. Assim, a estrutura e o hábito cristalino dos cristais presentes em uma rocha, podem ser determinantes para a organização do depósito de sedimentos correlatos a tal rocha, bem como a orientação dos cisalhamentos crustais pode definir a orientação e o sentido de drenagens e sistemas de erosão.

Em Popp (2010) há a tese que reforça essa validação, para o autor, os processos geológicos dinâmicos, atendem diretamente a uma grande quantidade de fatores; desde os segmentos de larga escala, até os fenômenos que ocorrem em situações pontuais.

Exemplificando esta passagem, o autor (Popp, 2010), aborda que em um depósito sedimentar, os fatores listados anteriormente podem definir o arranjo morfológico de tais depósitos o que, por sua vez, pode influenciar no desenvolvimento de intemperismos pelos direcionamentos dos pequenos sulcos, essa simples dinâmica, quando colocada em perspectiva já é o suficiente para desencadear uma série de processos superficiais, aos quais, grandes arranjos morfológicos podem estar associados.

Há, portanto, uma forte vinculação ao desenvolvimento destes conceitos e a teoria do caos determinísticos (Christofolletti, 2006). Segundo essa teoria, em função do complexo arranjo sistemático estabelecido entre os componentes da natureza, cada pequeno fenômeno gera um resultado que alimenta o desenvolvimento de outros processos, em uma integrada cadeia de trabalho, geração de massa e energia e o deslocamento desses produtos dentro de um sistema bem como na sua relação com outros sistemas.

Contemporâneo ao desenvolvimento da concepção de equilíbrio dinâmico defendido por Hack (1960) está a concepção da “Teoria Geral dos Sistemas” (Bertalanffy, 1975). Por esse pressuposto, há uma relação interdisciplinar aplicada ao entendimento dos processos evolutivos do relevo. Para Lima (2014), “mais do que uma nova forma de tentar enxergar o mundo, surge aí uma tentativa do homem em compreender os processos atuantes nas paisagens naturais para, assim, encontrar a forma mais equilibrada de desenvolvimento” (p. 6). Dessa forma, os sistemas morfológicos que embasam as paisagens, passam a ser analisados como sistemas dinâmicos, onde, para o desenvolvimento de uma etapa é necessária à existência de energia como resultado do funcionamento de uma etapa anterior; cada novo processo gera resultados que servirão para dinamizar novos processos de maneira caótica, ou seja, cíclica e constante, mas, em função das variações nos níveis de resiliência dos sistemas, de maneira episódica e pontual.

Christofolletti (2006) acena para a adoção da teoria do caos determinístico como um novo paradigma analítico nas ciências físicas, tais como a geomorfologia. Para este autor, o comportamento dinâmico dos sistemas físicos só se explica pelo comportamento dinâmico dos mecanismos que compõem o sistema, dessa forma, considerando as interações simbióticas que componentes de diferentes sistemas realizam entre si, a previsão do comportamento de um sistema é incerta. O caos é determinístico, mas não determinável.

A teia de interações dos sistemas físicos se mostrou tão complexa que não se pode conceber uma forma de previsão completamente livre de erros. Por esse prisma, um mecanismo simples pode desencadear um fenômeno de grande proporção.

Como a pisada de uma vaca em uma superfície eluvial, pode gerar a desagregação de partículas superficiais e, associado a um processo de chuva

intensa, esse processo pode levar a formação de uma ravina, em comunhão com outros processos, a ravina pode evoluir para voçoroca e para um sistema de voçorocas, levando a destruição da estrutura de solos até a formação de uma *badland*. O conjunto de processos dinâmicos leva a construção de um sistema dinâmico.

Para Hack (1960) é essa intrincada cadeia de processos que geram repercussão nas formas do relevo. Os princípios físicos de isostasia e isonomia são importantes condicionantes da distribuição das massas na superfície da terra, estabilizando a relação processo x forma. Para esse autor, os sistemas físicos apresentam uma tendência ao equilíbrio, mesmo que, por vezes, o equilíbrio não seja alcançado, o comportamento dinâmico do sistema é uma resposta natural dessa tendência.

O equilíbrio proposto pela teoria de Hack (1960) enfatiza que a aparência das formas muda, porém, os fluxos de matéria e energia que são responsáveis por tais mudanças, são constantes, uma vez que o estágio de equilíbrio dinâmico seja alcançado. Como exemplo dessa relação, temos o caso dos pacotes de sedimentos de encosta. Pela conjuntura do sistema, uma vez que o equilíbrio esteja alcançado, os depósitos sedimentares mantêm seu tamanho pelo princípio do crescimento alométrico, seguindo a orientação dos fluxos dentro do sistema, porém, com eliminação dos excedentes, surgirá uma nova distribuição de material que obedecerá ao princípio da isostasia e, assim, uma nova fase cíclica de tendência ao equilíbrio (Christofolletti, 1980).

Conduto essa teoria parte do princípio de que um sistema tende ao equilíbrio em função de suas condicionantes, ou seja, a variação destas condicionantes implica diretamente na variação do funcionamento do sistema. Desta forma, algumas propriedades físicas do ambiente têm papel fundamental no controle da dinâmica dos sistemas físicos. Leopold e Lengbein (1962) apontam para a importância da termodinâmica como propriedade controladora do comportamento de um sistema físico. Segundo Christofolletti (1980), a viabilidade de calor da superfície terrestre é elemento determinante do intemperismo químico, onde tal processo atua no controle de outros processos físicos importantes, dentre outros, para o ritmo de rebaixamento do relevo.

Thomas (1994) aprofunda o tema de rebaixamento das superfícies investigando os ambientes locais com elevados padrões de umidade e

estabelece um conceito importantes sobre as chamadas superfícies de aplainamento. A teoria estabelecida por Thomas (1994) chamada de “teoria da Etchplanação” tem suas bases pré-estabelecidas em Wayland (1933).

Como pressuposto básico do comportamento dinâmico de um sistema físico, Christofletti (1999) irá afirmar que o clima é o principal fator ambiental responsável por desencadear movimento dentro desses sistemas. Toda dinâmica ambiental relacionada com a transformação das formas de paisagem passa pelo comportamento do clima, principalmente pela dinâmica da água.

Estudos relacionados com o comportamento da evolução das paisagens tropicais são correntemente aplicados ao contexto de regiões úmidas (King, 1956; Bigarella *et al.*, 1967; Büdel, 1982; Thomas, 1994), ao que, para regiões áridas e semiáridas, as análises sobre os comportamentos evolutivos dos sistemas morfológicos são recentes, deixando lacunas sobre a caracterização de diversos processos.

Os ambientes áridos e semiáridos são caracterizados como regiões que possuem déficit hídrico na relação entre precipitação e evapotranspiração potencial (ONU, 1992), assim, as potenciais perdas na cobertura vegetal podem otimizar os processos físicos relacionados, sobretudo, à remoção do material superficial pela ação da água e/ou do vento. Lima (2014) incrementa esta análise ao afirmar que, com a acentuação da declividade o escoamento superficial é beneficiado, estimulando o intemperismo, o transporte e a deposição de materiais.

Desta forma, para essas regiões, o escoamento ganha papel de destaque para a transformação superficial do relevo, sendo fundamental para os processos mecânicos de materiais finos (Devine *et al.*, 1998). Esses argumentos foram verificados primeiramente por Wayland (1933), onde, ao analisar o comportamento dos processos físicos em uma bacia de drenagem condicionada a um ambiente tropical notou que a superfície do relevo sofre redução gradual da topografia, fato pelo qual, o conjunto de esforços dos processos ambientais sobre os sistemas físicos seria responsável pelo rebaixamento continuado dos níveis de base locais em uma escala de tempo não necessariamente ajustável a escala dos processos endógenos de rebaixamento do relevo.

O fato novo apresentado por essa teoria foi discutido por Julius Büdel em 1957 e, posteriormente, por Michel F. Thomas (1994), segundo os quais o

intemperismo químico, apesar de reduzido, atua no aumento do front de alteração facilitando o trabalho de remoção dos materiais particulados pelos processos ambientais. Não há uma equivalência entre os diferentes tipos de intemperismos que serão ajustados mais em função das condicionantes estruturais do que pelo comportamento climático.

Esta concepção, nomeada de “etchplanação” (figura 7), indica, dentre outras, que a resistência dos materiais estruturantes, será contumaz para sua preservação na paisagem, fato pelo qual, os inselbergs funcionariam como registro do processo corrente de etchplanação nos ambientes semiáridos (Thomas, 1994).

Figura 7: Inselberg na cidade de Capoeiras, alto curso da bacia do Rio Canhoto-PE



Fonte: O Autor (2022).

A definição para esta perspectiva é assinalada por Thomas (1994) ao afirmar que

O rebaixamento progressivo da superfície de intemperismo pode isolar núcleos destacados mais resistentes, penetrando através de articulações inclinadas, o intemperismo segue, enquanto escudos maiores são formados nestes inselbergs (p. 289, *tradução nossa*).

Assim, enquanto os fatores ambientais imputam uma homogeneização do substrato, os núcleos de resistência ao intemperismo assinalados como pontos de inflexão permanecerão por um período maior nas paisagens. De maneira mais abrangente, autores como Vitte (2005) afirmam que a composição química das estruturas pode intensificar ou retardar os processos físicos, pois o arranjo entre as duas propriedades (químicas e físicas) tem a competência de gerar os dois potenciais resultados.

Por fim, um último fator que interferência no ritmo evolutivo do processo de etchplanação é o comportamento tectônico associado ao local de análise. Para autores como Corrêa (2003), as margens passivas, ou seja, os ambientes com menor intensidade dos processos tectônicos ajustam sua evolução morfogenética ao desenrolar da etchplanação, onde o rebaixamento dos níveis de base se enquadram em uma escala de 1 bi de anos, pois a lenta redução topográfica do relevo deve-se ao contexto de elaboração pedogenética, pois tal processo, associado também ao desenvolvimento do intemperismo químico não afetam diretamente a dinâmica morfológica do relevo, porém, quando tais processos estão associados a uma constante atuação do intemperismo físico, há a conclusão dos ciclos erosivos a reconfiguração dos modelados superficiais.

Lima (2014, p. 9) sintetiza essas informações pontuando que

O intemperismo representa a desarticulação das partículas da rocha, não afetando as características do relevo, enquanto a pedogênese transforma os produtos resultantes dessa alteração, até que, com a proximidade da superfície, processos como dissolução, hidrólise e lixiviação, representantes dessa etapa, findam por completar o ciclo de transformação.

Após essa extensa releitura dos modelos propostos para a evolução do relevo, fica evidente que duas análises paralelas devem ser realizadas sobre suas construções literárias correlatas; a primeira atrelada aos saberes sobre os comportamentos tectônicos e sua correlação com a dinâmica das formas para a área de estudos investigada neste trabalho, e, uma segunda, o entendimento da evolução das paisagens de acordo com a dinâmica climática recente e contemporânea, ou seja, dentro da escala temporal onde as principais marcas dos processos ambientais ainda ficam em evidência, visando, por tanto, o período quaternário.

2.1. O papel da (Neo)Tectônica na Geomorfologia do Nordeste do Brasil

Pelo posicionamento do Nordeste do Brasil em relação à margem tectônica, pode-se definir que essa porção da superfície possui uma dinâmica classificada como “passiva”, ou seja, sem atividade brusca que cause movimentação incisiva em superfície, tendo sua evolução morfológica graduada

pelos movimentos epirogenéticos assinalados em ciclos de transformação, seguidos, ou não, de (re)ativações orogenéticas pontuais (Popp, 2010). Esse movimento de orientação primordialmente lateral é capaz de deixar as marcas de sua atuação em feições desde uma escala local, como nos padrões de fraturas superficiais do material petrográfico, assim como na deformação de um bloco que congregue bacias hidrográficas continentais, fato atestado em Scheidegger (2001).

Segundo esse autor, o processo de morfogênese relacionada a eventos considerados “neotectônicos” pode estar refletido em todos os tipos de materiais, em forma de falhas causadas pelo cisalhamento do campo de tensão intra-crustal, onde as linhas de corte ocorrem em pares conjugados, sendo suas bissetrizes, as direções de onde se pronunciam as tensões principais em escala regional.

De acordo com Popp (2010), são os ajustes isostáticos, os processos superficiais que mais se relacionam com a movimentação crustal neotectônica, pois, *a priori*, sua ativação depende do (des)ajuste dos blocos subsuperficiais e, *a posteriori*, sua escala temporal de atuação está em ordem de equivalência com o fenômeno ativador.

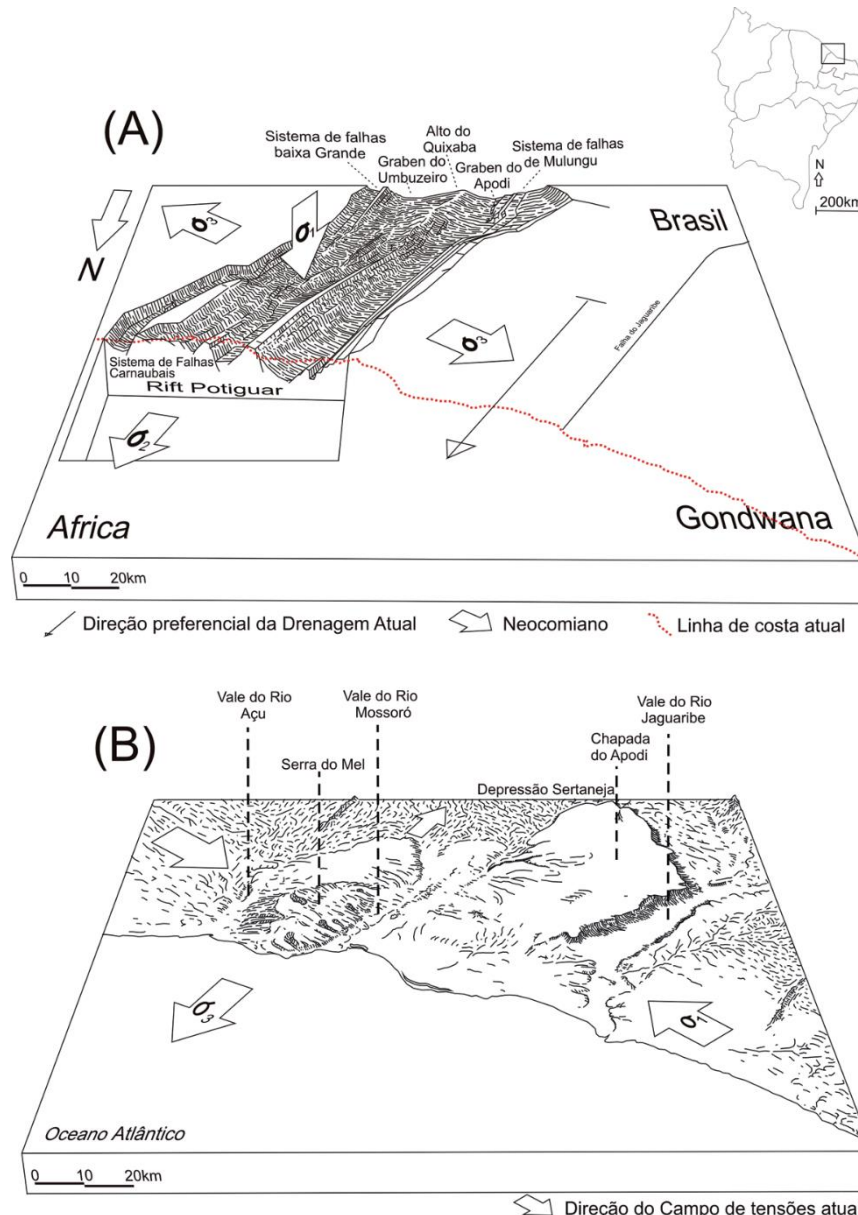
Suguio (2010) atribui a Obruchev (1948) a elaboração do termo “neotectônica” para designar tais movimentações recentes. Já para Saadi, (1993, p. 02) a definição adotada ao termo refere-se a “qualquer movimento ou deformação no nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica, independentemente de sua idade, suas implicações para vários propósitos práticos e suas futuras implicações”

Outro teórico, Hasui (1990), afirma que o caso brasileiro estaria associado a uma dinâmica pós Pangea, ou seja, toda movimentação atrelada ao terciário superior, incorporando parte da definição conceitual adotada pela Associação Internacional de Estudos do Quaternário – INQUA. Apesar o breve embate conceitual, será adotada a proposta de definição que assinale os movimentos ocorrentes após o último ciclo de orogênese, o que colocaria esta ideia associada ao conceito de neotectônica como proposta de aplicação singular a partir de cada contexto tectônico.

Finalmente, percebe-se clara a importância de compreensão dos fatos já notórios sobre a construção estrutural dos relevos associados ao NE brasileiro.

Sobre o relevo Nordeste, em linhas gerais, Maia *et al.* (2011) assinala que a morfologia desta porção do Brasil (figura 8) possui uma configuração de deformações de caráter rúptil e dúctil, onde as zonas de cisalhamento irão exercer forte controle nas formas dos maciços estruturais, no desenvolvimento de cristas e vales e nas variações topográficas, orientadas segundo esse arranjo estrutural.

Figura 8: Bloco diagrama exemplificando a relação entre o direcionamento das drenagens perpendiculares aos planos de compressão por ação do neotectonismo



Fonte: Maia *et al.* (2011).

Com observação focada em um específico recorte, Corrêa *et al.* (2010) irão afirmar que o terreno Borborema consiste de uma estrutura dômica, em sentido regional, mas caracterizada pela organização de rochas “frescas” ou que

sofreram movimentação tectônica negativa, nas áreas de rebaixamentos topográficos, enquanto os planos elevados contam com embasamento petrográficos mais resistente, sendo este cenário observável em escalas de centenas a poucos milhares de metros. Esta constatação é resultado de um apanhado bibliográfico, mas também pode-se verificar a partir de dados imagéticos.

O embasamento do terreno Borborema, composto por uma série de ciclos de transformação apresenta um mosaico de estruturas geológicas aglutinadas segundo planos de falhas (Corrêa *et al.*, 2010), marcadamente seguindo a orientação E-W/NE-SW, sendo alterações cíclicas mais recentes ligadas ao cenozoico (Saadi, 1993), contudo, é cada vez mais aceito entre autores de geociências que a participação não periódica de movimentos crustais recentes, correlatos ao intervalo entre o período neógeno e quaternário, possui grande significância na composição topográfica, sobretudo, do momento atual (Suguio, 2010).

Assim, a compreensão de uma dinâmica tectônica recente não se mostra análise hodierna, sendo, pelo contrário hipótese levanta desde os primeiros trabalhos elaborados no país sobre tais processos associados ao nordeste do Brasil.

Algumas marcas nas paisagens, dentro das escalas analíticas assinaladas por Corrêa (*op. cit.*), induzem a compreensão de que movimentos epirogenéticos, de ordem regional, não cíclicos, podendo ser caracterizados como “neotectônicos”, de fato, foram/são responsáveis pela ativação dos mecanismos de ajuste físico na distribuição de massas superficiais. Esta concepção é defendida por Maia *et al.* (2011) quando afirma que os reflexos mais proeminentes da morfologia superficial de origem neotectônica no NE do Brasil estão, expostos pela atuação de deslocamento de blocos falhados, onde, a presença de rochas metamórficas e/ou estruturas pré-cambrianas acabam cedendo ao acúmulo de forças aplicadas durante milhões de anos, pelas quais, inclusive, os ciclos de sedimentação também influenciarão na distribuição de pressão gerando rupturas estruturais, pelo processo de equilíbrio isostático e sua distribuição natural de massa.

Desta feita, sobre a característica neotectônica para o Nordeste do Brasil, Maia *et al.* (2010) corrobora Bezerra *et al.* (2008) ao afirmar que os sismos

recorrentes ao interior dessa região atestam a ocorrência de uma atividade neotectônica local que, embora seja alvo de um mito relacionado a uma possível estabilidade crustal, fato frequentemente combatido por autores da área (Saadi, 1993; 1998; Saadi, *et al.*, 1994; Bezerra, *et al.*, 2000), apresenta os resultados destas atividades na composição topográfica em superfície como um rascunho da dinâmica estrutural. Segundo aqueles autores a evidência mais clara da atividade neotectônica é conferida através do posicionamento dos sistemas fluviais, em grande parte, encaixados em vales tectônicos, seja atuando sobre o embasamento cristalino, seja recortando bacias sedimentares terciárias e/ou pós-terciárias, alocadas nesses rebaixamentos. Nessa discussão abre-se oportunidade para contemplar as explanações da literatura internacional sobre o tema. Sempre favorecendo concepções que estejam alicerçadas ao contexto ambiental das terras áridas e/ou semiáridas (*dry lands*).

Assim, tem-se em Whitney *et al.* (2015) que a dualidade entre o que pode ser entendido como uma zona de estabilidade e uma de instabilidade, ou seja, do que pode ser chamado como “neotectônica”, é uma problemática frequente deste cenário.

Os autores acima indicam que as marcas dos processos de tectonismo recente apresentam um menor impacto morfológico, sobretudo, distinguidos em escalas locais, mas que apresentam influência na variação de fluxos de sedimentação. É frisado que tais variações ocorrem em função das mudanças, ainda que pequenas, nos níveis de bases locais que podem, em situações específicas, modificar o nível de sedimentação litorânea, onde, a mudança no controle regional implica em uma alteração, ainda que pequena, em todos os mecanismos dos sistemas adjacentes (Whitney, *et al.*, 2015).

Já para Römer (2009), um dos fatores que ajudam a condicionar essa dinâmica, seja pela variação neotectônica, seja pela modificação climática, é o controle morfoestrutural. De tal forma em que esse controle pode direcionar os fluxos sedimentares modificando a geometria dos planos deposicionais, este fato, em escala regional, é hipoteticamente capaz de reajustar os fluxos de transporte e sedimentação, pela alteração dos níveis de base locais, de maneira retroalimentada em direção às cabeceiras (Römer, 2009). A influência da morfoestrutura sobre o relevo na província Borborema pode ser percebida em diversas escalas de análise, desde compartimentos regionais até as formas

resultantes de pequenas intrusões graníticas e na geração de pontos de inflexão sobre fluxos canalizados (Corrêa, *et al.*, 2010).

Muito embora essa dinâmica seja atestada para a situação da Borborema Pernambucana, não se pode esquivar à ideia de que os próprios fluxos hortonianos locais, mesmo assimilados a fluxos desorientados, obedecem essa dinâmica, uma vez que se estabelecem seguindo o direcionamento gravitacional das vertentes e, estas, por sua vez, em inúmeras ocorrências, aparecem condicionadas ao rebaixamento/soerguimento, promovido pela própria organização das morfoestruturas presentes na área e, com isso, pelos próprios impulsos tectônicos recentes.

Todavia os estudos descritivos de Ab'saber, já em meados dos anos de 1960, indicassem certa regularidade na orientação dos planos de atuação fluvial, a correlação destas feições com a participação da atividade tectônica recente ganhará força apenas nos anos de 1990, sobretudo, com as contribuições de Allaoua Saadi, em trabalhos que receberão notoriedade pelos esclarecimentos acerca dos modelos de evolução morfotectônica que, em certo grau de inferência, se contrapõe as clássicas ideias defendidas por teóricos consagrados como Lester King (Maia, *et al.*, 2011). Esses autores ainda argumentam que as planícies costeiras, os tabuleiros próximos ao litoral e os vales dos rios da região Nordeste do Brasil podem funcionar como indicadores da ocorrência de eventos neotectônicos. Assim, tais elementos, são as ferramentas introdutórias básicas, para uma análise de tais atividades nesta área.

Preponderante, também para este tipo de análise, é considerar o papel da variação climática sobre a área de estudos uma vez que, como descreveu Hack (1960), o princípio da isostasia, relacionado com o a distribuição das massas em uma superfície, pode estimular o movimento de um bloco, uma vez que o peso gerado pelo deslocamento de material – fluxos de sedimentos, por exemplo – permitem tal achega.

Sem desconsiderar o papel do clima, encerra-se essa análise concluindo que as teorias indicativas dos processos neotectônicos, de uma maneira geral, indicam o controle dos fluxos de materiais em termos de direcionamento, enquanto tal processo pode também contribuir para o ajustamento dos blocos superficiais.

A colocação final traz uma referência aos movimentos recentes da crosta brasileira como indicativos de que a neotectônica brasileira é um fato, suas consequências merecem mais atenção e, neste momento da análise, é importante aprofundar esse debate relacionando os processos estruturadores da paisagem aos processos modeladores, ou seja, os agentes externos que atendem diretamente à dinâmica climática e, por isso, têm profunda relação com o período corrente do tempo geológico, caracterizado como quaternário (Christofolletti, 1999).

2.2. Evolução Ambiental Quaternária

Se, por um lado, a atuação dos mecanismos endogenéticos é partícipe fundamental da construção de uma estrutura de relevo, este relevo será transformado, a depender da sua configuração macroscópica, pelos agentes exógenos (Popp, 2010). É, portanto, essencial compreender como tais agentes evoluem ao longo do tempo. Segundo Christofolletti (1999) o clima é o principal ator na composição dinâmica de um sistema físico, sem o qual, não haveria uma ativação dos principais mecanismos de repartição e transporte, ou seja, a configuração climática determina os agentes de alteração dinâmica dos sistemas físicos, podendo ser, esses agentes, a água, o vento, a temperatura, a umidade, dentre outros.

O termo quaternário foi introduzido na ciência geomorfológica por J. Dersnoyers, em 1829, ao classificar uma coluna estratigráfica situada acima dos sedimentos oriundos da Bacia de Paris. O termo foi finalmente consolidado na geomorfologia a partir da sua utilização por H. Rebour (1833) quando se referiu a pacotes sedimentares que continham restos de materiais biológicos de espécies presentes no momento atual (Suguiu, 2010). Este autor ainda enfatiza que o estabelecimento temporal do período quaternário não está completamente claro, sendo aceita sua aplicação nestes últimos 1,8 milhão de anos, com uma divisão interna em pleistoceno e holoceno, tendo, o último, iniciado a cerca de 10 mil anos.

A classificação temporal do quaternário foi definida, segundo Fairbridge (1968), por C. Lyell (1797 – 1875), ao designar depósitos com alto teor de fósseis de moluscos de espécies presentes no momento atual.

Suguio (*op. cit.*) destaca ainda que o trabalho de Forbes (1846) aplicou a noção de “pleistoceno” como uma designação para o período de avanço máximo dos glaciares no norte, principalmente, sobre a Europa. Essa referência foi importante para assentar a classificação de Pleistoceno e Holoceno e, finalmente, para consolidar o período quaternário como um momento distinto do terciário.

Contudo, apesar da definição já estabelecida, não há uma unanimidade sobre o correto uso de alguns termos ao período quaternário. Dentre as principais divergências sobre o quaternário está o emprego do termo “pós-glacial” para o período Holoceno, uma vez que o intervalo característico corresponderia a um momento de menor glaciação, dentro da variabilidade do período, poderia ser designado o termo “interglacial”. Suguio (2002) afirma que o quaternário apresenta uma variação climática configurada em momentos de máximo avanço das glaciações e de momentos em que a glaciação terrestre apresentou recuo. Tais intervalos seriam compreendidos na ordem de 10 a 20 mil anos. Lima (2014) aponta ainda, dentro deste embate, que a variação climática do período quaternário fica registrada nas características geomorfológicas, nas camadas deposicionais e na geometria do grão de sedimento.

Recentemente, estudos como o de Salgado-Labouriau (2007), reforçam a classificação aceita para as subdivisões do quaternário, quando o descrevem sinteticamente o cenário ambiental deste período, dividindo-o em dois períodos desiguais, um de maior duração, por volta de dois milhões de anos, denominado Pleistoceno e outro de menor duração, cerca de dez mil anos, chamado Holoceno. Nestes períodos, o planeta passou por algumas variações climáticas que permitiram sucessivos processos de transformação física e química das paisagens. Foram percebidas grandes camadas de gelo responsáveis por construir paisagens correlatas e regiões de aridez mais severa pontuando cenários associados. O clima na terra possui épocas em que a expansão do gelo se deu de forma mais agressiva, períodos identificados como “máximo glaciais” enquanto, em momentos de menor duração, as camadas de gelo regrediam, eram os chamados “interglaciais”. Momento este semelhante ao que vivemos no presente.

Silva (2007) ainda enfatiza o intrincado esquema de variações climáticas pontuais existentes durante o quaternário. A autora, citando Blum & Törnqvist (2000), expõe que além das variações entre máximos glaciais e períodos interglaciais, houve situações pontuais, em uma escala que vai de mil a dez mil anos, onde as mudanças do clima global flutuaram para situações de maior aquecimento e/ou resfriamento, em um ritmo particular de mudança.

Segundo Tavares (2015), desde o final da década de 1960, no Brasil, surgem trabalhos que buscam compreender a dinâmica cíclica do clima no período quaternário. Contudo, segundo Corrêa (2001), os estudos voltados a compreensão dessa variação climática têm migrado de uma perspectiva puramente geomorfológica para uma concepção ambientalista. Tal fato deve associar-se à possibilidade de aplicação de tais estudos, bem como a enfática atenção da comunidade científica mundial sobre o impacto das mudanças climáticas na sociedade e as potenciais interferências do ser humano nesses processos.

Nesse contexto, Corrêa (2001) afirma que os dados anteriores ao início do Holoceno, ou seja, 10000 anos antes do presente - a.p. – não conseguem alcançar grande precisão e, desta forma, terminam por inviabilizar uma detalhada reconstrução das variações paleoambientais pleistocênicas. Contudo, o mesmo autor, aborda que a precisão nas informações holocênicas, aponta para uma dinâmica intensa no clima continental do Brasil, com períodos mais secos, em um momento inicial, e um segundo momento mais úmido, onde fica registrada grande parte dos pacotes sedimentares superficiais do Nordeste brasileiro.

As marcas dos eventos climáticos associados às mudanças climáticas quaternárias podem estar expressas na paisagem, como fatos geomorfológicos (Silva, 2012), contudo, a mesma autora, afirma ainda que muitas dessas marcas se perderam com novos eventos erosivos, derivados de outros processos climáticos bem como novos fatores ambientais, inclusive, pela participação do ser humano como um dos agentes transformadores do relevo (Salgado-Laboriou, 1994).

Este parece ser o problema mais evidente relacionado às análises dos sedimentos de encosta. Tema posteriormente abordado com mais profundidade.

Retomando a discussão central sobre o tema relacionado às transformações climáticas quaternárias e suas implicações nas paisagens, (Corrêa, 2001) enfatizou que tais modificações alcançam diretamente as vegetações e, em consequência, suas influências no controle dos fluxos de sedimentação. O fato é ainda mais profundo quando tratamos de um ambiente semiárido, uma vez que, de acordo com Thomas (1994) a produção de sedimentos associados a tais ambientes é considerada uma das mais elevadas da Terra, em função do desaparecimento parcial de uma cobertura vegetal durante os períodos de estiagem e, com o incremento da época chuvosa, os picos de erosão são demasiados. Este processo, ainda estaria associado à rápida remoção dos materiais finos nos sistemas semiáridos, sobretudo nos últimos 5 mil anos a.p., quando a variabilidade climática levou a uma circunstância climática de picos secos e úmidos para o nordeste do Brasil agravando a complexidade de investigação para as marcas deixadas pelos eventos climáticos associados a esse período (Lima, 2014).

Em uma leitura dos fatos climáticos mais recentes, correlatos à metade superior do Holoceno, Corrêa (2001, p. 146) afirma

As temperaturas permaneceram mais baixas do que no presente, até aproximadamente 8500 anos a. p., em seguida os níveis de umidade caíram constantemente até 6000 anos a. p., após 5000 anos a.p., os páleo-ambientes tornaram-se altamente variáveis, provavelmente refletindo a complexidade dos mosaicos e interações clima /vegetação contemporâneos.

O intemperismo associado às zonas de maior estabilidade geológica, notadamente aos pontos de margem tectônica passiva (Maia, *et al.*, 2011) tornam-se tão mais evidentes, quanto não sejam percebidos movimentos crustais. Essa concepção ganha fundamento no argumento de (Silva, 2012, p. 44-45)

A sedimentação quaternária se distribui muito esparsamente na paisagem, o que torna sua ocorrência bastante irregular, necessitando uma avaliação das particularidades de cada ambiente deposicional, levando em consideração a área continental estudada. As áreas com estabilidade geológica, como o caso dos escudos cristalinos, sofreram e sofrem intenso processo de intemperização que formaram importantes depósitos eluviais que posteriormente converteram-se

em depósitos coluviais. É possível ainda encontrar nestas paisagens terraços fluviais que contém o material carreado pelos rios e depositado nas suas margens formando depósitos aluvionares. Este conjunto de dinâmica deposicional quaternária indica ou evidencia mudanças climáticas pretéritas.

A mesma autora afirma ainda que, em função da grande variação climática observada no quaternário, a remobilização de materiais superficiais e seus deslocamentos pela paisagem – inclusive o desaparecimento de certos grupos granulométricos – já são, por seu turno, teses válidas para a constatação de alguns processos ambientais (Silva, 2012).

Fica claro neste ponto da investigação que, a marca climática dos últimos 2 milhões de anos foi a dinâmica caracterizada, sobretudo, pela mudança de fases frias, mais longas, e quentes, de curta duração. Além do que, quando analisado o ambiente continental, destaca Suguio (2002), é nítido que essa variação repercutiu também em uma mudança nas taxas de umidade, na intensidade na precipitação, o quê, no âmbito das bacias hidrográficas, influenciou a mudança nos níveis de fluxo dos cursos hídricos.

Por fim, a mudança dos níveis dos oceanos, testemunhados por diversas técnicas de reconstrução paleoambiental, dentre elas, aponta Salgado-Labouriau (2007), análise de sedimentos, decaimento de isótopos, fósseis e micro fósseis de fauna e flora, dentre outros, mostram que o rebaixamento e arqueamento dos níveis de base locais respeitaram o mesmo mecanismo dos níveis oceânicos, incutindo assim, um controle variado para os processos de erosão/sedimentação.

Uma última chegada traz à tona a necessidade de aplicação de alguma técnica analítica pertinente à investigação evolutiva do comportamento climático e, com isso, sua influência dentro das dinâmicas morfológicas diversas, por esta razão, é necessária uma investigação mais profunda sobre tais procedimentos, em função da sua complexidade metodológica, tanto quanto, de seu determinante valor para um trabalho de reconstrução evolutiva dos aspectos morfológicos de uma determinada região. Neste trabalho, serão dadas atenções mais fecundas as técnicas de análise sedimentar, por compreender sua importância para o entendimento das mudanças morfológicas pretéritas; bem como serão ainda investigados os componentes geoquímicos dos materiais

sedimentares analisados, pois atestam as transições ambientais concernentes a tais mudanças de feição. Conclusivamente, será exposta uma análise bibliográfica pormenorizada sobre as técnicas de obtenção de idades propostas para esse trabalho, destacando-se a técnica da luminescência opticamente estimulada, como principal procedimento deste interím.

3. Métodos de Análise Temporal em Geomorfologia

Ademais o esforço para se investigar um processo evolutivo, este labor é vão quando não está embasado é uma sólida argumentação temporal. Entretanto, salvo situações puramente discursivas onde fica empregada uma descrição epistemológica, o método científico em geografia exige uma representação espacial. Desta feita, à priori, deve-se conhecer o tempo tanto quanto o espaço, a fim de validar um tratado geográfico exitoso. Esta reflexão é tão simples quanto precisa.

Muitas são as técnicas existentes na atualidade que podem ser aplicadas ao estudo de evolução de ambientes, entretanto, a análise de isótopos tem figurado entre as que mais ganham destaque nos últimos anos, pela sua precisão e acurácia (Silva, 2012).

Ab'saber (2003) afirma que a geomorfologia é a ciência que conta a história de evolução das paisagens e, por essa premissa, fica evidente, portanto, a necessidade de averiguação dos processos espaciais em consonância com o momento histórico de sua evolução, a fim de realizar uma completa releitura da evolução ambiental do comportamento dos sistemas inferidos, como uma resposta aos mecanismos controladores dos processos e, assim, identificar o desenvolvimento do sistema.

Algumas das principais técnicas utilizam isótopos radiativos (C^{14}) derivados da alteração nuclear dos átomos de Nitrogênio presentes na atmosfera terrestre, após seu contato com os raios cósmicos que alcançam a superfície do planeta cotidianamente (Wang *et al.*, 2003). Segundo este autor, nêutrons contidos na radiação cósmica se chocam com N das altas camadas atmosféricas, levando ao desprendimento de um próton e a adesão de um nêutron cósmico, com geração de um átomo de hidrogênio resultante do choque e a formação do isótopo instável de C^{14} . Quando, em associação com O_2

presente na atmosfera, este isótopo é indexado por animais e plantas, levando a sua lenta decomposição após a morte do hospedeiro. A meia-vida do isótopo C14 está estabelecida em 5730 anos, de tal forma que, após um período de cerca de 50 mil anos, a presença dos isótopos é pequena o sinal captado por sua emissão radiativa torna-se fraco demais para os modelos de detecção existentes o que torna sua precisão pouco confiável inviabilizando o uso desta técnica para obtenção de idades superiores a essa (Wong *et al.*, 2003).

Uma outra variação isotópica do C, é a versão estável do C13. De acordo com Yanes *et al.* (2013), apesar de possuir uma utilização menos acentuada, esta técnica também pode contribuir para os estudos de reconstrução de paleoambientes. Segundo aqueles autores, as variações de carbono em plantas são desenvolvidas durante o processo fotossintético, pela adição de nêutrons do CO² liberado para a atmosfera e o mesmo elemento presente no ar.

Trata-se, contudo, de uma técnica que também lança mão de materiais de análise, relacionados a componentes que não possuem uma correlação direta com os processos físicos correspondentes à transformação morfológica da superfície.

Dentre as técnicas de datação, há um destaque recente para a interpretação das marcas circulares no interior do tronco das árvores das florestas boreais, conhecida como “dendrocronologia”. Esta técnica foi desenvolvida pelo astrônomo Andrew Ellicott Douglass (1867-1962). Segundo essa metodologia de análise, cada marca é o resultado da presença de uma casca, à medida que a casca é removida o desenvolvimento da madeira que cobrirá a parte exposta tem uma nova coloração e/ou densidade configurando, assim, um aspecto diferente. Essas diferenças fazem referência às variações ambientais pelas quais as plantas estão expostas.

Além deste, o espectro das camadas internas da madeira pode variar em função de processos mais radicais como queimadas, enchentes, dentre outros. Como o ciclo de troca da casca e recomposição de madeira externa é regulado para cada espécie de planta, os arcos têm a capacidade de indicar o tempo e a característica física dessas camadas indica o aspecto ambiental da região, estabelecendo uma correlação direta entre processo e período.

Outro procedimento analítico que busca conhecer os paleoambientes a fim de promover a reconstrução dos seus processos evolutivos é a análise de

fitólitos. De acordo com Lorente *et al.* (2015) os fitólitos são estruturas de silício desenvolvidas no interior das plantas pela incorporação desse elemento disponível na crosta terrestre, onde, uma vez indexado à estrutura de diversos organismos vegetais recebem uma carga de íons levando à precipitação e cristalização dessas estruturas. Tais materiais podem ficar alojados em depósitos sedimentares após a morte do vegetal.

Cada planta possui uma própria estrutura de desenvolvimento morfológico dos fitólitos, por isso, esses materiais são utilizados para recompor cenários vegetais pretéritos levando ao entendimento sobre as características ambientais e paleoambientais das áreas analisadas (Calegari, 2008). Lorente *et al.* (2015, p. 2) sintetiza a importância do uso de fitólitos afirmando que

Uma vez que alguns morfotipos são específicos de determinadas famílias e subfamílias, quando preservados em solos e/ou sedimentos, podem permitir a identificação das plantas que os produziram (Piperno 2006). Dessa forma, um conjunto de fitólitos ou assembleia fitolítica pode caracterizar uma formação vegetal, representando um importante conjunto de dados para estudos que visam à reconstituição paleoambiental.

Outro material ligado a processos biológicos que tem sido amplamente utilizado como ferramenta analítica aplicada a reconstrução de paleoambientes são os dados palinológicos (Salgado-Labouriau, 2007). Esta autora, faz um importante relato sobre as técnicas palinológicas, ao afirmar que, a partir da segunda metade do século XX os estudos palinológicos passaram por grandes transformações, dada sua aplicação mais prolixa.

Os grãos de pólen têm uma ampla capacidade dispersiva e, estando associados ao desenvolvimento específico dos grupos vegetais podem servir como indicadores paleoambientais, pois, cada processo de transporte do grão de pólen seja por vias aéreas, aquosa, terrestre, carregamento, etc., funciona como indicador ambiental (Salgado-Labouriau, 2007).

Embora muitos sejam as técnicas e os esforços voltados à compreensão evolutiva dos ambientes quaternários, a análise sedimentar é uma das técnicas mais amplamente divulgadas no campo da ciência geomorfológica (Suguio, 2002), desta feita, há necessidade de haver um esboço mais aprofundado sobre

o tema, posteriormente explicitado, no entanto, uma breve descrição do cenário de possibilidades técnicas e práticas desses materiais pode ser esboçada.

Segundo Pietsch *et al.* (2015) a análise de pacotes sedimentares tem sido o cerne das pesquisas evolutivas em geomorfologia desde as décadas de 1970. Essa afirmação é corroborada pelos trabalhos de McKergow *et al.* (2005).

Complementarmente, Suguio (2002) destaca ainda alguns dos principais materiais dentro do escopo da análise de sedimentos. Para este autor, os sedimentos compõem elementos fundamentais da reconstrução de ambientes, devido sua propriedade física relacionada à forma, que deriva do processo gerador da deposição sedimentar, e a capacidade de obtenção de idades a partir de técnicas que envolvem, dentre outros, a leitura dos isótopos instáveis de Carbono e refletância estimulada pela exposição induzida do material à radiação.

Suguio e Barcelos (1978) já refletiam sobre a utilização de sedimentos marinhos e a sua capacidade de fornecer informações sobre os processos geradores de transporte e deposição, e como tais processos podem ser aplicados à reconstrução de ambientes. De acordo com esses autores (*op. cit.*), os indícios mostrados pelos sedimentos costeiros apontam para mudanças climáticas presentes no período quaternário, pois suas naturais resistências às intempéries permitem que tais materiais contenham elementos datáveis por um período maior do que materiais orgânicos.

Além desses, outros fatores relacionados à percepção e distribuição dos pacotes sedimentares e disposição das camadas de solos também podem ser apontados como elementos indicadores de processos ambientais preteridos e, até certa medida, podem contribuir para a compreensão de eventos passados (Pietsch, 2015). São, porém, métodos analíticos que dependem sobremaneira da sensibilidade perceptiva do investigador sobre a constituição paisagística do sistema analisado.

Este autor aponta os sedimentos derivados da movimentação gravitacional como um dos principais materiais utilizados em técnicas de reconstrução de ambientes. O material descrito, é gerado pela movimentação aleatória de compostos eluvionares e agregados, mesmo camadas de solo que podem se desprender em função de um possível evento climático.

A análise morfológica dos grãos de sedimentos finos pode servir como ferramenta de investigação do processo de transporte e deposição deste

material, indicando assim, por sua vez, o tipo de evento climático que desencadeou o processo dinâmico (Christofolletti, 1980). Quando a associado a um método de obtenção de idades através de amostras do mesmo pacote sedimentar, pode-se obter uma descrição da característica ambiental à época de sua movimentação (Christofolletti, 1999).

Dentre as principais técnicas para obtenção de idades em sedimentos coluvionares, nos últimos anos, a Luminescência Opticamente Estimulada – LOE e a Termoluminescência têm ganhado muito destaque (Freitas, 2015). Por isso, uma análise mais aprofundada sobre o processo de Luminescência Opticamente Estimulada – LOE é trabalho contumaz para o empenho de compreensão das técnicas de reconstrução de ambientes, sendo, também, esta técnica aplicada neste trabalho de forma prática.

3.1. Análise Sedimentológica

A investigação temporal no âmbito da geomorfologia passa, inevitavelmente, pela reconstrução de paleoambientes e, como visto, as técnicas que envolvem a análise de sedimentos têm ganhado cada vez mais adeptos neste campo científico.

Os sedimentos são descritos por Suguio (2003) como o material resultante do processo de intemperismo físico, podendo ser gerado pela transformação de uma fonte rochosa, pedológica e de outros sedimentos. Já Popp (2010) acentua que os sedimentos podem ter diversas formas em função de suas origens e processos de transporte, o autor classifica basicamente 3 tipos de sedimentos em superfícies continentais, a saber: Elúvios, sedimentos que passaram pelo desprendimento do material fonte mas não sofreram por deslocamento, formando apenas depósitos superficiais de maneira pouco coesa e não selecionada; Alúvio, tipo de sedimento que sofreu deslocamento derivado de um fluxo hídrico, inclusive canalizado, que forma depósitos correlatos à intensidade do transporte, apresentando pacotes sedimentares bem selecionados em termos de granulometria; e Colúvios, sedimentos que sofrem deslocamento por força gravitacional estando mormente associados à fluxos verticais e movimentações de encostas.

Tanto o elúvio e o colúvio, são descritos como sedimentos “recentes”, associados a processos dinâmicos que se encaixam dentro de uma perspectiva temporal na escala de centenas a dezenas de milhares de anos. Corrêa (2001) realizou descrição pormenorizada destas duas fácies sedimentares, para o autor o elúvio

Engloba a cobertura residual de regolito ainda *in situ*. Esta se forma pela decomposição direta da rocha-mãe. Este ambiente é normalmente representado por uma série de perfis, as vezes truncados, de espessura variável, e ocorrência restrita na paisagem. Dependendo de sua situação topográfica e grau de exposição eles podem ser prontamente atacados pela erosão (p. 88).

Os elúvios servem, portanto, como registro direto do material-fonte. Sua existência deriva-se diretamente das reações químicas recorrentes ao regolito. Marcando, dessa forma, os processos climáticos pelos quais o ambiente esteve associado ao longo do tempo, em uma escala de até 10^3 anos (Suguio, 2003).

O outro material classificado como sedimento recente por Corrêa (2001) é o colúvio. Trata-se de um material inconsolidado que fora transportado pela força gravitacional, muitas vezes, podendo ser ativado por um evento climático de magnitude mais relevante e/ou por atividade sísmica (Popp, 2010).

Muito embora o componente sísmico esteja presente na elaboração dos depósitos coluviais, o estudo relacionado aos movimentos internos com relação a tais sedimentos é pouco significativo. Corrêa (2001, p. 110) acena para este fato constatando que

A abordagem que privilegia a participação de componentes estruturais é rara nos estudos de colúvio, e na certa reflete a peculiaridade do ambiente estudado. Assim, percebe-se que não há uma linha única de pesquisa, ou uma grande “teoria” sobre a formação destes materiais, ainda que a ênfase sobre a sua gênese esteja voltada aos eventos climáticos desestabilizadores da paisagem.

De fato, a participação do fator clima/hidrologia é o mais representativo no movimento dos colúvio, contudo, este aspecto é relativizado por Suguio (2003) como sendo apenas o gatilho para a movimentação destes sedimentos. Lima (2014) disserta ainda que um grande pacote de sedimentos coluvionar é o signo de uma grande mudança ambiental, comumente atribuída a uma variação

climática. Embora, afirma Thomas (1994) eventos pontuais de grande magnitude têm a capacidade de romper o limite de resiliência do sistema físico gerando o deslocamento do material superficial e, conseqüentemente, a formação de um novo pacote sedimentar.

Contíguo às afirmações, Corrêa (2001) defende enfaticamente, alinhado às conclusões de Selby (1993), que apesar de estarem vinculados à inclinação e a topografia das superfícies, os pacotes sedimentares têm pouco estímulo autônomo à dinâmica, se não influenciados pela presença de um ativador externo, pois a própria angulação das vertentes impede um acúmulo espesso de material *in situ*, gerando deslocamentos superficiais rasos, contribuindo para a associação semiótica entre grandes depósitos de colúvio e variações climáticas e/ou eventos extremos pontuais.

Sem embargo, alguns estudos recentes desenvolvidos na região da Borborema pernambucana (Corrêa, 2001; Corrêa *et al.*, 2008; Silva, 2007; Lima, 2014; Lima *et al.*, 2012) constataram que as coberturas coluvionares na região são pouco espessas, sendo atribuído, tal característica, a uma série de fatores, tais como: A verticalização das encostas dos compartimentos elevados (Corrêa, 2001); o rimo climático e a participação da sociedade (Lima *et al.*, 2012); a eliminação natural dos finos pelo fluxo concentrado das precipitações (Lima, 2014), etc.

O sedimento coluvial é, desta feita, porta-voz dos eventos ambientais pretéritos ao sistema ao qual está inserido. Apesar disso, um perfil coluvial pode se apresentar de forma bastante complexa, sem uma grande definição entre os pacotes incluídos no depósito, de tal forma que a própria atribuição ao material é confusa, como afirma Suguio (2002) ao afirmar que as designações “colúvio” e “depósito coluvial”, referem-se a depósitos incoerentes associados a sopés e vertentes, inclusive, sendo abundantemente relacionado à pacotes de elúvio.

A granulometria destes sedimentos é representativa de sua complexidade. O mesmo autor afirma que “Os colúvio apresentam, em geral, aspecto maciço e são compostos por sedimentos areno-argiloso, porém também podem conter fragmentos rochosos de vários tamanhos, mais ou menos intemperizados” (Suguio, 2002, p. 19).

O próprio Suguio (1973) afirmara que as propriedades físicas dos grãos de sedimentos, tais como o formato, os planos de fraturas e quebras e a estrutura

nos arranjos sedimentares remontam os processos climáticos relacionados à geração, ao transporte e ao processo deposicional. Corrêa *et al.* (2008) afirmam que a estratificação do pacote sedimentar também pode funcionar como mecanismo de identificação de processos dinâmicos pretéritos, além, das linhas de pedra presentes na coluna estratigráfica dos pacotes sedimentares.

Popp (2010) afirma que os sedimentos, quando deslocados sofrem alteração na sua forma em função do choque gerado no fluxo. A variação morfológica apresentada por grãos de sedimentos está relacionada diretamente com o comportamento dinâmico durante o processo de transporte e deposição.

Para compreender o comportamento dinâmico dos sedimentos em função de sua distribuição usa-se o diagrama de Shepard (1954) onde ficam expostos os quantitativos de areia, silte e argila; as principais estratificações granulométricas dos pacotes sedimentares de colúvio. Alinhado a esta análise granulométrica Lima *et al.* (2015) afirmam que a observação do perfil do depósito sedimentar é salutar quando da verificação de materiais mais grosseiros que ultrapassam a classificação de Shepard.

Por outro lado, para compreender o comportamento hidrodinâmico dos sedimentos durante o fluxo de transporte, a comparação do diagrama de Pejrup tem ganhado bastante representatividade nos estudos sedimentares (Almeida, 2017). Estes autores afirmam que o comportamento do sedimento durante o fluxo de transporte diretamente relacionado a quantidade de água presente no processo, bem como o direcionamento do fluxo, quando canalizado, ou a própria morfologia do fundo do leito, quando fluxos apresentem pouca água ou quebras bruscas.

Ratificando esta concepção, Popp (2010) afirma que a intensidade e o direcionamento do fluxo, são responsáveis diretamente pelo selecionamento dos grãos. Segundo esse autor, quanto mais bem direcionado é o leito do canal ou a inclinação da vertente onde há o escoamento, mais selecionados serão os materiais depositados ao final do processo de transporte.

A análise sedimentar, entretanto, não se encerra no tocante às propriedades físicas do material analisado. O intemperismo químico gera precipitação de materiais e outras variações estruturais nos elementos presentes na coluna estratigráfica, gerando importantes respostas sobre o comportamento do sistema climático presente na região, por isso, as análises geoquímicas

devem ganhar papel de destaque em relação a compreensão dos sedimentos como indicadores paleoambientais.

A seguir, um esboço pretende esclarecer algumas questões sobre as análises geoquímicas dos sedimentos a fim de obter informações sobre a evolução dos paleoambientes e dos aspectos morfológico das paisagens.

3.1.1. Assinatura Geoquímica de Sedimentos

Os processos físicos associados à dinâmica climática e demais fatores exógenos da natureza são responsáveis por promover as mais significativas alterações na composição química nos minerais que estruturam a superfície da Terra (Popp, 2010). Partindo dessa premissa, é possível estabelecer uma relação entre as transformações pelas quais passam os sistemas físicos, em função das mudanças relacionadas aos sistemas ambientais (Selinus-Esbensen, 1995).

Como já mostrado, todo sistema físico apresenta fluxo de energia e materiais. Os deslocamentos de materiais entre os componentes e entre os sistemas podem gerar a transformação do funcionamento normal desse sistema, uma vez que tal perda e/ou ganho, ultrapasse a capacidade de autorregulação do sistema inferido (Christofolletti, 2004).

Uma inferência oportuna deve levar em consideração que a composição mineralógica de um pacote sedimentar, de um solo ou de outro material detrítico não pode ser mensurada apenas em função da variedade mineralógica disposta no material fonte (Popp, 2010), assim, a análise regional da composição geoquímica funciona como ferramenta de apontamento para a compreensão do processo evolutivo do relevo e de composição mineralógica de possíveis novos agregados (Barros, 2005), indicando também os processos envolvidos nessas transformações. Sobre o tema, os autores (Barros *et al.*, 2005, p. 2), enfatizam que

Embora um único grão mineral possa conter a informação essencial para identificação de sua fonte, a proveniência de minerais detríticos deve ser buscada a partir da integração de diversos dados, incluindo a composição química de elementos maiores e traços dos minerais detríticos presentes.

Assim, é possível concluir que a análise geoquímica dos componentes estruturantes de uma paisagem pode revelar a evolução dos processos ambientais presentes e pretéritos do local. Bem como, uma vez identificada uma correlação entre a forma do modelado e o comportamento climático de microescala, as informações geoquímicas podem traduzir também o comportamento morfológico da paisagem.

A análise química dos componentes petrográficos é uma técnica trabalhada desde a década de 1970, segundo Jost *et al.* (1996). Para este autor, as técnicas de leitura das assinaturas geoquímicas representam um esboço relevante de investigação sobre a evolução do modelado e as modificações nos mecanismos que controlam as dinâmicas dos sistemas físicos e ambientais (Jost *et al.*, 1996).

O uso da assinatura geoquímica como mecanismo de identificação de mudança dos sistemas físicos e ambientais possui validade não só pela identificação da transformação química sofrida pelo material investigado, como também, pelo potencial de inferência sobre as alterações físicas pelas quais podem ter passado os componentes do sistema (Cruz, 2006). O referido autor destaca que os materiais coluviais, podem se deslocar por um geossistema de acordo com a intensidade dos fluxos de energia que dinamizam tal sistema, desta forma, uma análise comparativa da assinatura geoquímica de materiais superficiais e subsuperficiais pode atestar essa dinâmica bem como pontuar a intensidade dos fenômenos pela concentração de determinado componente mineral por amostragem (Cruz, *op. cit.*). Este autor (Cruz, 2006, p. 29) enfatiza que

Cada íon caracteriza-se pela sua carga elétrica e pelo seu raio iônico, sendo a relação entre a carga e o raio designada potencial iônico. Assim, os elementos que possuem baixo potencial iônico permanecem em solução durante o intemperismo, os elementos com potencial iônico intermediário são precipitados por hidrólise formando óxidos insolúveis, enquanto os elementos com potencial iônico maior formam ânions complexos com oxigênio, os quais são solúveis.

Assim, quando as massas residuais apresentam altos teores de alumínio e ferro férrico, indicam que os grupos de hidróxidos apresentam imobilidade, gerando concreções que não sofrem precipitação.

As concreções ferruginosas indicam, neste cenário, a presença de um paleoambiente úmido, mormente relacionado a presença de um espelho d'água, onde um segundo indício desta tese está embasado na presença de uma linha de pedras residuais (Cruz, 2006). Segundo Thomas (1994), em ambientes tropicais e subtropicais úmidos, há ocorrência de linhas de pedras associadas à precipitação química de elementos solubilizados enquanto materiais mais resistentes ao intemperismo, como o quartzo permanecem na superfície, associados ao ferro oxidado.

Thomas (1994) ensaia uma série de elucidações sobre o comportamento da água subsuperficialmente, percolando entre camadas de solos e sedimentos, e, neste fluxo, promovendo alteração química dos minerais componentes dessas estruturas.

Por outro lado, o mesmo autor acentua que o baixo teor de Al indica a eliminação deste elemento pela ausência de água em deslocamento no interior da superfície, sobretudo, pelo baixo teor de água em contato com a rocha sã, uma vez que há grandes concentrações de Al na crosta terrestre.

Para esse autor, os ambientes tropicais são propícios à presença do intemperismo químico. Em linhas gerais, a afirmação é coerente, entretanto, há ocorrência de microclima s associados a zonas de transição ambiental e/ou áreas em que o controle climático está mais associado aos fatores de microescala.

Ab'saber (2003) atesta que esses ambientes estão mais susceptíveis a mudanças, pois os mecanismos de regulação desses sistemas apresentam pequenos níveis de resiliência. Assim, é possível concluir que a assinatura geoquímica de zonas de transição ambiental e/ou de zonas de exceção climática, pode colaborar para a compreensão da dinâmica climática desses microambientes, bem como, medir a capacidade de resiliência no momento presente, frente ao grande mosaico de interferências antrópicas nesses sistemas facilitando os prognósticos regionais quanto às variações climáticas, ambientais e morfológicas vindouras.

Por tanto, os indícios que apontam variação de forma e/ou composição geoquímica dos elementos superficiais podem servir como indicadores da presença de uma zona de trânsito ambiental, bem como devem funcionar para

apontar a ocorrência de uma área de exceção ambiental ao contexto regional ao qual esteja inserida.

Christofolletti (1999) reflete que o trabalho do geomorfólogo é o de contar uma história de transformação pela qual os ambientes e paisagens superficiais responderiam diretamente a tais mudanças, assim, esse apanhado teórico buscou demonstrar como a análise química dos elementos presentes na superfície terrestre podem indicar mudanças no cenário ambiental de uma região, porém, tais estudos de nada servem se não estiverem alicerçados em uma técnica obtenção de idades de materiais superficiais, notadamente de sedimentos, para atrelar as mudanças observadas a algum ou alguns períodos remotos.

Assim, ao analisar a evolução de paleoambientes do município de Garanhuns-PE, área partícipe da bacia hidrográfica do rio Canhoto, local de apreço investigativo desta empresa, Lima (2014) apontou a ocorrência de, pelo menos, duas mudanças ambientais mais evidentes, de acordo com análises físicas em sedimentos de encosta. O método utilizado utilizou a propriedade reflexiva dos sedimentos após estímulo externo. Trata-se da técnica da Luminescência Opticamente Estimulada – LOE. A seguir, contempla-se uma análise mais fecunda sobre essa técnica de obtenção de idades para materiais sedimentares.

3.2. Luminescência Opticamente Estimulada – LOE.

Todo trabalho de reconstrução de um ambiente pretérito ou de proposta para o desenvolvimento de um modelado, carece de um arcabouço histórico de sirva de alicerce para justificar as arguições acerca das propostas elaboradas (Lima, 2014). Por isso, diversas técnicas de obtenção de idades serão trabalhadas ao longo dos tempos.

As técnicas de datação por Luminescência Opticamente Estimulada, doravante tratada apenas por LOE, e Termo Luminescência, posteriormente designada por TL, têm ganhado muita representatividade no cenário acadêmico, desde o começo da década de 1990 (Peixoto, *et al.*, 2003) até o momento presente.

Aitken (1998) promoveu uma descrição pormenorizada do processo de obtenção de idade em materiais sedimentares com utilização das técnicas de LOE. O autor afirma que quando os materiais cristalinos recebem uma carga elevada de energia podem desprender elétrons de sua estrutura atômica, onde, tais partículas, ficam aprisionadas em armadilhas caracterizadas por níveis não regulados de energia. Esses elétrons podem ficar estáveis por milhares de anos até serem estimulados novamente através da injeção de novas doses de energia ionizada.

A indução energética pode ser feita de maneira artificializada pelo bombardeamento de partículas radiativas, gerando a liberação de elétrons, antes aprisionados, em forma de energia luminosa – fótons. A idade do material será obtida através da análise de intensidade da luminescência emitida pelos fótons liberados, correspondente ao número de estados de aprisionamento dos elétrons que, por sua vez, são correspondentes ao tempo de exposição do material à radiação ionizante.

Com a técnica de obtenção de idades por LOE tem-se uma ferramenta superior no tocante à acurácia das indicações cronológicas em geomorfologia (Lima, 2014). Através dessa técnica o pesquisador consegue obter idades de materiais sedimentares em uma escala temporal que compreende o intervalo de algumas centenas até cerca de 1 milhão de anos, período ao qual estão comportadas as principais análises sobre processos ambientais de transformação dos sistemas físicos dentro do período quaternário (Corrêa, *et al.*, 2008).

Silva (2007) assinala que o principal material utilizado no método de obtenção de idades por LOE é o quartzo pela capacidade deste material em gerar campos metaestáveis de aprisionamento para os elétrons estimulados na última exposição a energia ionizante. Ao se falar em “última exposição à energia ionizante” está sendo abordado o momento anterior ao soterramento do material sedimentar, ao passo que a energia ionizante referida é tão somente o choque de partículas energizadas derivadas de raios cósmicos que alcançam a superfície da Terra diariamente (Corrêa, 2001).

Huntley *et al.*, (1985) foram pioneiros no desenvolvimento de métodos de datação por luminescência, utilizando cristais de quartzo estimulados por laser de argônio. Segundo Machado & Nardy (2016) as propriedades físicas de um

mineral estão relacionadas à sua capacidade de transmissão de luz pelo seu interior, com isso, o arranjo cristalino do mineral é argumento importante para a utilização do quartzo como objeto de análise neste emprego.

Os isótopos são objetos de estudo essenciais ao desenvolvimento das técnicas de obtenção de idades por LOE, pois o método de datação por luminescência explora a carga radiativa de elétrons ionizados em isótopos em decaimento, que iniciam sua estabilidade após o momento de deposição no ambiente. Os isótopos são átomos que possuem o mesmo número de prótons, mas números diferentes de nêutrons (Kaplan, 1977), tal reajuste atômico é gerado por raios cósmicos que tocam a superfície do planeta, sendo o C14 o isótopo mais comumente utilizado para obtenção de idades.

Formam *et al.*, (2000) reitera que a técnica de datação por LOE consegue uma aproximação temporal para longos períodos, com maior acurácia do que outras técnicas podem apresentar. Para Correa *et al.*, (2008), a vantagem da utilização do método de LOE reside na exploração da luminescência do mineral, sendo esta uma propriedade física inerente a todos os minerais cristalinos, onde tais minerais podem ser facilmente encontrados em um ambiente deposicional regular, dada sua abundância na superfície da Terra.

Segundo Wagner (1998), a abrangência temporal é a principal vantagem da técnica de LOE sobre as demais, devido a precisão alcançada em função do tempo de amostragem, motivo pelo qual, reiteram Peixoto *et al.* (2003), tal técnica tem se mostrado mais utilizada no mundo acadêmico.

Como componente essencial desta técnica, o quartzo possui uma estruturação atômica e um arranjo físico particular os quais, de acordo com Formam *et al.* (2000), após o estímulo luminoso, a resposta normalmente se dá por um direcionamento fractal de irradiação luminosa. Segundo Machado e Narby (2016), a luz é a parte do visível do espectro eletromagnético, que compreende o intervalo entre a banda ultravioleta e a banda infravermelha. Para os autores (Machado & Narby, 2016, p. 12),

Os limites dos intervalos de comprimento de onda (λ) das diferentes cores do espectro de luz visível são arbitrários, uma vez que as cores passam umas para as outras gradualmente. Se na retina humana chegam simultaneamente ondas com comprimentos de 3900 Å a 7700 Å, o cérebro as interpreta como luz branca.

Para Schmidt *et al.* (2013) o quartzo consegue fornecer níveis diferentes de branqueamento e fotoionização, fatos que influenciam a dose de saturação, induzindo a diferentes desenvolvimentos possíveis para o processo de estímulo. Este autor, defende o uso do protocolo Single Aliquot Regenerative – SAR – para a aplicação da técnica de LOE assumindo que tal protocolo possui menos distorção/ruído na análise do quartzo.

O método SAR, utiliza mais de uma curva de calibração de idade, a partir das quais se estabelece uma idade média para a última exposição do sedimento. Este método se torna mais preciso, uma vez que é adotada uma média de 10 curvas por amostra. Já o protocolo MAR, considera apenas uma curva de calibração, o que tende, a gerar uma distorção maior entre a idade correta de deposição do material e a idade obtida na amostra (Lima, 2014).

A idade na técnica de LOE, esclarecida por Corrêa *et al.* (2008), é obtida a partir da relação entre a Paleodose e a Dose Anual, segundo a equação proposta:

$$\text{Idade} = \text{Paleodose} / \text{Dose Anual}$$

Onde a paleodose corresponde à radiação ionizante obtida pelo decaimento do tório, potássio e urânio, desde a última exposição do material, consistindo ainda de uma pequena quantidade de radiação cósmica presente neste.

Já a dose ambiental corresponde à taxa de acúmulo da população de elétrons no grão de sedimento. Quando esta taxa é medida em anos, a dose ambiental é referida como dose anual. Forman (2000) explica que o cálculo da dose anual é expresso pela seguinte equação:

$$D_a = D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c + D_{\beta i}$$

Neste cálculo, a Dose Anual (D_a) é obtida pela soma entre a dose beta (D_{β}); Dose Gama (D_{γ}); Dose Cósmica (D_c) e Dose Beta Interna ($D_{\beta i}$). Onde Corrêa *et al.* (2008) acentuam que a dose beta tem valor atenuado pela multiplicação da constante 0,92. Aitken (1998) adverte ainda que devem ser

considerados os valores da umidade presente nas amostras, uma vez que a água pode interferir na incidência de radiação beta e gama. Com isso temos:

$$D_a = 0,92 (D_{\alpha}) / 1 + 1,25 H_2O + D_{\beta} / 1 + 1,14 H_2O + D_c + D_{\alpha i}$$

Cujo cálculo considera o valor de H₂O igual ao teor de água no solo aceitando uma variação de 0 a 1. Quando estimulada, a armadilha a qual estão aprisionados os elétrons derivados da exposição à radiação, reflete a paleodose em intensidade variável, dependendo da dose anual, onde a relação das duas estabelece uma curva de tempo calculável, determinando assim a idade aproximada da deposição pela qual passou o grão de sedimento (Corrêa *et al.*, 2008).

Uma vez que sejam obtidas informações sobre o processo de deposição e as mudanças químicas pelas quais foram sujeitos os elementos presentes nas superfícies analisadas, pode-se conhecer as modificações ambientais concernentes a tal superfície. A obtenção de idades uni-se, por tanto, a este trabalho apontando o processo a um determinado período, viabilizando a releitura da evolução temporal do sistema analisado. A obtenção de idades por LOE, percebida como uma das técnicas mais eficazes de estabelecimento de idades, vem acompanhando a evolução dos estudos de reconstrução paleoambiental desde o final do século XX (Corrêa *et al.*, 2008) e tem sido amplamente aceita e repetido neste século XXI (Lima, 2014), podendo, inclusive, estar associada de outros mecanismos de investigação temporal a fim de estabelecer uma análise multiproxy, como em Freitas (2015), motivo pelo qual esta técnica, alinhada ao protocolo é uma das mais usadas para trabalhos semelhantes.

Após a compilação destes dados, resta ao investigador estabelecer um modelo de evolução de paisagens, baseado nas informações colhidas. As diversas técnicas de modelagem encontram diversos procedimentos, defensores teóricos e problemas às aplicações correlatas, por isso, merecem destaque mais fecundo no tocante à investigação de sua variada construção conceitual.

4. Uma Discussão Sobre a Modelagem Geomorfológica

Em linhas gerais, parece cada vez mais claro que o trabalho geomorfológico tem sua culminância no desenvolvimento de um esboço que tratem da evolução dos processos condicionantes das transformações da paisagem e, com isso, as modificações pelas quais passou a própria paisagem em questão (Christofolletti, 1980). Corrêa (2001) afirma que uma das principais preocupações da ciência geomorfológica deve ser contar a história de evolução das feições estudadas.

Em conclusão a este tema, Coltrinari (2003) afirma que é função do geomorfólogo investigar os processos que causaram as principais transformações morfológicas da superfície da Terra, atentando para a construção sistemática de uma linha teórica de evolução dos ambientes associados aos contextos analisados. Além do quê, é fato notável que os primeiros grandes tratados geomorfológicos surjam no século XIX (VITTE, 2006), onde o advento da teoria da evolução de Darwin, no ano de 1859, traz para o mundo das ciências uma nova perspectiva epistêmica.

Todas essas linhas de raciocínio parecem coadunar ao pensamento de Ab'saber (2003) quando este afirma que a geomorfologia deve ser a ciência que conta a história de evolução das paisagens, encaradas como heranças dos processos que atuaram e atuam na sua elaboração. Assim, a abordagem que mais enfatiza o encerramento do ciclo de análises relacionado a investigação geomorfológica é o desenvolvimento de um modelo de evolução de relevo, aplicado de maneira global ou a um contexto específico.

Ao longo deste trabalho foram expostos alguns dos principais modelos de evolução geomorfológica compreendidos para uma aplicação generalista, sobretudo quando tomados como cenário de ocorrência, faixas distintas dentro da classificação de zonas climáticas de Ehrart (1956). Faixas exclusivas, em termos ambientais – ou seja, aquelas que possuem um complexo climático bem definido como as faixas do litoral leste do Brasil ou a região da grande planície central europeia - foram alvo de intensas pesquisas durante o século XX (Vitte, 2006), contudo, por mais que um modelo analítico possa abarcar uma grande quantidade de fatos e feições morfológicas, sempre haverá exceções às regras impostas pelos mosaicos sistêmicos, seja em função de suas peculiaridades, seja em termos das variações dos seus mecanismos de controles (Cavalcanti, 2014).

Outro fato que problematiza o desenvolvimento de modelos está relacionado ao contexto das zonas de transição ambiental ou áreas de exceção. Ab'saber (2003) explica que as áreas regionalizadas de acordo com certos arranjos ambientais não apresentam transição, entre uma e outra, de maneira bem definida, esse fato é um fator de complicação para o desenvolvimento de um modelo explicativo sobre a evolução de tais áreas. Para o autor, as zonas de transição e os locais que apresentam uma organização ambiental diferente das áreas de entorno são, naturalmente, áreas onde as informações históricas não são bem marcadas e podem dificultar a compreensão das mudanças às quais estiveram submetidas. São, por tanto, chamadas de áreas de exceção.

Desta forma, fica claro que o processo de desenvolvimento de modelos de evolução morfológica é um trabalho que exige minúcia e deve sempre estar alicerçado em técnicas de reconstrução de paleoambientes que ofereçam o máximo de acurácia no momento da obtenção das idades investigadas, bem como na análise dos signos dos paleo processos.

Após a obtenção das informações necessárias ao desenvolvimento do modelo, fundamental que o método usado para criação deste, apresente de forma satisfatória, a compreensão dos processos de transformações pelos quais as paisagens analisadas estão submetidas.

Christofoletti (1999) analisou algumas técnicas de criação de modelos estabeleceu alguns parâmetros funcionais para cada técnica. A organização criada por este autor é uma das mais claras e didáticas, sendo objeto de análise mais aprofundada a seguir, acompanhada de outras inferências sobre o tema, professadas nos primeiros 20 anos deste século XXI.

4.1. Análise sobre Modelagens de Sistemas Ambientais

Lilian Coltrinari (2003) afirmara que a geomorfologia é a ciência que se encarrega de investigar o passado e desvendar a trama de processos evolutivos de uma paisagem. Pois se toda investigação morfológica precisa levar em consideração mudanças temporais, essa afirmação é contumaz. No entanto, Christofoletti (*op. cit.*), como já dito anteriormente, afirmou sem delongas que o objeto de trabalho do geomorfólogo é o sistema físico, assim, nada menos evidente do que supor que uma modelagem para sistemas físicos que levem em

consideração o conjunto ambiental de uma região é a labuta mínima para um trabalho em geomorfologia.

Em 1999, Antônio Christofolletti escreveu a obra Modelagem de Sistemas Ambientais e estabeleceu um ponto determinante a todos os brasileiros – e muitos estrangeiros - que, depois deste trabalho, se esforçaram em investigar as transformações na morfologia dos sistemas físicos e ambientais.

Assim, o tema deste trabalho parece ser central para esta discussão levando em consideração também, as visões de outros autores sobre o tema. A primeira achega no trabalho de Christofolletti, é observar que um sistema, para ser compreendido, deve ser primeiro delimitado. Assim, seguindo a proposta defendida por Tricart e Cailleux (1956), atrela a dimensão espacial dos sistemas aos fatos geomorfológicos estabelecendo ordens de grandeza em função das relações Forma x Clima e Tempo x Espaço.

Uma outra proposta, alinhada à concepção russa sobre os sistemas físicos, notadamente sobre o geossistema é apresentada por Cavalcanti (2014), onde o processo definidor do tamanho do sistema será a compreensão das relações dinâmicas entre os agentes do sistema, encerrados em uma perspectiva de ciclicidade e retroalimentação. A perspectiva geossistêmica, como já foi frisado, não especifica um limite pré-estabelecido para o tamanho do sistema, essa definição é uma responsabilidade do investigador.

Todavia, embora pareça que as argumentações aqui expostas estejam apresentando quadro aparentemente subjetivo, as interações dentro de um sistema podem ser bem claras, sobretudo no tocante aos aspectos climáticos, morfológicos e, assim, processuais, por isso, uma unidade territorial bastante aceita para as análises no campo da modelagem de sistemas ambientais é a bacia hidrográfica.

Ainda sobre a conceituação estabelecida por Tricart e Cailleux (1956), a bacia hidrográfica alcançaria a escala de terceira e/ou quarta grandeza. Essa escala temporal está encaixada na variação de dezenas de milhões de anos e no tocante à classificação espacial compreende-se como uma área que alcança desde a centena até milhares de km².

Christofolletti 1999 enfatiza ainda que a importância da bacia hidrográfica está no acumulado de processos que podem ser reconhecidos pelo desenvolvimento das formas correlatas. Outro autor a defender o uso da bacia

hidrográfica como unidade espacial de pesquisa sobre sistemas físicos e ambientais é Cavalcanti (2014) ao defender que este recorte pode compreender relações pedológicas, morfoclimática, hidrológica, morfotectônica, dentre outras. Por fim, em defesa da bacia hidrográfica como a “célula natural de análise”, Botelho e Silva (2010) afirmam que desde as pesquisas de Richard Chorley ao final dos anos de 1960, os geógrafos do mundo ocidental já compreendem a praticidade no uso dessa unidade como referência espacial, inclusive, aceitando a bacia hidrográfica como a unidade geomórfica fundamental.

A única questão colocada ao uso das bacias hidrográficas, parece estar alicerçado na terminologia referente às classificações para subsistemas dentro das bacias, tais como: Sub-bacia, micro bacia e afins. Muito embora, relativizam os autores (Botelho e Silva, 2010, p. 157)

Mesmo não havendo consenso sobre sua definição e, principalmente, dimensão, a micro bacia foi sendo cada vez mais utilizada pelos profissionais da área ambiental em seus projetos de pesquisa, permitindo que trações comuns fossem reconhecidos e caracterizassem o seu uso.

Em conclusão, atribuem sua própria definição ao termo. Desta feita, a micro bacia fica compreendida de forma tal que as relações dentro do sistema são mantidas, ao passo que o recorte espacial está definido como partícipe de um mecanismo diretamente relacionado a sua dinâmica. Os autores (Botelho & Silva, 2010, 157) esclarecem

Assim, pode-se afirmar que micro bacia é toda bacia hidrográfica cuja área seja suficientemente grande, para que se possam identificar as inter-relações existentes entre os diversos elementos do quadro socioambiental que a caracteriza, e pequena o suficiente para estar compatível com os recursos disponíveis (materiais, humanos e tempos), respondendo positivamente à relação custo/benefício existente em qualquer projeto de planejamento.

Compreendida, portanto, como um sistema, a bacia hidrográfica pode ser modelada a partir de um esquema de fluxo. Christofolletti (1999) aborda a modelagem de sistemas de um diagrama de blocos, onde os fluxos de matéria e energia podem ser descritos de maneira bastante didática, pois os componentes do sistema podem ser contemplados de maneira isolada e sua

interação pode ser compreendida de maneira holística, também, de forma integrada.

Segundo a defesa do autor, o modelo de Sellers (1992) possibilita ainda a visualização dos processos de retroalimentação dos sistemas físicos, no tocante à bacia hidrográfica, pode-se ainda contemplar a entrada de matéria e energia advindos de sistemas externos e sua circulação interna ao sistema analisado.

Enquanto modelo gráfico permite a visualização dos processos dinâmicos de maneira mais clara e didáticas, para a análise de processos morfoestruturais a análise dos modelos gráficos em três dimensões, retratando a morfologia superficial e a arquitetura interna dos blocos permite contemplar os processos de mobilização estrutural e os arranjos de cada camada interna.

Para este tipo de emprego, argumenta Christofolletti (1999) o bloco diagrama é o modelo mais adequado por representar a configuração morfológica em três dimensões e contemplar os processos estruturantes e superficiais. Para tanto, o autor é auxiliado por vários trabalhos importantes da literatura científica (Ab'saber, 1949; 1954; Favre; Stampfli, 1992).

No tocante a modelagem de encostas, Christofolletti (1980) adota o perfil longitudinal como método descritivo ideal para representação dos processos de evolução dessas formas. Segundo o autor os modelos clássicos historicamente relacionados com a descrição dos processos evolutivos das paisagens morfológicas (Davis, 1899; Penck, 1953; King, 1956) analisam a evolução das formas pela transformação das vertentes. Corrêa (2001) atribui a relevância das vertentes aos estudos de evolução morfológica pela forte dinâmica vinculada a estas formas, tidas como as superfícies instáveis da terra.

Os perfis longitudinais, inclusive, são adotados como modelos de representação de processos estruturais, como em frisa Lima (2014) ao afirmar que a técnica de construção de perfis transversais pode indicar a orientação das zonas de cisalhamento, falhas isoladas e áreas com desajuste estrutural, sendo importante também para técnicas de planejamento de infraestruturas e gestão do espaço.

Lima (2012) usou a técnica de construção de perfis longitudinais para apontar zonas de risco de desastres naturais em áreas urbanizadas, dentre outras, na bacia do rio Canhoto, vinculando, inclusive, a técnica a possibilidade

de desenvolvimento de projetos de gestão de bacias e infraestrutura de modificação superficial para conter processos erosivos de alta magnitude.

A elaboração de modelos é por tanto, fundamental ao trabalho de descrição dos processos relacionados às transformações superficiais das paisagens, a conclusão que se chega após essas derivações é a de que cada processo possui um modelo mais adequado de representação, porém, nem todos os aspectos de um sistema serão contemplados por um único modelo, podendo, inclusive, o mesmo sistema necessitar de mais de um modelo de representação para abarcar todos os processos inerentes.

A construção de modelos tem sido cada vez mais atrelada ao desenvolvimento de duas vertentes metodológicas: A quantificação matemática e a computação gráfica. Como um sistema a dinâmica de matéria e energia é condicionada por padrões de funcionamento que são ativados, fundamentalmente, por dois mecanismos cíclicos determinísticos e um não condicionado.

Um sistema determinístico, como já definido por Christofolletti (2004), é aquele onde o número de variáveis é tão grande que cada processo adquire um comportamento caótico, porém, o raio de origem a atuação de cada uma dessas variáveis é pequeno e o comportamento geral do sistema pode ser enquadrado dentro de um funcionamento determinável, considerando margens de erro das deduções, enquanto um sistema não condicionado, neste caso, o comportamento social assimilado pela interferência antrópica na alteração das paisagens, não pode ser determinístico com relação aos sistemas ambientais pois as mudanças antropogênicas são derivada de um componente subjetivo, nesse caso o número de variáveis é menor, mas seu raio de origem e atuação é amplo.

Christofolletti (1999) designa o fator climático como o principal mecanismo ativador dos processos físicos em um sistema ambiental, a entrada de água, a circulação de ventos e outros fatores relacionados aos sistemas climáticos são passíveis de previsibilidade determinística e, como processos de erosão e sedimentação ocorrem derivados de materiais consolidados, é possível estabelecer taxas de organização nos fluxos de tais processos.

A elaboração estrutural também é passível de determinação, pois os mecanismos ativadores da dinâmica ambiental são, na maioria das vezes,

cíclicos (Suguio, 2003). Tendo em vista esses dois ativadores como determinísticos é possível estabelecer taxas de desenvolvimento ascendente e rebaixamento, movimentos sísmicos, dentre outros, o que permite, também, configurar padrões e taxas de comportamento.

Com isso, é comum verificar o uso da matemática como ferramenta de elaboração de hipóteses para processos físicos, tais como: Taxa de erosão em ambientes tropicais úmidos (Thomas, 1994); Taxa de elaboração e destruição de solos (Hudson, 1977); Taxa de regressão e rebaixamento de relevos em ambientes específicos (Hack, 1960); dentre outros.

Desde o final do século XX os modelos matemáticos estão acompanhados de esboços gráficos desenvolvidos em ambientes virtuais com ajuda da computação gráfica. Esse mecanismo tecnológico tem sido fundamental para o desenvolvimento de material cartográfico que serve, tanto para a análise metodológica quanto para exposição e discussão de resultados processuais.

Lima (2014) reflete que o trabalho do geomorfólogo é interpretar a evolução das formas do relevo e para tal, é fundamental lançar mão de um produto gráfico. O autor afirma que “a transformação que o material digital deu aos trabalhos em geomorfologia fez valer o aumento na velocidade de desenvolvimento destes trabalhos, bem como da maior exatidão e diminuição de erros nos produtos” (p. 19).

Além de permitir o desenvolvimento dos modelos já abordados anteriormente, a computação gráfica facilitou a produção cartográfica e, com isso, uma grande variedade de produtos dessas teias de conhecimentos pôde ser desenvolvida.

Desde a década de 1970 a União Internacional de Geomorfologia – UGI (em inglês) – realiza padronizações para as metodologias aplicadas ao desenvolvimento de mapas geomorfológicos, porém, e isto pode até configurar um problema processual relacionado ao tema, o volume de produções aumentou em ritmo tão acelerado desde o final do século XX (Thiersen; Oliveira, 2010) que em alguns casos pode se tornar embargo a realização das análises pretendidas.

Visando corrigir falhas de elaboração em produtos cartográficos relacionados ao desenvolvimento de sistemas físicos, notadamente aplicado aos estudos em geomorfologia, trabalhos como o de Cavalcanti (2014) têm soado de

forma definitiva como orientadores de uma produção cartográfica bem estruturada e coesa. A própria proposta de cartográfica de paisagens dentro de uma perspectiva geossistêmica, defendida pelo autor, estabelece paradigmas novos no campo dos trabalhos de modelagem para a geografia física de uma maneira geral.

Lima *et al.*, (2016) desdobra ainda formas de ajuste da proposta de Cavalcanti (2014) como maneira de aplicação metodológica dentro de um contexto específico. O autor salienta que novas técnicas metodológicas vinculadas ao estudo da evolução das paisagens tendem a contribuir, não só com o glossário científico, mas, e principalmente, com a primazia pela concepção extada de um processo evolutivo de um sistema físico. Fato que, historicamente, se mostra como objeto de perseguição da geografia, desde o século XIX e a institucionalização desta como ciência escolástica.

O trabalho pretendido aqui, foi elucidar as etapas necessárias ao desenvolvimento de um modelo de evolução de paisagens aplicado ao contexto da variação das formas da superfície, visto que cada etapa desse esforço é sustentada por uma vasta literatura vinculada aos temas aqui abordados, o presente exposto, trata-se muito mais de uma compressão dos saberes já desenvolvidos sobre os assuntos visitados, do que uma explanação longínqua de tais bibliografias.

Contudo, acredita-se que tal construção é fundamental para orientar as abordagens metodológicas e as etapas a serem adotadas quando da realização de procedimentos analíticos nos campos aqui vislumbrados, sendo, portanto, tarefa que consolida de um bom trabalho científico.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Das Visitas à Área de Trabalho e Coletas de Amostras

Foram realizadas duas visitas técnicas à área de estudos. A primeira se deu em abril de 2017 e teve o objetivo de analisar visualmente *in situ* as características morfológicas da área com o intuito de estabelecer os locais de coletas de dados e realizar correções nos materiais gráficos previamente elaborados que serviram também de base analítica para as investigações em campo.

Esse trabalho contou com a utilização do veículo disponível no Laboratório de Geomorfologia do Quaternário – LabGEQUA – com o qual foram percorridos cerca de 250 quilômetros pela bacia do rio Canhoto.

Devido à condição de exposição das formas que se pretendia investigar, houve uma readequação de análise da área de estudos que, a priori, englobava o trecho alto da bacia do rio mundaú, com esse reajuste, a bacia do rio canhoto passou a ser contemplada desde o alto curso até o trecho inferior.

O objetivo dessa readequação está associado à pretensão de explicar a influência dos processos internos e sua correlação com as modificações causadas pelo ambiente. Processo de deve ser mais facilmente esclarecido na bacia proposta. Nessa primeira investida foram realizados registros fotográficos diversos, inclusive de depósitos sedimentares (Figura 9) com potencial para investigação granulométrica, morfoscópica e geoquímica. Além de registros que pudessem corroborar as inferências cartográficas no tocante ao papel dos processos internos na elaboração macroscópica das formas de relevo da bacia (Figura 10).

Figura 9: Perfis sedimentares em área de ruptura morfotectônica assinalada por anomalia



Fonte: O autor (2022).

Figura 10: Morfologia das superfícies elaboradas em cristas reflete diretamente a ação de processos endógenos sobre a elaboração do modelado

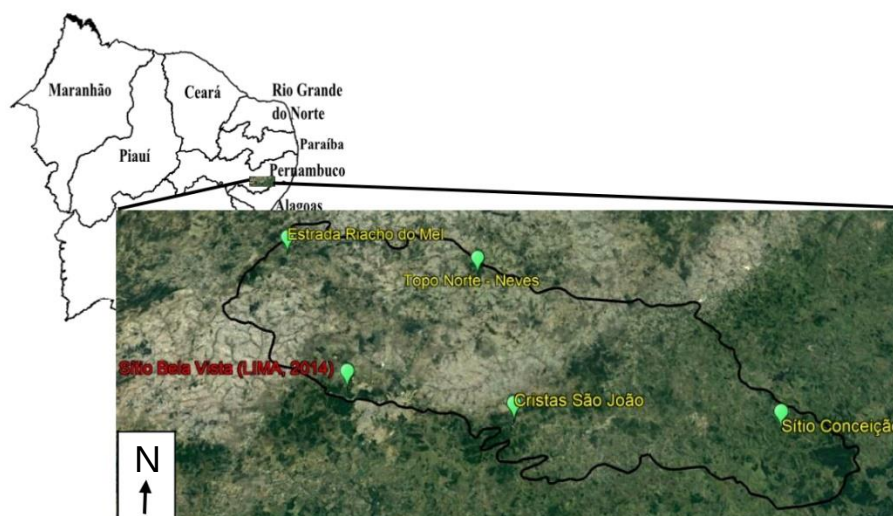


Fonte: O autor (2022).

Em janeiro de 2018 foram realizadas as visitas técnicas à área de estudos para obtenção dos materiais. De maneira semelhante, o veículo utilizado no deslocamento foi o mesmo disponibilizado pelo LabGEQUA.

Os pontos de coleta foram os mais abrangentes possíveis, dentro, é claro, da perspectiva de processamento e distribuição de colúvios. Seguindo a indicação locacional apontada, dentre outros, por Christofolletti (1980), Corrêa (2001) e Suguio (2002). A imagem a seguir (figura 11) ilustra a espacialização das amostras coletadas.

Figura 11: Espacialização dos pontos de coletas de amostras.



Fonte: O autor (2022).

As amostras coletadas foram obtidas seguindo a compartimentação dos pacotes sedimentares. A organização dos pacotes sedimentares deve servir de orientação sobre diferentes tipos de processos responsáveis pela elaboração do depósito sedimentar onde, segundo Suguio (2003), cada forma de deposição sedimentar identificada segundo uma distribuição seguiu diretamente um processo singular de elaboração, de acordo com um arranjo climático específico, assim, cada diferença granulométrica ou morfoestratigráfica representa uma variação ambiental pela qual a região esteve condicionada e, segundo a qual, haverá indicação ou não de padrões processuais.

A categorização dos pacotes sedimentares foi realizada de acordo com o exposto na tabela (Tabela 1) a seguir:

Tabela 1: Identificação dos pontos de coleta

Título	Pontos de coleta	Descrição Granulométrica
Estrada Riacho do Mel	50 cm	Sedimentos grosseiros com cascalheira
	70 cm	
	90 cm	
Topo Norte - Neves	60 cm	Sedimentos arenosos com areia siltosa.
Crista São José	40 cm	Granulometria variada, clastos

		aleatórios.
	70 cm	
Sítio Conceição - Paquevira	70 cm	Granulometria fina, com cascalheira superficial
	140 cm	

Fonte: O autor (2022).

Infelizmente, devido um acidente com o local onde estavam alocadas as imagens obtidas nas coletas dos materiais para as etapas de análise granulométrica, houve a perda dos registros fotográficos dessa etapa. Contudo, uma vez que os resultados foram obtidos seguindo a normatização já estabelecida em literatura pretérita, não há dano em dispensar o registro visual do procedimento adotado em campo.

A distribuição granulométrica obtida com o processo de fracionamento, exposta na tabela a seguir (tabela 2) foi elaborada após a realização das etapas preliminares anteriormente descritas.

Tabela 2: Tabela de distribuição granulométrica

Distribuição Granulométrica para Amostras de Colúvio da Bacia do Rio Canhoto												
Nome da amostra	Peso das frações (gramas)									Total da amostra (g)		
	2	1	0,5	0,25	0,15	0,125	0,063	0,038	Total (Peneiramento)		Silte	Argila
Estrada Riacho do Mel 90 cm	30,648	11,085	9,125	7,403	4,144	1,375	5,518	3,567	72,865	23,33	3,805	100
Estrada Riacho do Mel 70 cm	17,742	13,062	11,501	9,246	5,304	1,749	7,334	2,29	68,228	27,857	3,915	100
Estrada Riacho do Mel 50 cm	20,631	5,546	4,496	6,049	4,855	1,876	6,747	3,098	53,298	41,467	5,235	100
Crista São José - 70 cm	33,726	13,459	3,028	3,262	2,94	1,044	4,219	3,304	64,982	30,963	4,055	100
Crista São José - 40 cm	30,376	7,75	3,835	5,841	5,18	1,647	5,929	2,124	62,682	32,743	4,575	100
Topo Norte - Neves 60cm	31,935	16,341	10,957	8,402	4,9	1,606	5,068	2,689	81,898	14,987	3,115	100
Sítio Conceição Paquevira 140 cm	2,543	5,939	8,036	9,622	5,829	1,747	5,733	2,698	42,147	53,078	4,775	100
Sítio Conceição Paquevira 70 cm	2,924	4,042	7,056	10,792	7,329	2,238	7,52	3,307	45,208	48,827	5,965	100

Fonte: O autor (2022).

2. Das Análises Granulométricas

A análise dos grãos de sedimento é, como já mencionado anteriormente, uma etapa fundamental para conhecer os processos de elaboração, transporte e deposição dos sedimentos que gerarão os pacotes ora analisados.

Para a realização desse procedimento foram utilizadas as dependências do Laboratório de Geomorfologia do Quaternário LabGequa, localizado na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. O procedimento de análise granulométrica seguiu uma metodologia proposta por Gale e Hoare (1991), a

partir do peneiramento das amostras, com isso foram definidas as classes do tamanho das partículas por meio da escala de Wentworth.

O protocolo inicia com a separação de 100 gramas de material, através do quarteamento das amostras obtidas nas investigações de campo, seguidamente a amostra foi diluída numa solução com 500ml de água destilada e 20g de hexametáfosfato de sódio. A partir da qual, seguiu para um agitador mecânico por 10 minutos, com a finalidade de desflocular e lavar a amostra, eliminando, dessa forma, as concreções ferruginosas e outras impurezas que possam resistir agregadas aos grãos que serão analisados. Após essa etapa, as amostras foram liberadas por 24h para decantação. Posteriormente à decantação o material é lavado com o auxílio de uma peneira de 32 μ m e, por fim, vão para a secagem em estufa com temperatura controlada a 80 °C (Almeida, 2017; Silva, 2016).

Após a secagem a amostra foi pesada e levada para peneiramento por 10 minutos em condições constantes de agitação. Esse processo separa as frações de areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa, areia muito grossa e cascalho, presentes nessa amostra. Logo após o peneiramento houve a pesagem de cada amostra que ficou retida em todas as peneiras para registrar a variação granulométrica obtida ao final desse processo de separação.

Para se obter os valores de silte e argila, partículas muito finas que se perdem em um processo de peneiramento normal, foi utilizado o método da pipetagem, que consiste na separação de 20 gramas de material e 4 gramas de hexametáfosfato diluído em 1 litro de água. Esse procedimento visa a sedimentação das partículas e consequentemente a separação das frações de areia, silte e argila, o tempo para a realização da pipetagem é estabelecido conforme a tabela seguinte (Tabela 3), onde está caracterizada a relação do tempo que a amostra precisa descansar em uma proveta, dependendo da temperatura do ambiente (Camargo *et al.*, 2009).

Tabela 3: Tabela de tempo necessário para sedimentação de partículas do solo

Temp. °C	Argila (5 cm)		Argila+Silte (10 cm)	
	horas	minutos	minutos	segundos
10	5	13	6	14
11	5	05	6	03
12	4	55	5	54
13	4	48	5	44
14	4	40	5	35
15	4	33	5	27
16	4	25	5	19
17	4	18	5	10
18	4	13	5	03
19	4	05	4	55
20	4	00	4	48
21	3	55	4	41
22	3	50	4	34
23	3	43	4	28
24	3	38	4	22
25	3	33	4	15
26	3	28	4	10
27	3	23	4	04
28	3	20	3	59
29	3	15	3	54

Fonte: Camargo *et al.* (2009).

O processo de análise dos dados alcançados em cada fração após a pipetagem e separação granulométrica foi processado segundo os critérios de Folk e Ward (1957), realizando o cálculo do diâmetro médio, o grau de seleção, o grau de assimetria e curtose de grãos de sedimentos. Utilizou-se o diagrama de Pejrup e Folk para classificar os sedimentos a partir do programa SysGran 3.0.

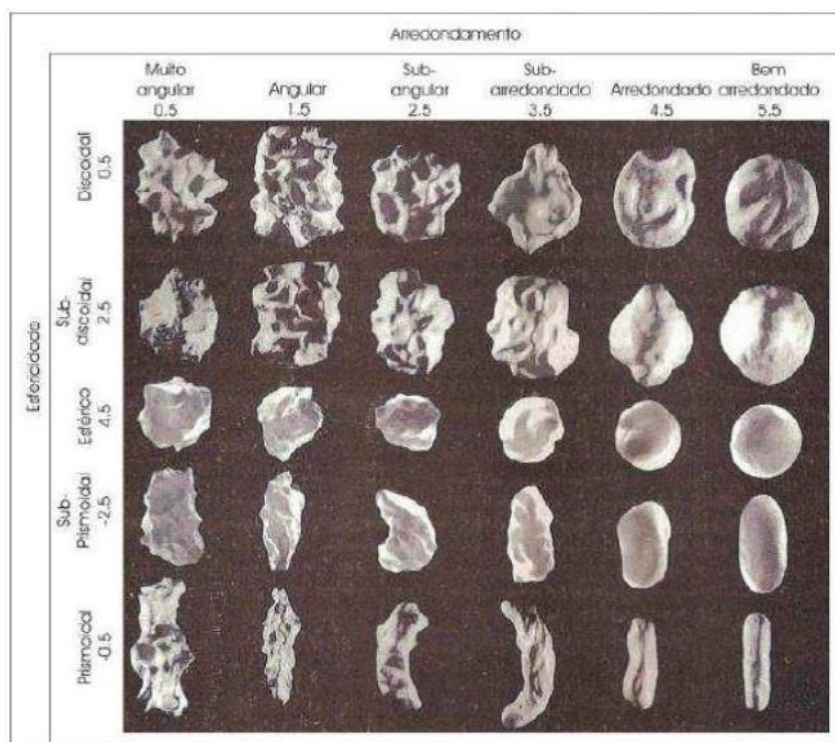
2.1. Morfoscopia

Esse procedimento também foi realizado no LabGequa – UFPE, utilizando-se 100 grãos da fração de 0,250 mm, essa fração é escolhida por que caracteriza como a ruptura entre os transportes por tração e por suspensão, com o propósito de analisar a forma do grão, o arredondamento, e a esfericidade, investigando os processos atuantes no transporte de deposição desse material (Almeida, 2017). Esse processo consistiu numa análise visual, através da lupa binocular Tecnival.

Utilizou-se a metodologia de descrição proposta por Tucker (1995) (figura 12). As categorias para o grau de arredondamento são: muito angular (0,5); angular (1,5); subangular (2,5); subarredondado (3,5); arredondado (4,5); e bem arredondado (5,5).

Para o grau de esfericidade: esfericidade alta (0,5 e 4,5); esfericidade média (-2,5) e baixa esfericidade (-0,5).

Figura 12: Diagrama de Tucker (1995)



Fonte: Silva (2016).

O objetivo dessas análises é compreender os padrões de transporte dos sedimentos, a origem do material amostral e a análise da participação de material exótico ao meio. Os dados sobre graus de arredondamento, angulação, textura e brilho, apontam, como ilustrado na figura anterior, os processos associados à formação dos pacotes sedimentares e, com isso, inferem diretamente sobre a configuração ambiental no momento da deposição.

Tais análises são contumazes à investigação dos padrões de processos morfoclimáticos, bem como de sua evolução ao longo do tempo, no que toca o comportamento de precipitações e o ritmo/intensidade dos eventos de maior e menor magnitude.

2.2. Assinatura Geoquímica

A análise geoquímica é uma das técnicas de identificação de mecanismos de gênese e transporte de sedimentos com maior acurácia no que tange sua

identificação processual, representando assim, um mecanismo, não só eficaz como de simples análise para a análise geomorfológica e, por isso, tem ganhado amplitude de aplicação no século XXI, bem como aceitação em diversos ramos da ciência (Fonseca, 2006). A interação entre os sistemas físicos e ambientais discutida previamente é ponto de enfoque para a análise dos dados da assinatura geoquímica.

Observando os trabalhos de Cruz (2006) e Fonseca (2012) como base empírica de suporte desta investigação, é possível compreender que a técnica da fluorescência de raio-x compreende o mecanismo completo de análise pela sua característica multielementar, isto é, permite análise sobre vários elementos, e por realizar o trabalho sem a necessidade de descarte do material analisado, permitindo, caso seja necessário, a reutilização do conteúdo já usado.

Segundo Fonseca (2012), existem duas variantes analíticas possíveis dentro das técnicas mais aplicadas de identificação da assinatura geoquímica, uma baseada em dispersão de energia EDXRF (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) e outra, que se utiliza do comprimento de onda WDXRF (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence). Sendo a primeira, desenvolvida posteriormente.

Neste trabalho foi utilizada a técnica EDXRF, uma vez que, dentre suas possibilidades está a de detectar a assinatura geoquímica em pequenas porções de amostra, bem como o fornecimento de dados sobre distribuição dos elementos presentes na amostra, através da técnica de micro fluorescência de Raios-X (Fonseca, 2012).

Os dados obtidos a partir da assinatura geoquímica foram postos a cálculos do balanço geoquímico, isto é, a condição de perda elementar da amostra em relação à rocha fornecedora, a partir do processo de intemperismo. Esse cálculo se baseia em elementos imóveis, ou seja, aqueles cujo volume de reações químicas seja baixo para o ambiente ao qual estão inseridos (Oliveira *et al.*, 2009). Neste estudo, o elemento base dessa análise foi o Ti, devido sua baixa solubilidade registrada na literatura.

2.3. Geocronologia

A geocronologia deste trabalho foi realizada através da técnica de Luminescência Opticamente Estimulada – LOE. Sendo desenvolvida em colaboração com o Laboratório de Datação do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Onde todas as análises laboratoriais ocorreram sob a tutela do grupo de Metrologia Arqueológica e Patrimonial – MAP.

Foi ainda utilizada como base de ajuste, uma idade obtida no trabalho de Lima (2014), esta, sob a alçada do laboratório “Datação: Comércio e Serviços, LTDA”.

As amostras desenvolvidas no âmbito desta pesquisa foram catalogadas como CSJ60, SCP70 e SCP140, em que cada número representa a profundidade do ponto de coleta no perfil amostral.

Além destas, uma quarta amostra foi coletada com designação TNN60, contudo, essa sofreu extravio após um acidente com manejo do invólucro onde estava o material sedimentar coletado, de forma tal que não foi possível realizar o procedimento laboratorial com a mesma.

Para além deste inconveniente, o trabalho seguiu com a adoção dos grãos de feldspato para desempenho metodológico por se acreditar que a abundância deste componente disponível no material poderia aumentar a acurácia das idades obtidas. Assim, é válido a lembrança de que há possibilidade de adoção de bombardeamento por laser de argônio em quartzo, contudo, pela razão já explanada, essa possibilidade foi descartada. A granulometria utilizada para o trabalho esteve na ordem de 20 e 38 μm , ou seja, para este procedimento foram utilizados componentes da fração argila.

Como já explicado previamente, o cálculo da idade se dá pela relação entre a paleodose e a dose anual, onde a primeira consiste no decaimento dos isótopos radiados e a dose anual é obtida pela taxa de radiação ionizante acumulada (Lima, 2014). Assim, com base nesse cálculo, é possível reconstruir a evolução dos paleoambientes, dando a esta técnica a solidez necessária para sua aplicação no contexto de pesquisas como a aqui exposta.

A tabela exposta a seguir (tabela 4), ilustra os dados obtidos com a aplicação da técnica de LOE para as amostras coletadas com esta finalidade.

Tabela 4: Dados obtidos pela técnica de LOE para as amostras coletadas na área de estudos.

Datação por LOE						
Amostras	Taxa de Componentes Radiativos			Paleodose (Gy)	Dose Ambiental (μGy/a):	Dose Anual
	U-238	Th-232	K-40			
SCP70	2.97 ± 0.29	22.67 ± 2.3	1.59 ± 0.16	71.8 +- 7.12	2848.9 +- 114.3	15.78 +- 1.59
SCP140	2.97 ± 0.29	22.67 ± 2.3	1.59 ± 0.16	312.57 +- 30.79	2771.4 +- 173.4	71.16 +- 7.23
CSJ60	2.97 ± 0.29	22.67 ± 2.3	1.59 ± 0.16	548.78 +- 25.55	3067.7 +- 169.3	114.6 +- 8.26

Fonte: O autor (2022).

Finalmente, é preciso expor ainda que há dois protocolos de análise utilizados para aplicação desta técnica, são eles: Single Aliquot Regenerative – SAR – cujas curvas de calibração são em torno de 10 por amostra, e Multiple Aliquot Regenerative – MAR – com uma curva de calibração por amostra.

Seguindo afirmações de trabalhos anteriores (Corrêa *et al.*, 2008; Schimidt *et al.*, 2013; Lima, 2014), o protocolo adotado neste trabalho foi o SAR, onde os autores atestam apresentar níveis diferentes de fotoionização e, com isso, menos distorção no momento da análise.

3. Da Elaboração da Cartografia das Paisagens

A construção dos mapas temáticos seguiu a orientação metodológica proposta por Cavalcante (2014), voltada para a elaboração de cartas geossistêmicas. Em função da escala de representação dos fatos geomorfológicos encontrados na área de estudo optou-se por aplicar a esta análise o primeiro patamar da classificação de paisagem, ou seja, a unidade denominada de “sítios”. Para este nível de classificação foram identificadas as formas do relevo – segmentos ordenados segundo diferentes escalas de abordagem e sua correlação com o substrato – definidos como o resultado da interação entre geologia e ambiente, podendo abarcar desde formas estruturadas pela exposição da rocha sã até aquelas recobertas por espesso manto de intemperismo, ou sedimentos remobilizados a curta distância (coberturas alúvio-colúvies).

Parte desta classificação seguiu a orientação do trabalho realizado por Lima (2014) onde foi definida a compartimentação da geomorfologia do município de Garanhuns, sendo este, um dos municípios que abrange maior

território dentro da bacia. O processo de confecção dos produtos gráficos foi realizado nas seguintes etapas; a primeira destas consiste na obtenção da base de dados matemáticos, que foi conseguida junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Após essa etapa foi utilizada uma demarcação seguindo as curvas de nível locais para caracterização das zonas-limites da bacia de drenagem do Rio Canhoto.

Uma vez delimitada a área de estudos, foram definidas as formas do relevo observadas segundo uma classificação morfoestrutural, tal configuração foi definida seguindo orientação da União Geográfica Internacional – UGI –, de acordo com o tratado de mapeamento geomorfológico definido por Demek (1972). A base de dados utilizada foi a do tipo .TIFF, obtida junto à National Aeronautics and Space Administration – NASA, sendo trabalhada em âmbito SIG com o software ArcGis 10.1, além dos softwares de código aberto QuantumGIS e Google Earth.

A classificação do substrato se baseou na estrutura e cobertura da superfície como base para o entendimento desta relação, assim, foram investigadas as ocorrências litológicas da região, com informações obtidas junto à Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM – bem como, através dos dados disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – para arguições sobre a cobertura pedológica além, evidentemente, da observação de campo.

A estrutura geológica percebida inclui rochas cristalinas plutônicas sendo divididas de acordo com nível de acidez dos indivíduos (“rochas ácidas” com mais de 65% de sílica; “rochas neutras” ou “intermédias”, com 65 a 52% de sílica; e “rochas básicas”, com 52 a 49% de sílica), sendo estes dados já conhecidos de acordo com cada tipo de rocha identificado junto CPRM. Enquanto a cobertura foi considerada segundo o aspecto pedológico com inferências que alcançaram desde coberturas arenosas até solos ricos em argila, além das coberturas tomadas por capeamentos sedimentares, sendo classificados de acordo com sua profundidade mensurável.

Por fim, a síntese da paisagem teve seus paradigmas de constituição elencados por Cavalcanti (2014), a saber: “Potencial natural” e “apropriação cultural”, sendo distinguidos da seguinte forma:

Potencial natural – componentes estruturais e processos tectônicos correlatos, associados aos processos climáticos e a reverberação desta associação no desenvolvimento da superfície e na caracterização das redes de drenagens. Perceptivelmente este potencial está exposto no mapa que explicita a relação entre o relevo e o substrato.

Forma de uso – correspondendo à forma de uso e ocupação da superfície, bem como às transformações e implicações resultantes desse processo.

A análise final buscou coadunar as informações a fim de construir o panorama paisagístico sintetizado em cinco seguimentos, a saber:

- Agreste
- Pântano Pluviogênico
- Brejo
- Rampa Transicional
- Tropical

As formas do relevo foram definidas em:

- Cimeira Somital Bem Drenada.
- Pedimentos Elevados, Inclinação, Pouco Dissecados.
- Pedimento Pouco Dissecado Com Estagnação de Água (ainda que periódica).
- Superfície Metamórfica com Cristas de Dissecção (Proeminentes ou em formação).
- Vertentes Íngremes e Drenadas.
- Vertentes Rebaixadas Bem Drenadas Com Incisões Profundas.

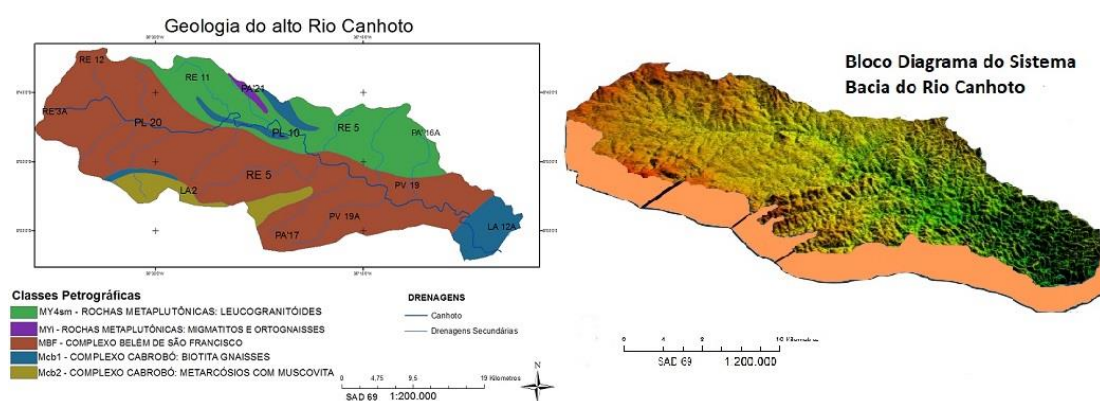
4. Análise Neotectônica

Aos domínios de margem tectônica passiva, classificação descrita anteriormente ao contexto da superfície Borborema, estão atreladas dinâmicas alheias ao contexto geral de orogênese cíclica, destacados, sobretudo, os pontos de ativações e/ou reativações pontuais, induzidos por rupturas flexurais geradas pelo desnivelamento de pressão, normalmente atrelado a zonas de cisalhamentos (Popp, 2010).

Diante desse contexto, a análise neotectônica aqui trabalhada se preocupa com a investigação de processos morfogenéticos relacionados com falhas geradas por esses pontos de cisalhamento internos da crosta terrestre. Cada lineamento possui relação morfológica com a orientação de suas bissetrizes, criando padrões perpendiculares ou semi perpendiculares ao contexto regional de orientação das deformações estruturais que, normalmente, apareceram na superfície assinaladas como os pontos de soerguimento.

Como evidenciado, os planos de orientação e distribuição dos fluxos canalizados obedecem ao sentido perpendicular ao plano regional de ativação, sendo desviados ou sobrepondo-se aos locais de ativação recente (Bezerra *et al.*, 2000). Por esse motivo, esta investigação se baseou na distribuição superficial dos canais de drenagem para identificar possíveis padrões de ativação neotectônica. Para isso, foi lançada mão da cartografia, cruzando informações hidrográficas e geológicas, estabelecidas na imagem exposta a seguir (figura 13).

Figura 13: Cruzamento de informações gráficas para análise neotectônica



Fonte: O autor (2022).

Em paralelo, foi feita a análise da Relação Densidade-Elevação, com a finalidade de buscar ruptura no padrão de distribuição topográfica da vertente associada ao canal de drenagem principal, o que indicaria uma anomalia no comportamento hidrodinâmico, representando uma mudança no comportamento dinâmico dos sistemas endógenos (Lima, 2014) o que representaria uma mudança posterior ao encerramento do último ciclo de ativações orogenéticas e epirogênicas regional.

O índice da Relação Densidade-Elevação – RDE, é um método de investigação por meio de uma base cartográfica, que permite contemplar possíveis variações nos padrões de desenvolvimento endogenéticos, a partir de uma relação estabelecida entre a variação de altitude pela qual está situada a bacia hidrográfica, mais precisamente o canal da drenagem, e mudanças bruscas nos declives percorridos pelo canal (Monteiro, 2010).

De acordo com Monteiro (2010) a investigação se dá pela medição de intervalos retilíneos e segmentados do canal de drenagem, entre curvas de nível pré-estabelecidas. A variação medida entre cada isoípsa é denominada “ Δh ” e deve ser constante, já as distâncias em linha reta, medidas entre cada isoípsa são classificadas como Δl . O caminho efetivo da drenagem é classificado como L, onde são medidos os trechos entre cada curva de nível e o total. As curvas variam de acordo com cada pesquisa, neste caso, foram adotadas isoípsas de 20m. A RDE_{trecho} , é estabelecida pela divisão entre Δh e Δl , finalmente multiplicada pelo L de cada trecho. Enquanto a RDE_{total} é conhecida a partir do cálculo “ $\Delta h/\log L$ ”. Finalmente, a RDE é derivada da RDE_{trecho}/RDE_{total} . Na leitura das informações, o RDE_{tr}/RDE_{to} entre 0 e 2 representa um intervalo normal, entre 2 e 10 apresenta anomalias de 2º ordem que significam o ajuste topográfico sendo organizado pela drenagem em busca do nível de base local, já os resultados acima de 10 configuram anomalias de 1º ordem, o que representa uma reorganização tectônica regional controlando a variação topográfica.

Além disso, as informações geológicas foram cruzadas com as redes de drenagens para poder estabelecer uma relação de direcionamento de fluxo superficial que, em consonância com o aparato estrutural podem informar sobre o processo evolutivo dos mecanismos neotectônico.

Finalmente, essas informações tiveram intersecção com os processos de elaboração superficial através do estabelecimento dos perfis em transecto para compreender como o controle estrutural tem dinamizado o modelado superficial.

Para essa investigação, foram analisados os padrões de distribuição dos pacotes de sedimentos de encosta e drenagem. A mecânica sedimentar, apesar de sofrer alteração direta da mudança climática global holocênica, obedece aos direcionamentos estabelecidos pelos sistemas de falhas instalados e, havendo

recorrência, pela dinâmica estrutural causado pelo seu esforço (Whitney *et al.*, 2015).

Tanto o fluxo quanto o regime de sedimentação estão submetidos a este controle e dessa forma, foram observados os pacotes das áreas adjacentes aos pontos de anomalia identificados pela RDE. A técnica se baseou no registro e interpretação do comportamento deposicional em 4 compartimentos morfotectonicamente estabelecidos (figura 14) com base nos dados obtidos com as etapas anteriores desta investigação e a orientação processual verificada na literatura, em trabalhos como o de Römer (2009).

Figura 14: Mudanças no padrão de comportamento deposicional são compreendidas como efeitos de uma atividade neotectônica associada à fatores ambientais



Fonte: O autor (2022).

Segundo o autor, essas mudanças são caracterizadas pela geometria do plano deposicional, reajustes nos fluxos de transporte o que representaria também mudanças nos controles de seleção granulométrica e do local de

construção de determinados tipos de pacotes sedimentares, principalmente no tocante à topografia em que esses locais passam a ser desenvolvidos, em função da mudança do gradiente topográfico para formação do pacote deposicional (Römer, 2009).

Com isso posto, os dados obtidos pelo cruzamento das informações ambientais e morfoestruturais foram utilizadas para o desenvolvimento dos modelos de evolução ambiental.

5. Modelagem Ambiental

Para o desenvolvimento dos modelos de evolução geomorfológica do sistema Bacia do Rio Canhoto foram utilizados os dados ambientais e morfotectônicos a fim de estabelecer um compêndio informativo mais completo e eficaz a investigação cronológica. Com esta finalidade, a partir do banco de dados construído com os esforços de pesquisa, foram associadas as informações gráficas, tanto no que alcança o catálogo fotográfico quanto aos produtos gráficos.

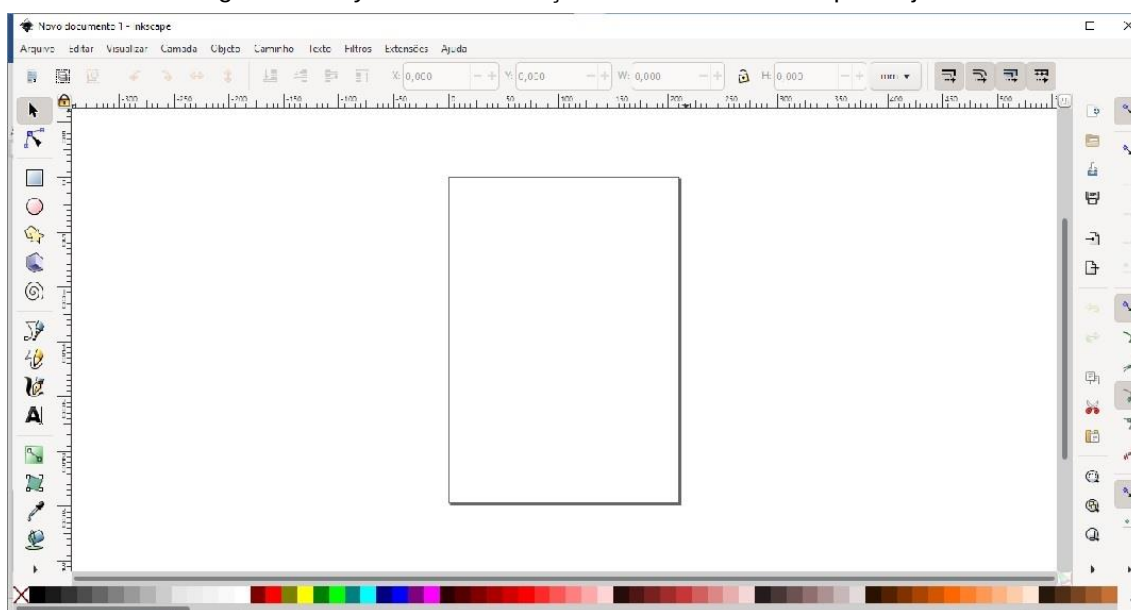
A premissa que encabeça essa técnica é descrita por Chrtfoletti (1999) quando trata da bacia hidrográfica como escopo analítico essencial ao desenvolvimento da análise de sistemas ambientais, com recortar um dado espaço em que há o “fechamento” das relações processuais, não no sentido de isolamento, mas de coesão desses processos em termos de resultados na paisagem. O mesmo autor afirma que a aplicação do bloco diagrama é a forma mais adequada de apresentar a representação morfológica em três dimensões, associado ao perfil longitudinal para construção de uma imagem da topografia e da morfologia das vertentes mais bem alinhada com o quadro real.

Assim, foi construído um modelo de bloco diagrama em três dimensões que serviu de base analítica para o desenvolvimento dos modelos de evolução que foram alicerçados nos compartimentos trabalhados pela perspectiva morfoestrutural partindo de uma primazia de grande escala para o desencadear de processos em escalas inferiores, ou seja, do controle absoluto do sistema, para o controle efetivo dos processos. Todos esses processos foram realizados em âmbito digital com a utilização de softwares de sonsoreamento remoto e cartografia, de licenças livres como Qgis 3.2 e Google Earth Pro, além de outros

de protocolo fechado, quando no âmbito do Laboratório de Geomorfologia do Quaternário – LabGEQUA, tais como ArcGis 10.1.

Finalmente, para formatação do modelo em si, foi lançada mão de uma ferramenta de construção de gráficos digitais, de licença aberta chamada Ink Scape Project (figura 15) cuja funcionalidade e fácil interpretação de layout foram determinantes para sua escolha e aplicação, além, é claro, o custo zero relacionado com sua obtenção de utilização recorrente.

Figura 15: Layout de inicialização do software Ink Scape Project



Fonte: O autor (2022).

Na seção a seguir são apresentados os resultados obtidos a partir dos materiais e métodos, desenvolvidos a partir de subseções intituladas: Análise das Paisagens, Síntese Paisagística, Análise Granulométrica, Condicionantes Morfoestruturais e a Neotectônica Regional e Modelagem Ambiental, sistematicamente fundamentadas.

RESULTADOS

A confluência de todo o esforço metodológico e processual está exposta nos resultados que foram obtidos. Cabe aqui também frisar que os resultados são, ao mesmo tempo, parte da análise, pois um trabalho de fundamento sistêmico não pode ser desenvolvido de maneira a não integrar cada componente em uma abordagem holística que é a base conceitual deste trabalho. Assim, seguem as explicações.

1. Análise das Paisagens

A síntese das paisagens presentes na área de estudos foi pautada na compilação dos dados armazenados e correção dos mesmos a partir das visitas de campo. Desta forma, os resultados das análises serão expostos por etapas, com a conclusão dessas informações sendo esmiuçadas adiante.

Dentro de um enfoque geossistêmico, de acordo com a proposição destacada por Sochava (1976), as seis classificações morfológicas realizadas podem ser assinaladas como “fácies”, com base em uma escala de classificação das relações físico-químicas possíveis. Assim, serão apresentadas as características aferidas a cada fácies, sobrepondo sempre que possível, o contexto processual dos ambientes aos quais se referem.

A tabela a seguir (Tabela 5) a seguir, estabelece a relação entre o relevo e o substrato, definindo assim um esquema dos sítios paisagístico em bases geossistêmicas da região estudada. É possível observar que a presença das litologias metamórficas está associada ao relevo mais acidentado, sendo clara a relação da transformação do substrato geológico em face dos esforços de sobre-elevação tectônica dos blocos em superfície. Estas antigas faixas móveis, agora em contexto intraplaca, se distribuem ao longo de planos de fraqueza regionais (Maia, 2012), ao longo dos quais, podem se ajustar as drenagens. Esses ainda podem atuar como áreas preferenciais para a orientação e direcionamento dos fluxos superficiais, bem como, por sua fragilidade ao ajuste erosivo dos canais, orientar a incisão.

Tabela 5: Quadro com atribuição dos sítios paisagísticos da bacia do rio canhoto

Relevo	Rocha				Cobertura					
	Ígnea		Metamórfica		Solo Arenoso a Franco Arenoso		Solo Médio a Argiloso		Sedimentar	
	Ácida	Básica	Ácida	Básica	Regolítico	Não Rego.	C/ Casc.	S/ Casc.	Delgado	Profunda
Cimeira somital bem drenada	X		X				X			X
Pedimentos elevados, inclinados, pouco dissecados	X		X		X	X			X	
Pedimento pouco dissecado, com estagnação de água	X		X	X	X	X			X	
Zona de Metamorfismo e Formação de Cristas	X		X		X		X		X	
Vertente íngreme muito dissecada	X		X			X	X		X	
Vertente rebaixada com incisões profunda	X		X	X			X	X		X

Fonte: O autor (2022).

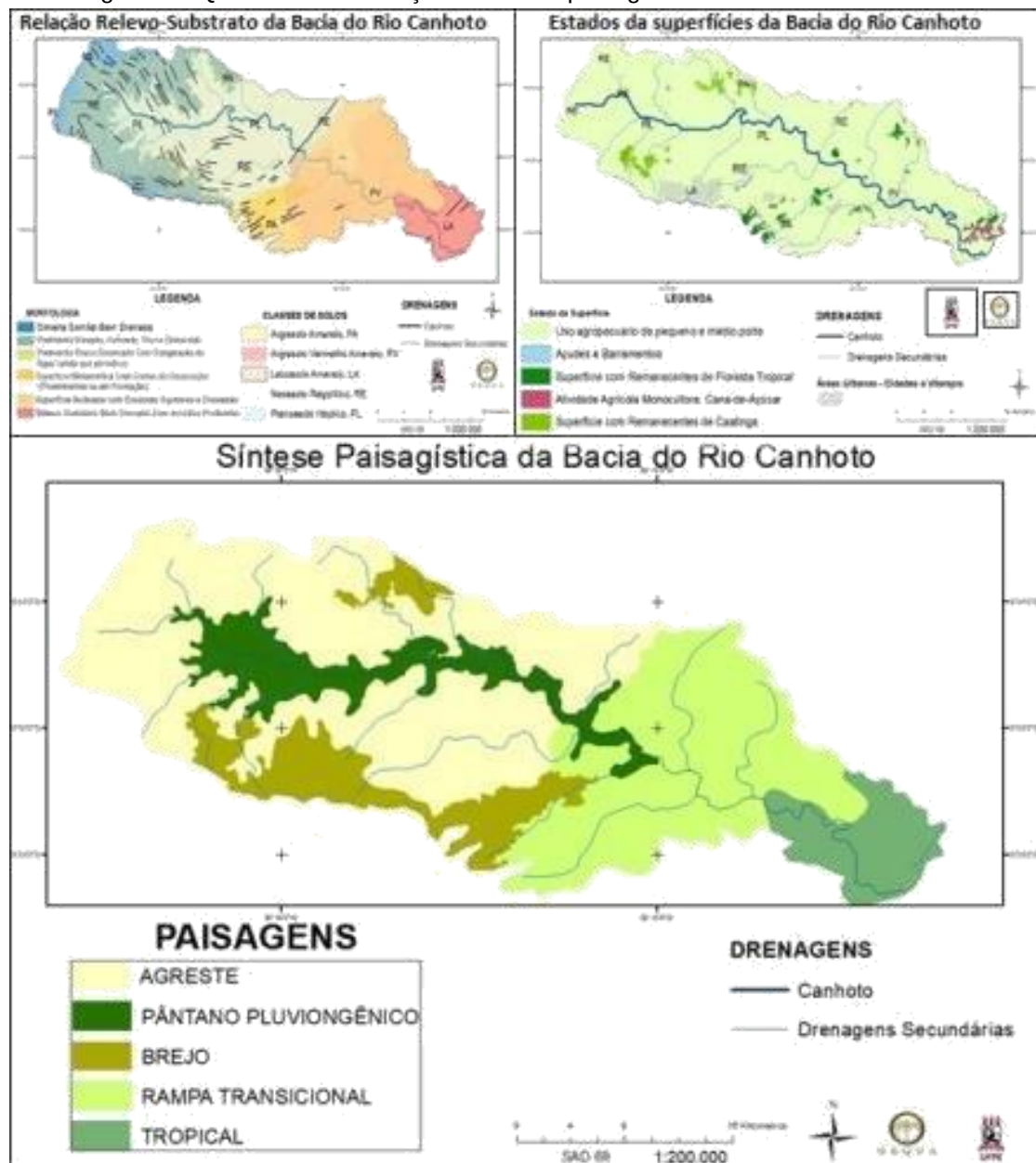
Os sítios paisagísticos aqui analisados interagem também com as condições ambientais do geossistema. A ausência de rochas sedimentares, permeáveis, contribui para a relação entre a imposição orográfica sobre o condicionamento da pluviosidade e o desenvolvimento de um relevo dissecado que preserva as marcas das variações climáticas holocênicas. A oeste da bacia, o clima semiárido dificulta a evolução pedogenética, assim são verificados solos rasos, as vezes recobertos por um capeamento sedimentar incipiente e, não raro, o material regolítico aflora diretamente à superfície.

A exceção a estes cenários ocorre nos setores mais expostos à penetração da umidade aportada pelos alísios de sudeste. Desta forma, os compartimentos “Cimeira Somital”, “Zona de metamorfismo” e “Vertente Rebaixada” podem desenvolver uma mancha edáfica mais espessa, sendo, as duas primeiras áreas, zonas de expansão contemporânea do ambiente semiárido. A incomum presença de regolitos mais profundos, podem levar esses setores a serem classificados como “Áreas de Exceção” conforme a aceção de Ab’saber (2003), ao passo que o setor denominado de “Vertente Rebaixada”, jaz sob condições constantes de ambiente tropical-úmido, algo equivalente ao “Domínio Tropical Atlântico” (Ab’saber, 2003).

2. Síntese Paisagística

A síntese ora apresentada (Figura 16) resulta da sobreposição de informações ambientais tais como essas se apresentam na paisagem hodierna, sendo as unidades definidas o reflexo dos resultados de cada composição interativa, assumindo-se a priori que a paisagem é um ente dinâmico, logo o que pode ser convertido em imagem não é nada mais que um “retrato” instantâneo.

Figura 16: Quadro com atribuição dos sítios paisagísticos da Bacia do Rio Canhoto



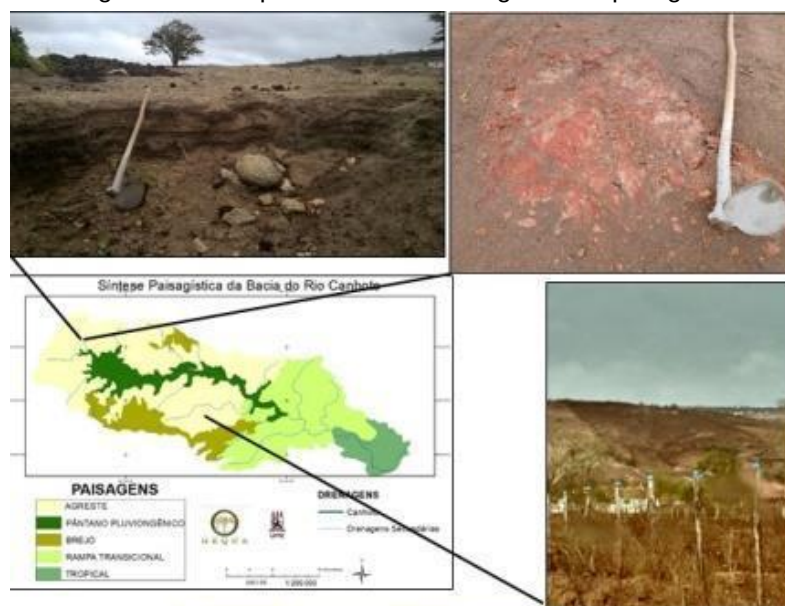
Fonte: O autor (2022).

Nos trechos considerados como “Agreste”, notavelmente mais presentes na faixa ao noroeste e centro da área de estudo, a exposição das coberturas superficiais revela a concentração de argila em horizontes subsuperficiais dos

mantos de alteração, sendo essas, gradualmente eliminadas do sistema pedológico à medida que se aumenta o gradiente de semiaridez. Tal cenário de variação textural das coberturas residuais in situ sugere que a região pode estar atravessando um momento menos úmido, favorecendo a formação de solos arenosos, progressivamente mais delgados a noroeste, em consequência da remoção dos finos (Silte/Argila) sob condições de reduzido intemperismo geoquímico atual.

As formações vegetais que compõem a de cobertura da terra têm relação com as formas de usos correntes da superfície, onde predominam gramíneas relativas para o pastoreio, além da espécie arbórea exótica *Prosopis Juliflora*, “Algaroba”, típica dos desertos peruanos. A secura generalizada desta unidade de paisagem, entretanto, não impede a formação de marcas profundas de dissecação pluvial e drenagens acompanhando a inclinação das vertentes. O escalonamento do relevo em patamares, expõe suaves inclinações em forma de rampas às cotas menos elevadas da bacia nos setores leste e sudeste, onde, a penetração da umidade enseja o desenvolvimento de linhas de incisões tão profundas quanto as coberturas pedológicas permitem, sendo, este processo, intensificado pela ação antrópica, sobretudo pela pecuária de pequeno porte (Figura 17).

Figura 17: Compartimento de Paisagens do tipo Agreste



Fonte: O autor (2022).

As faixas móveis remobilizadas ao sul e norte da área (Figura 18), delimitam superfícies de cimeira, com patamares topográficos que excedem os 900m de altitude. Estas fácies paisagísticas são assinaladas como “Brejos”, onde a correlação entre a maior elevação e a penetração de umidade trazida pelos ventos alísios de SE favoreceu o aprofundamento do intemperismo, que coadunado à mineralogia das rochas metamórficas resultou no desenvolvimento de solos profundos; por vezes com mais de uma dezena de metros e alguma semelhança àqueles desenvolvidos nas zonas mais rebaixadas e próximas ao oceano. Entretanto, a variação térmica presente neste contexto ajudou a desenvolver uma vegetação mais próxima a dos ambientes séquitos das faixas centrais do Brasil. São comuns *Anacardium occidentale* (Cajueiro), de origem nativa, *prosopis juliflora* (Algaroba), *Eucalyptus Regnans* (Eucalipto) e *Cupressus sempervirens* (cipreste italiano), sendo estes últimos, indivíduos exóticos introduzidos na região, graças à sua adaptação ao inverno ameno e a pouca precipitação verificada na área. O mesmo pode se dizer das faixas metamórficas que resultam em relevo em cristas em variados estágios de dissecação.

Figura 18: Compartimento de paisagens do tipo Brejo



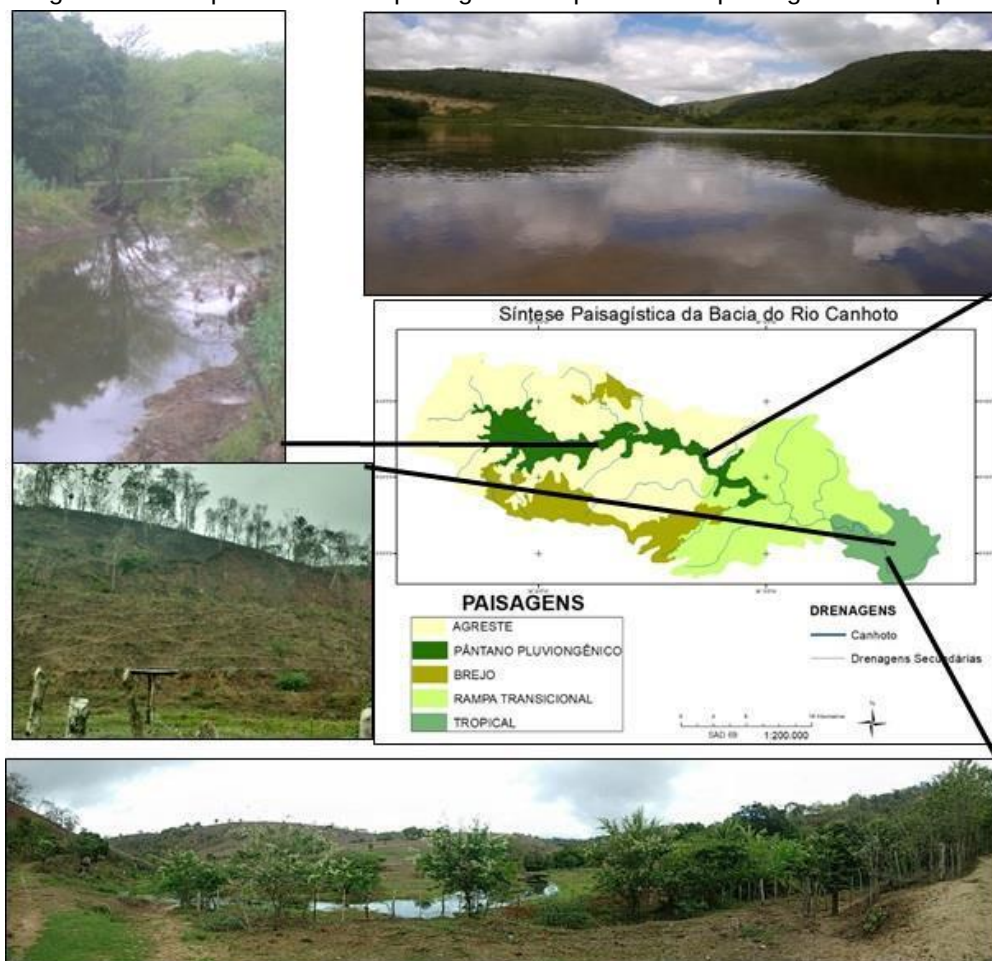
Fonte: O autor (2022).

Nestas áreas, o clima mais úmido favoreceu a formação de cabeceiras de drenagem e, em consórcio com os mantos de alteração mais espessos, a erosão

linear tem favorecido a dissecação das superfícies de cimeira. As altas declividades não favorecem os usos agrícolas dificultando a apropriação do espaço para fins agropecuários, em função disso, se preservam áreas de vegetação secundária do tipo caatinga e Floresta Ombrófito ou Mata Atlântica, dependendo dos totais anuais de precipitação de cada setor.

Os sítios classificados como “pedimento pouco ondulado” (Figura 19) são passíveis apresentarem de estagnação de água nos períodos mais úmidos. Os fundos de vale, neste setor, ficam inundados na estação chuvosa e possibilitam o acúmulo de água que favorece o uso pelas populações locais. Estes pequenos pântanos sazonais permitem a formação de uma vegetação de pequeno à médio porte onde há presença de *Prosopis*, bem como a existênciaa de superfícies aráveis onde são cultivados, normalmente, *Zea Mays* (milho), *Phaseolus vulgaris* (feijão comum, também chamado, “carioca”) *Vigna unguiculata*, também chamado de feijão de corda, e o *Cajanus cajan*, conhecido no Nordeste como “andu”; variedade menos comum na região.

Figura 19: Compartimentos de paisagens do tipo Pântano pluviogênico e Tropical



Fonte: O autor (2022).

A cobertura por manto de intemperismo e sedimentos remobilizados será tão mais evidente quanto for a exposição da superfície à umidade; neste caso, as faixas onde esta relação fica estabelecida estão também associadas à uma orientação das vertentes de direção NE-SO, transversal à direção dos alísios. A maior espessura da alterita resulta em trechos de relevo ondulado com dissecação fluvial, e predomínio dos processos de rastejo sobre as encostas.

Nestas regiões há grande variedade de vegetação arbórea com presença de exemplares da família *Musaceae* (Bananeira), *Mangifera indica* (Mangueira), originárias do sudeste asiático. Ocorrem ainda, *Psidium guajava* (Goiabeira) de origem na América do Sul e *Cocos nucifera* (coqueiros) bem como outros membros da família *Arecaceae* (Palmeiras) de origem não esclarecida. Pela característica de maior umidade e temperatura, estas paisagens contam com solos mais profundos e presença latente de Floresta Ombrófila Aberta (Brasil, 2009), como segunda vegetação de mata atlântica em estado de preservação ou uso pouco degradante. Ainda, são verificadas plantações de *Sscharanum Officinarum* (cana-de-açúcar), de origem exótica, este espécime foi introduzido na região no séc. XVI, por ocasião do início da colonização europeia no Brasil.

O relevo considerado “superfície inclinada” não conta com um predomínio fisionômico singular, de tal forma, que as características destas paisagens são marcadas pela presença de fragmentos de todos os cenários anteriormente descritos. De fato, estas paisagens podem ser classificadas como zonas de transição de microambientes (Ab’saber, 2003), definidos neste estudo como “rampa transicional”. Estas áreas apresentam drenagens perenes, incluindo a do rio Canhoto. Situadas à uma altitude em torno dos 500 m, estas áreas estão associadas a uma variação sazonal da umidade marcada por períodos de estiagem e precipitação. A paisagem apresenta gramíneas baixas nos pedimentos baixos e vales secos, segmentos preservados de Floresta Ombrófila Aberta junto às principais encostas, e, nas superfícies mais elevadas NO, resquícios de indivíduos de caatinga (segunda vegetação), caracterizando, ao longo do seu transecto, um cenário síntese de todos os ambientes verificados na bacia, com exceção àqueles relacionados aos patamares topográficos mais elevados.

3. Análise Granulométrica

A análise dos grãos de sedimento coluvial foi realizada com o intuito de compreender os processos morfoclimático associados à elaboração das feições esculpidas e dos depósitos correlatos, ou seja, para compreender a elaboração superficial do relevo.

Dessa forma, o primeiro resultado expõe que as amostras situadas nas encostas de pedimentos planálticos e cimeiras apresentaram nos pacotes superficiais uma perda maior de material dentro do processo de seleção. Este fato pode estar associado a pouca compactação presente nas camadas superficiais, ora gerada pela biotubação derivada das atividades biológicas presentes, ora do intervalo curto de deposição, porém, este último fato só poderá ser confirmado após a obtenção das idades de deposição dos pacotes.

Já para as amostras coletadas em região menos elevada onde há presença de paisagens tropicais com uma pluviosidade significativamente mais espessa, apresentou uma retenção maior dos finos nos pacotes mais profundo, porém, a variação se apresentou em pequenas quantidades; a uma ordem de 3% de material mais retido nos pacotes inferiores, nesse caso, a pressão gerada pelo peso da camada superior pode ter levado uma maior compactação do material, reforçando a resistência a desagregação dos finos.

Após o procedimento analítico, o uso de software dedicado a construção de gráficos referentes a ilustração dos dados granulométricos das amostras estudadas permitiu as seguintes exposições (Tabela 6)

Tabela 6: Tabela multi-análise morfoscópica de grãos de colúvio da bacia rio Canhoto

Multi-Análise									
Amostras	Média	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
ERM 50	3,538	3,985	4,096	-0,007563	0,6674	20,63	29,57	44,57	5,235
ERM 90	2,397	0,953	3,598	0,4954	0,4691	30,65	38,65	26,9	3,805
ERM 70	2,811	1,916	3,566	0,3044	0,5117	17,74	48,2	30,15	3,915
CSJ 40	2,876	2,212	3,647	0,226	0,4553	30,38	30,18	34,87	4,575
CSJ 70	2,439	0,9648	3,643	0,4946	0,4555	33,73	27,95	34,27	4,055
TNN 60	2,156	0,5787	3,506	0,5669	0,8118	31,94	47,27	17,68	3,115
SCP 70	5,495	7,098	3,279	-0,5314	0,8351	2,924	38,98	52,13	5,965
SCP 140	5,301	7,148	2,961	-0,8038	0,5983	2,543	36,91	55,78	4,775

Fonte: O autor (2022).

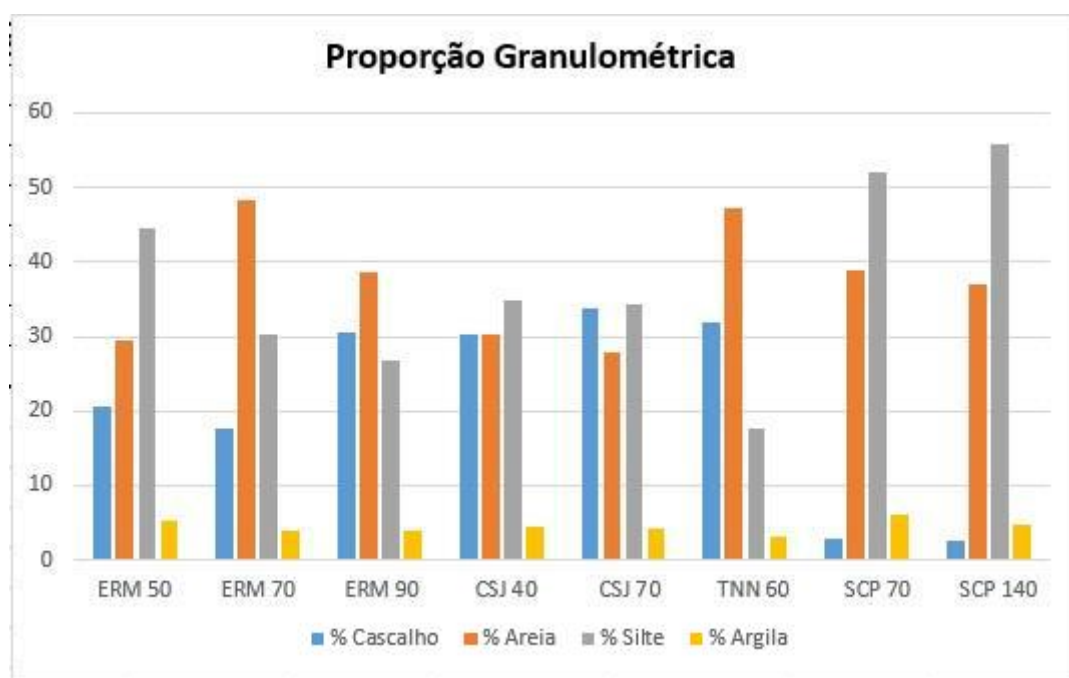
Pela imagem anterior, a tabela de multi-análise, aponta para uma tendência de seleção maior em pacotes superficiais, enquanto o material mais profundo indica menos tratamento no transporte sedimentar, o que leva ao entendimento de que tais processos deveriam estar associados a eventos de maior turbulência, provavelmente com menor recorrência e grande intensidade.

Suguio (2010) aponta que os sedimentos de encosta têm uma tendência amostral aos eventos de maior magnitude e menor frequência, o que demonstra já ser uma característica desse tipo de ambiente.

No caso das análises realizadas com as amostras de colúvio da bacia do rio Canhoto, esta tendência se mostra clara no material situado junto às rampas de topos, porém, as amostras envolvidas em ambientes de maior umidade (SCP 70 e SCP140) indicam uma seleção menos elaborada, o que poderia parecer contraditório, contudo, reflete um aspecto do meio, pois, como há o fator gravidade envolvido na movimentação destes materiais, recorrência de eventos de precipitação elevada potencializa o desenvolvimento de erosões, onde, no momento do transporte, a instabilidade gerada pela verticalização do terreno interfere na seleção granulométrica.

Já o gráfico a seguir (Figura 20), permite mais uma conclusão sobre os processos morfoclimático identificados na bacia.

Figura 20: Gráficos de proporção granulométrica para colúvios da bacia do rio



Fonte: Autor (2022)

No quadro anterior fica exposto que as amostras de ambientes mais úmidos, como SCP, apresentaram maior retenção dos finos no passado. A modificação do uso das superfícies pode estar induzindo o ambiente a uma perda dos menores grânulos, bem como, a tendência pode ser resultado de uma mudança ambiental natural. Essa inferência terá maior precisão forem obtidas as idades para deposição dos pacotes.

A amostra TNN apresentou uma taxa de retenção de finos bem inferior aos demais. Quando analisada a paisagem do local pode-se perceber o predomínio do neossolo litólito, rico em areias quartzosas, mesmo em se tratando de uma moderadamente plana, a região apresenta, climaticamente, o espectro de semiaridez e a dinâmica ambiental analisada a partir dos dados sedimentológicos aponta para a consolidação desse cenário.

Outra amostra de topo coletada na Estrada Riacho do Mel – ERM – indica o mesmo cenário de consolidação de semiaridez com o destaque para retenção das areias na faixa que apresenta uma linha de rochas (70 cm) o fato pode estar associado a uma sucessão de processos deposicionais decorrentes de transição ambiental ou apontar evento isolado com relação ao desprendimento de blocos diversos, recorrentes na área analisada.

Por fim, as amostras coletadas em brejos com a presença de formações metamórficas em cristas – CSJ – indicam a presença da umidade pela granulação regular, mesmo dos pacotes mais profundos. Área rica em materiais finos possui uma

boa distribuição entre os grânulos mais proeminentes. Essa seleção regulada pode indicar a presença de umidade constante na região, estimulada, dentre outros, pela distribuição de corpos hídricos diversos associados ao acúmulo pluvial e à relativa contribuição do relevo orientando as drenagens segundo os planos de formação das cristas. Uma paisagem que exemplifica didaticamente a relação entre estrutura e produção morfológica dos processos ambientais.

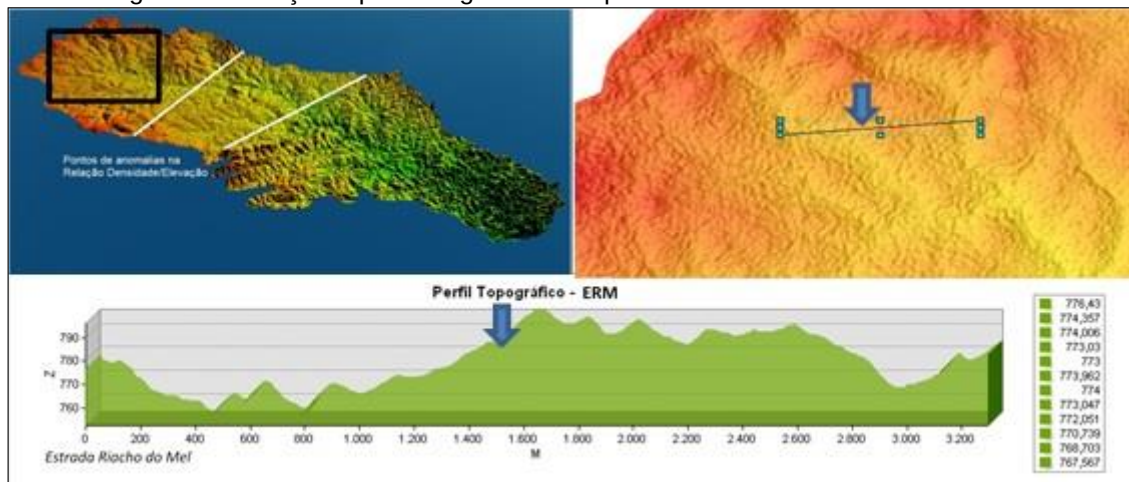
Para ratificar esses dados, é necessária uma análise morfométrica dos sedimentos estudados. Assim, a seguir serão expostos os resultados de tais análises. Dias (2004) expõe de forma clara e bastante direta, as generalidades referentes aos estudos de morfometria, com base em pressupostos teóricos e empíricos defendidos ao longo da segunda metade do século XX, bem como elucida a compreensão das proposições de modelos para esse tipo de estudo.

Com isso em vista, serão expostas as análises para cada ponto de coleta.

Ponto: Estrada Riacho do Mel

O primeiro ponto de coleta (Figura 21) localiza-se à noroeste em uma zona de cimeira. A espacialização das amostras foi realizada com o propósito de abranger cada um dos compartimentos de paisagens previamente definidos.

Figura 21: Posição e perfil longitudinal do ponto Estrada Riacho do Mel - ERM.



Fonte: O autor (2022).

Nesse local a paisagem demonstra uma configuração típica semiárida. Mesmo na presença de altitude superior ao 1000m a organização climática regional não favorece o deslocamento de umidade, como resultado, a precipitação ocorre de forma concentrada em eventos de grande magnitude, cenário ideal para a remoção do material superficial mais leve. Como consequência, não é raro a formação de superfícies pedregosas, com pouca ou nenhuma cobertura sedimentar. Indo além, é possível observar essa configuração nos rasos perfis coluviais encontrados na área.

Característica comum de um domo, a cabeceira desta rede de drenagem não se distingue por uma cimeira proeminente. Nesse quesito, salvo estruturas pontuais derivadas do esforço neotectônico associado, sobretudo, ao encaixe estrutural da cimeira PE/AL, e, superficialmente, diagnosticadas como inselbergs, a modelagem é dinamizada pela configuração climática, corroborando com a inevitável atenção voltada ao tema.

Isso posto, é possível encontrar em pontos na superfície, marcas do processo climático local. Tais marcas, mais precisamente, são evidenciadas na presença de coberturas derivadas da flutuação da água, de forma sazonal, marcada pela periodicidade das precipitações e, principalmente, por uma temporalidade identificada pela concentração do período chuvoso e, de igual forma, pela escassez de água no período da estiagem.

A flutuação dos períodos de precipitação gera pontos de acúmulo temporário de água, em superfície e em subsuperfície, que apresentam elevada variação da lâmina de água. A estagnação da água auxilia a concentração de ferro pela precipitação dos minerais de argila na presença de oxigênio. Em outras palavras, ocorre a oxidação dos minerais ferruginosos e sua consequente concentração em faixas de contato com a superfície do fio d'água.

Ambientes úmidos, sazonalmente, conduzem reações de precipitação dos minerais de ferro que, na presença da água, reagem com oxigênio realizando trocas de elétrons o que conduz à redução dos minerais de argila e, consequentemente, formação de concreções ferruginosas, inclusive, com a indução a cristalização dos minerais de ferro em rochas presentes nesses ambientes (Figura 22).

Figura 22: Camadas ferruginosas geradas pela manutenção da linha d'água em pontos de estagnação temporária.



Fonte: O autor (2022).

Se por um lado, devido ao ritmo climático da região, a característica do fluxo superficial permite a formação de tais cenários na base da cimeira, a

recorrência dos eventos extremos elimina os materiais finos das áreas de encostas, deslocando-os, por força da descarga hídrica, em alguns casos até com materiais médios para a os níveis de base, enquanto concomitantemente, os finos sofrem reações químicas de redução ou são eliminados do sistema. Nesse contexto, é possível observar as camadas de deposição de grânulos médio, bem selecionados por lavagem (Figura 23).

Figura 23: Depósitos sedimentar com materiais de granulometria média em leito seco, marcando nível de base local em uma área de cimeira



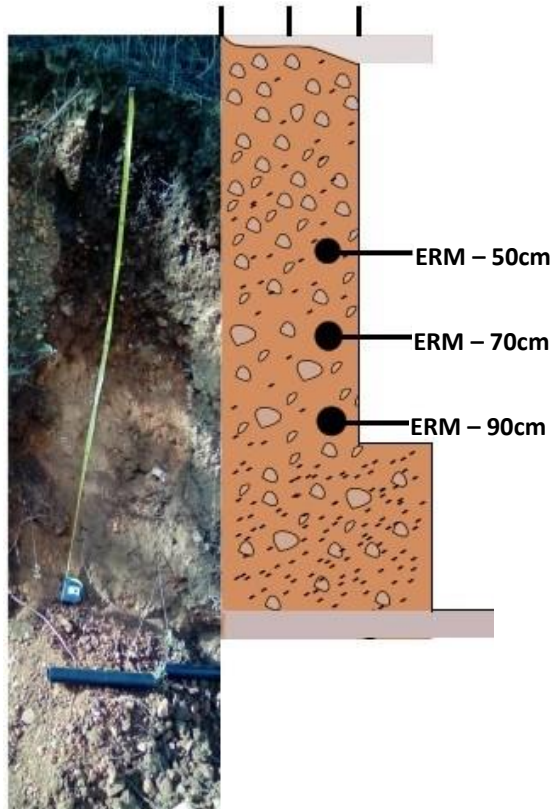
Fonte: O autor (2022).

As evidências encontradas na paisagem, portanto, permitem a conclusão de que o clima semiárido com duas fases distintas bem definidas é o agente controlador das alterações morfológicas superficiais, onde a dissecação das vertentes associadas aos topos gera a formação de pacotes sedimentares delgados, posteriormente retrabalhados por eventos de alta magnitude, não raros nas condições climáticas locais. Em paralelo, a dissecação erosiva também atinge os pacotes ora formados nas vertentes, redirecionando os finos para os níveis de base locais, criando assim, um perfil em degraus de patamares correlatos, posteriormente evidenciados como uma feição corriqueira ao contexto analisado.

A área da coleta (Figura 24), propriamente dita, está estabelecida em uma vertente cortada latitudinalmente. Visualmente, o pacote apresenta distribuição

irregular em que pese a distribuição latente de grânulos de porte médio, entre 70 cm e 90cm de profundidade, a grande presença de clastos se dá em todo o pacote, imediatamente, induzindo à percepção que o clima semiárido se apresenta desde, pelo menos, a construção deste depósito.

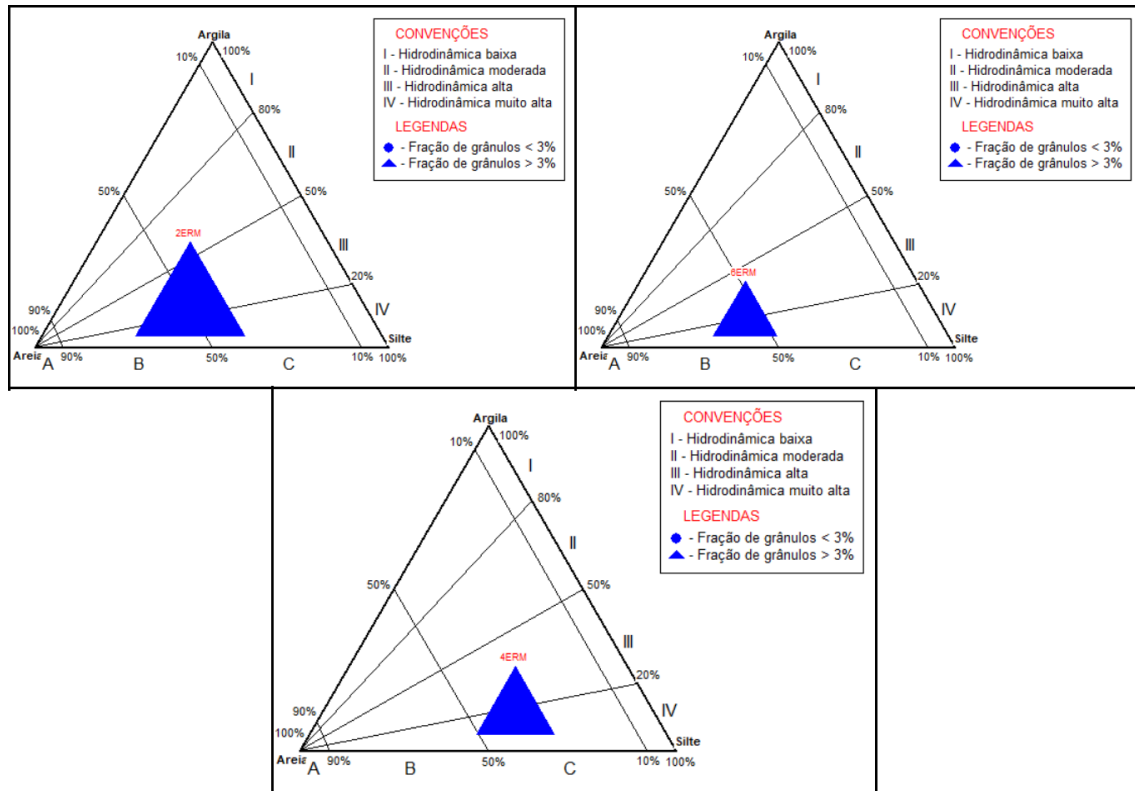
Figura 24: Perfil do ponto de coleta Estrada Riacho do Mel - ERM.



Fonte: O autor (2022).

A relevância da distribuição granulométrica é contumaz para constatar a observação de campo. A morfoscopia (Figura 25) dessas amostras aponta um comportamento morfoclimático alinhado de forma ainda mais característica com um ambiente semiárido, principalmente, pelo comportamento hidrodinâmico indicar intensidade elevada dos fluxos.

Figura 25: Diagrama de Pejrub dos sedimentos ERM



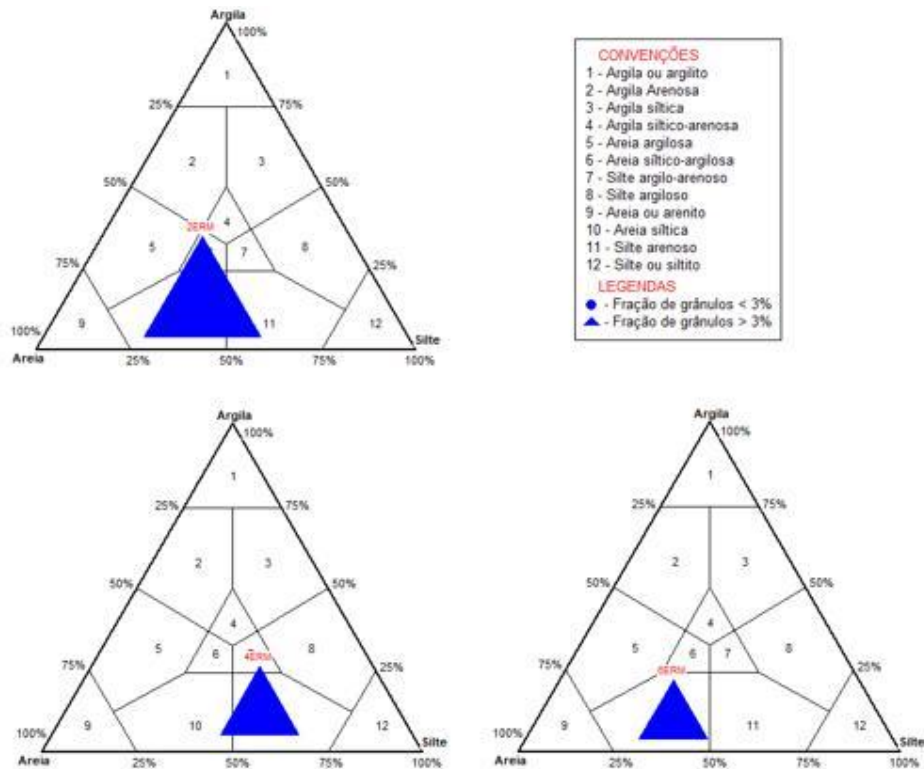
Fonte: O autor (2022).

Contudo, neste caso, as amostras mais superficiais apresentam-se mais presentes entre as classes C-III e C-IV revelando maiores teores de Silte em contato com as areias presentes no pacote analisado. Tal fato pode ser indicativo de uma transição dos ambientes para fases mais úmidas, pois a recorrência do fluxo hídrico ajuda a preservar os finos, dado que a manutenção da cobertura vegetal funciona como mecanismo de agregação de tais materiais.

A componente estrutural é determinante neste ponto pois, como a área está mais pronunciada em um contexto de semiaridez a altitude imposta pelo soerguimento da superfície facilita a preservação de umidade e, este fato, atua como estabilizante hidráulico para os sistemas analisados.

O comportamento hídrico resulta diretamente na disposição granulométrica, assim, o gráfico de Shepard aplicado para as amostras ERM (Figura 26) ilustra com clareza que a tendência à manutenção dos finos aumenta da deposição mais profunda para a mais superficial.

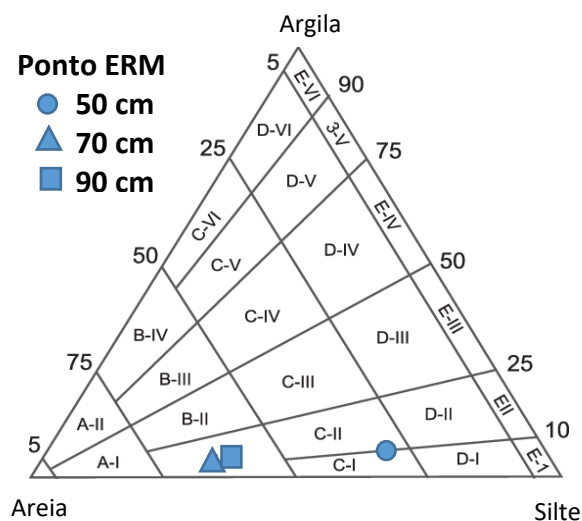
Figura 26: Aplicação do gráfico de Shepard para sedimento de topo - ERM.



Fonte: O autor (2022).

As informações apresentadas, ainda que relevantes, não completam o quadro analítico, uma vez que a consideração do fluxo, proposto por Pejrup, pressupõe a presença da água como agente definidor do movimento, entretanto, apesar de, eventualmente, ser o fator que desencadeia o evento, a água divide com a gravidade ao papel de controle do fluxo. Isto posto, deve ser considerado por último, o quadro analítico estabelecido por Flemming (2000) para a amostra ERM (Figura 27).

Figura 27: Diagrama de Flemming aplicado para a amostra ERM



Fonte: O autor (2022).

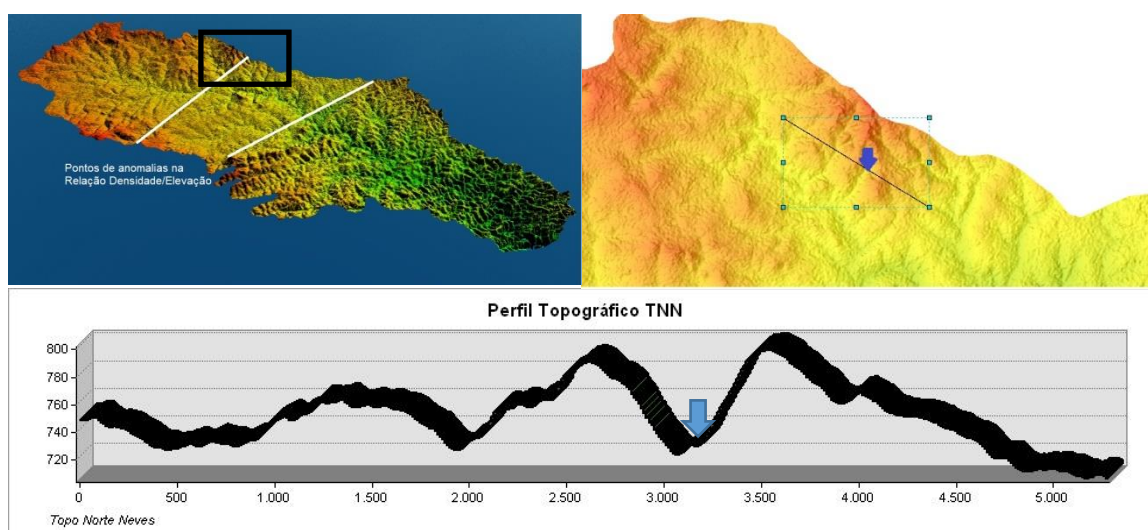
Nesse gráfico fica evidente que a baixa seleção do material tem implicações climáticas. Apesar disso, pelos dados gráficos, houve uma clara transição climática para uma fase mais úmida, na secção superficial (50 cm) e, portanto, é conclusivo que o clima na região tem se tornado menos árido.

O evidente déficit em argila concentrando as amostras em fases areno-siltosas, ainda que o fluxo apresente variações no teor líquido, são apontamentos definitivos para a conclusão de que, mesmo indicando maior presença de umidade nos períodos mais recentes, a semiaridez é uma constante na região e remonta a épocas pretéritas ao complexo de dissecção atual dos pedimentos analisados.

Ponto: Topo Norte-Neves

O ponto classificado como Topo Norte-Neves, está posicionado em uma faixa intermediária da bacia, na borda leste, próximo a uma zona de cimeira. Aqui foi observado que O aumento gradativo da altitude, condicionou o fluxo hídrico em direção à jusante. Da mesma forma, onde há ruptura estrutural que gera desníveis abruptos, houve aumento do fluxo, representado por um canal com maior retidão, como mostrado no exemplo (Figura 28).

Figura 28: Posição e perfil longitudinal do ponto Topo Norte Neves - TNN

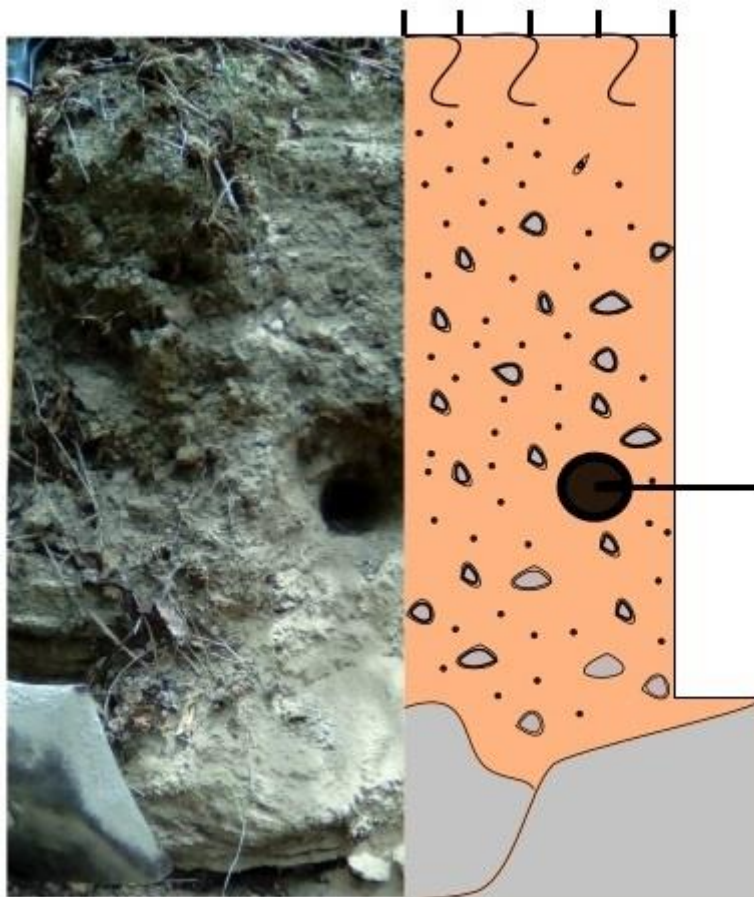


Fonte: O autor (2022).

Neste caso, tanto a orientação quanto o ritmo do fluxo hídrico servem de indicadores para a identificação do padrão estrutural, em termos de construção dos arranjos internos. Com isso, pode-se destacar que a verticalização da

topografia local serviu também como condicionante para os processos físicos exógenos, uma vez que o deslocamento da água em superfície obedece diretamente ao direcionamento estrutural, atuando na espacialização dos processos de erosão e deposição de sedimentos, bem como, na elaboração de feições diretamente relacionadas com esses processos, como o aprofundamento dos vales e/ou a formação de depósitos e solos correlatos (figura 29).

Figura 29: Perfil do ponto de coleta TNN expondo o local de extração a 60cm de profundidade.



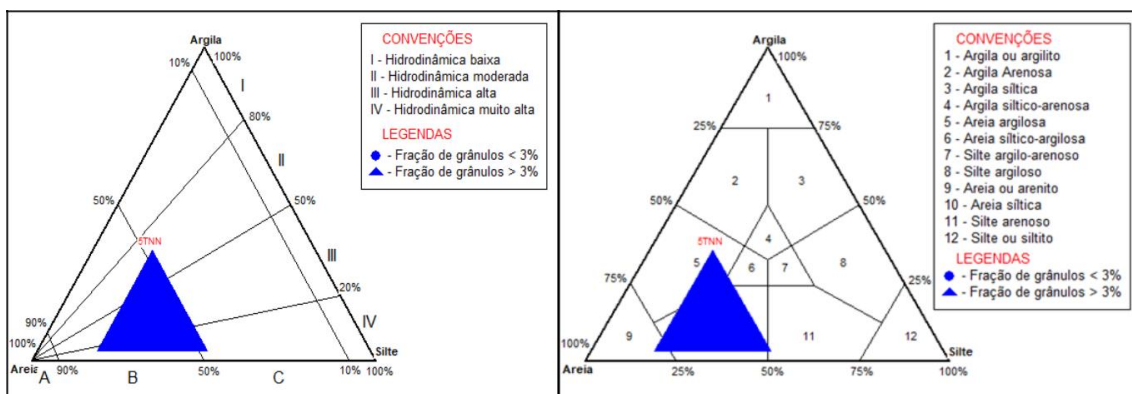
Fonte: O autor (2022).

O perfil analisado está situado próximo ao sopé de um dos divisores de água da bacia, na margem norte, sobre blocos descolados de regolito em aparente transição abrupta, com uma rara manutenção do pacote adjacente. O local configura uma paleoerosão do tipo “anfiteatro” com retrabalhamento erosivo. Em um desses pontos de reativação erosiva foi possível estabelecer a coleta, apesar da dificuldade de acesso, no perfil ora exposto.

Visualmente, o pacote apresenta uma granulometria concentrada na fração areia, com flutuação de clastos médios em todo o perfil, diminuindo sua presença nos 10 cm superficiais, onde há biotubação mais evidente. A dinâmica

superficial foi investigada de acordo com a granulometria seguindo os protocolos previamente exibidos. A seguir (figura 30) estão expostos os dados.

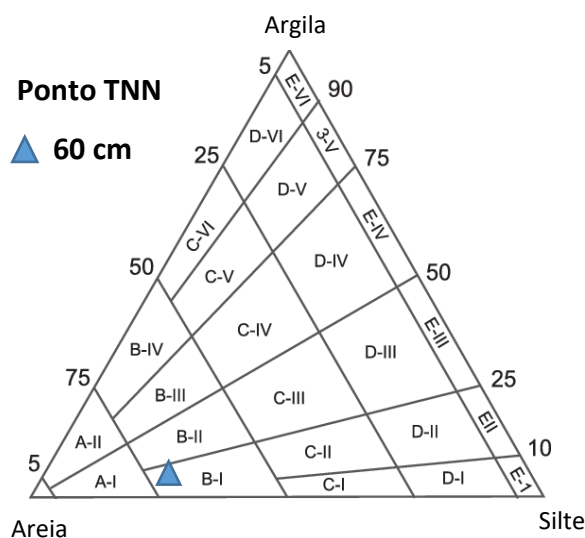
Figura 30: Gráficos de Shepard e Pejrur para o ponto TNN.



Fonte: O autor (2022).

Analisando os gráficos de Shepard e Pejrur, fica evidente a presença da energia no componente dinâmico do transporte e deposição dos sedimentos. O predomínio da areia siltica é um forte indício de que os fluxos de transporte sedimentar, ora classificados com nível energético B-III, traduzem que a alta intensidade envolvida nesses movimentos consegue mobilizar materiais mais resistentes gerando deposições mais grosseiras e, para o ponto analisado, com relativa seleção para material granulométrico de médio porte. Em que pese o fluxo ser, por essa compreensão, atrelado a eventos de maior magnitude, os períodos de estiagem e/ou onde ocorrem eventos de menor intensidade tem a propriedade de eliminação de materiais refinados. A análise do gráfico de Flemming (figura 31) é ainda mais conclusiva.

Figura 31: Gráfico de Flemming aplicado à granulometria da amostra TNN 60



Fonte: O autor (2022).

A presença de diminuta da argila e a concentração da amostra próxima ao canto inferior esquerdo, apontam para o fato de que o clima controlou a eliminação dos finos, onde processos físicos possivelmente relacionados com a lixiviação superficial foram os responsáveis pela “lavagem” desses minerais. A temperatura elevada dos meses quentes, nesse caso, potencializa precipitação do ferro, fato de aumenta sua capacidade de evacuação frente a eventos de precipitação de elevada magnitude.

Por fim, o fato de tal amostra, apresentar essa configuração granulométrica em uma posição relacionada diretamente a um processo paleoerosivo remete à compreensão de que a semiaridez presente na região não é fato recente e remonta, no mínimo, ao pleistoceno inferior, dado que, mesmo diante de um diagnóstico de transição climática, os processos físicos pretéritos, relativos à construção do pacote sedimentar, apresentam evidências de uma dinâmica climática associada à condição de escassez hídrica, ao menos, de um volume suficiente para considerar outro complexo ambiental.

Esses dados permitem a afirmação de que o regime intenso das precipitações intercalado com acentuados períodos de estiagem ajuda na seleção granulométrica, mesmo após a sedimentação pois, não havendo prova em contrário, há possibilidade de perda de materiais por precipitação geoquímica. A constatação final, dentro desse escopo analítico é a de que os topos situados mais ao Norte estão inseridos em um ambiente que experimenta níveis de aridez mais acentuados.

Ponto: Sítio Bela Vista

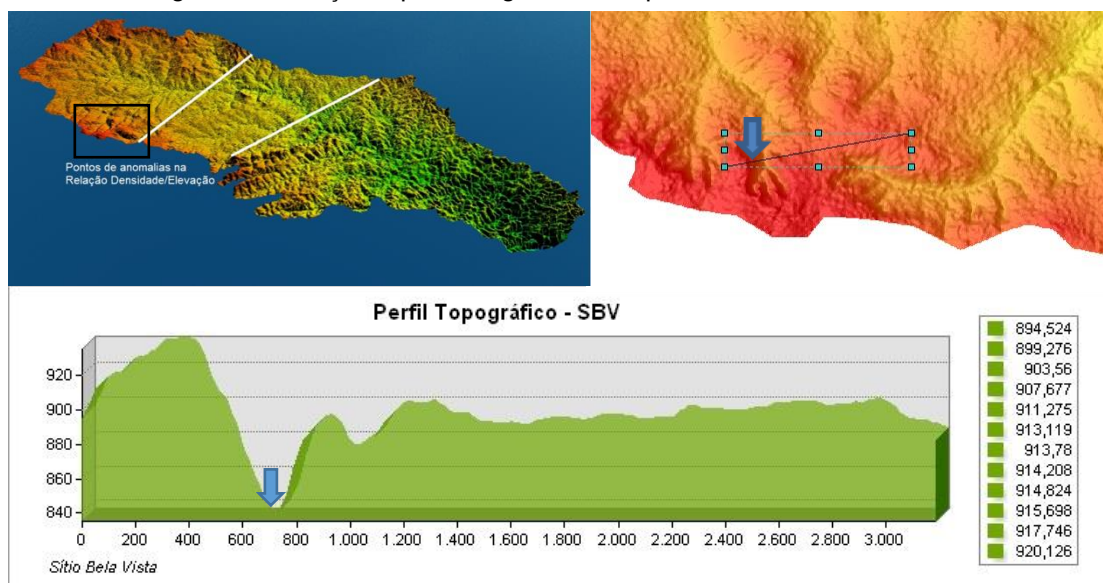
Os topos são normalmente associados a condições de maior umidade que o entorno. No ponto denominado Sítio Bela Vista – SBV, esse fato pode ser evidenciado pela maior profundidade dos vales, bem como pela abundância de material sedimentar.

Estando associado diretamente ao lineamento PE-AL, essa zona apresenta o resultado da dinâmica neotectônica local, marcada pelo retrabalhamento dos vales e pelo escalonamento dos pacotes coluviais. Em que pese o desgaste superficial promovido pela denudação característica do clima semiárido, mesmo em evidência de maior umidade, a manutenção dos topos pelo esforço

orogênico contribui para o aprofundamento dos vales e prolongamento das vertentes, presentes em todas as pequenas redes de drenagens percebidas.

A imagem (figura 32) explana uma dessas situações, em que a associação entre denudação e manutenção dos topos levou ao rebaixamento do nível de base local, condicionando maior aprofundamento dos vales.

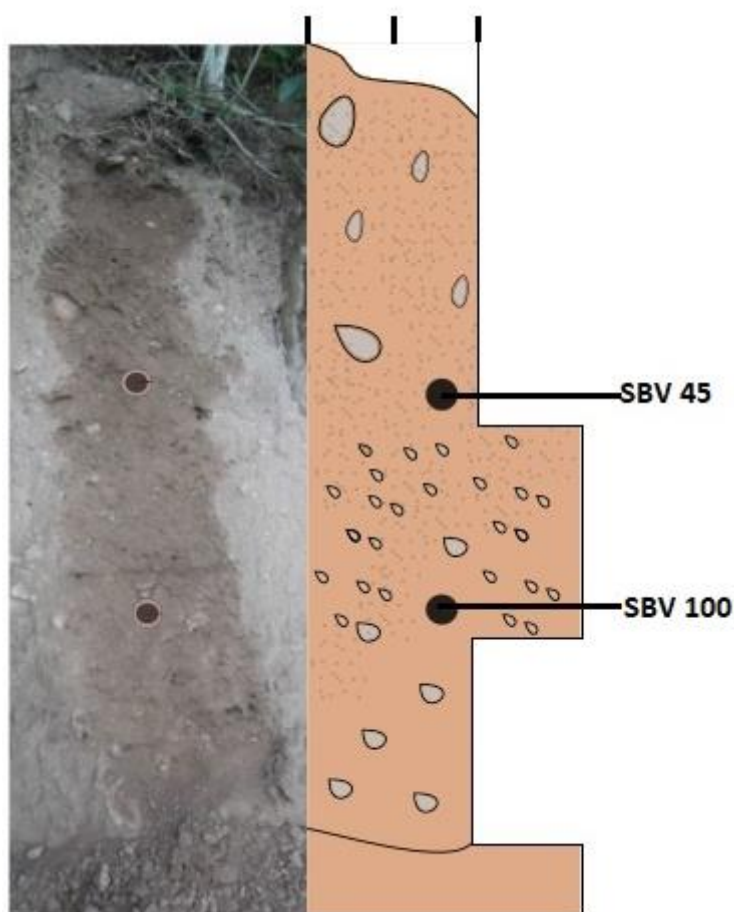
Figura 32: Posição e perfil longitudinal do ponto Sítio Bela Vista - SBV



O ponto SBV se apresenta encravado em um vale profundo nas margens da chamada “Cimeira Somital”, a superfície mais elevada da bacia, próximo aos 1000m de altitude. Para além disso, esse local está posicionado na faixa sudoeste da bacia em uma zona de exposição aos ventos úmidos de sudeste. Notabiliza-se, assim, como um brejo de exposição.

Apesar disso, a área de coleta (Figura 33) fica na vertente voltada à noroeste da encosta, área de sombra pluvial que percebe de maneira diminuta os efeitos da entrada de umidade.

Figura 33: Perfil do ponto de coleta SBV



Fonte: O autor (2022).

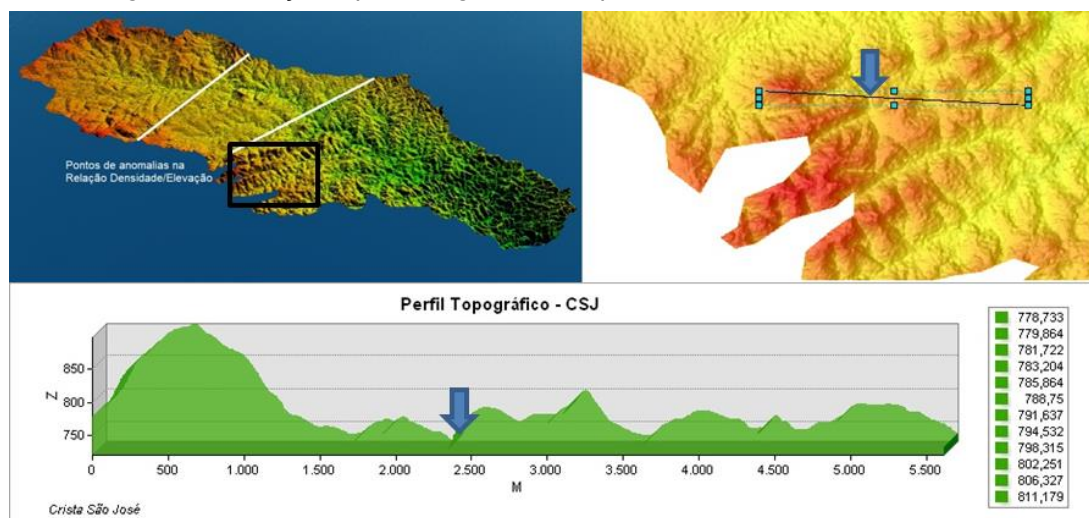
Com dados obtidos em Lima (2014) foi possível estabelecer o ponto SBV como local de trânsito entre os ambientes de maior e menor umidade na bacia, sendo, inclusive, possível estabelecer que nos últimos anos tem sido evidente o aumento do potencial hídrico nos fluxos de transporte dos sedimentos analisados, fato que contribui para a compreensão geral de que, em escala regional, os pontos de exposição aos sistemas de chuva, estão se tornando mais proeminentes, sobretudo nos limites Sul e Leste, como será demonstrado em outros locais.

Ponto: Cristas de São José

Ainda com relação às situações de proximidade com os chamados brejos de exposição, a maior presença de umidade é um fator importante para a manutenção dos minerais de argila que, dentre outras atribuições, conseguem

manter certa compactação aos pacotes sedimentares observados na área de coleta (Figura 34).

Figura 34: Posição e perfil longitudinal do ponto Cristas de São José - CSJ.



Fonte: O autor (2022).

Este ponto está situado próximo ao sopé de uma estrutura de relevo chamada de crista, em função do aspecto de sua superfície. Esse fato já explica sobre alterações em dinâmicas internas que condicionam alguns processos em superfície, porém, é também interessante quando levado em consideração que a percepção de umidade pode até dobrar nesse local, com relação às áreas ao Norte.

O local apresenta formação de diversos pontos de estagnação de água, mesmo que periodicamente, inclusive, o ponto de coleta está situado de frente a um dos principais açudes do município de São João (Figura 35).

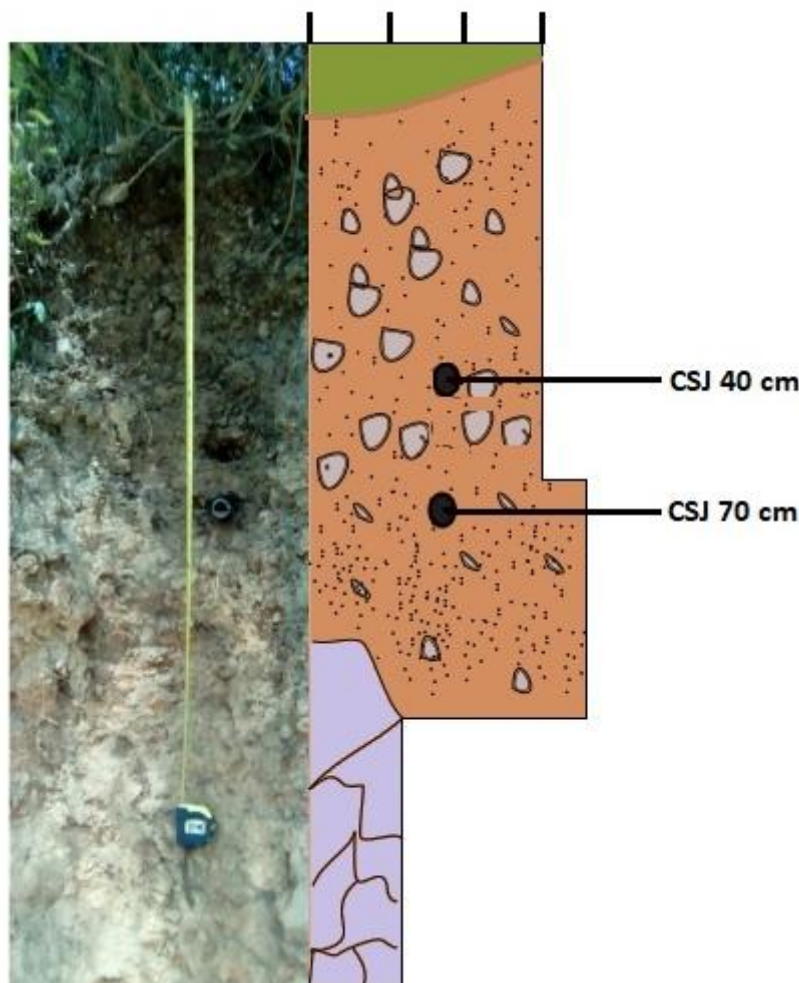
Figura 35: Açude entre cristas. O plano de verticalização formado pelas cristas ajudar a consolidar sistemas de drenagens que, não raro, abrigam locais pantanosos



Fonte: Autor (2022)

O aspecto morfométrico dos sedimentos de topo úmido, presente na faixa de transição morfoestrutural que coincide com a formação de relevo em processo de elaboração de cristas indica de maneira clara a presença de um ambiente de umidade mais acentuada que se faz presente desde a elaboração dos depósitos (figura 36).

Figura 36: Perfil do ponto de coleta Cristas de São José.



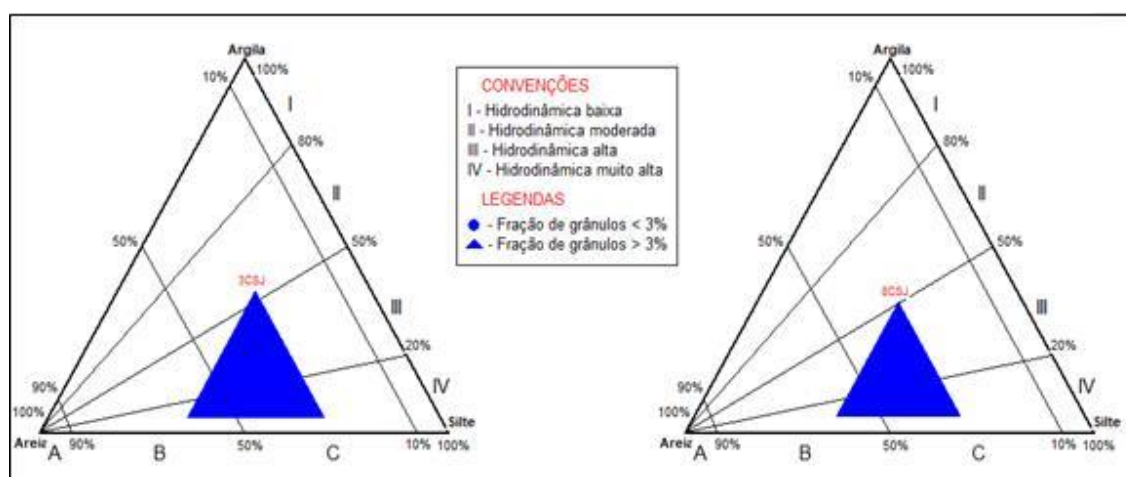
Fonte: O autor (2022).

Na imagem é observada com clareza a densidade que apresenta o material depositado, bem como a distribuição aleatória de grânulos bastante grosseiros, remetendo à já descrita variação de fluxos e recorrência das precipitações no local, em que pese a lenta reativação tectônica aplicada sobre o depósito ora descrito, sua atuação não comprometeu o balanço deposicional que se estabeleceu sobre a região, remanejando as camadas superficiais, lateralmente, pelo princípio da isostasia, e consolidando os pacotes mais profundos.

Esse compilado aponta para o estabelecimento, a longo prazo, dos pacotes em superfície. A dinâmica constante de reativação, funcionou paradoxalmente, para mantê-los presentes na paisagem, de forma tal que sua gênese pode estar associada à episódios de ruptura climática na transição entre o pleistoceno médio-superior.

Observando os gráficos de Pejrup (figura 37) para as amostras CSJ, pode-se constatar que a força dinâmica não é tão intensa, com classe predominante sendo C-III, em que os agregados de silte estão evidentes e desprendimento de areias e cascalhos se torna menos constante.

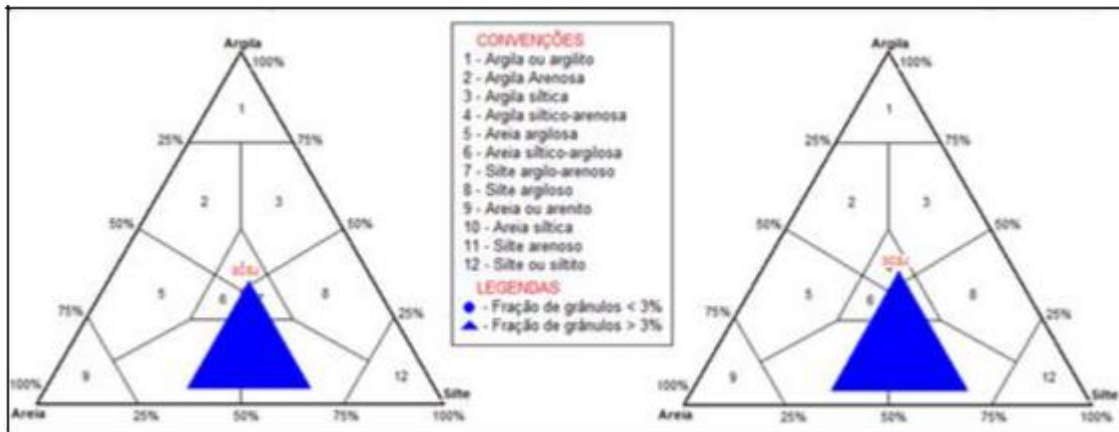
Figura 37: Gráfico de Pejrup aplicado às amostras CSJ.



Fonte: O autor (2022).

Este aspecto reforça a compreensão de que o esforço estrutural gerado pelo falhamento PE-AL promoveu ascensão de blocos lineares e patrocinou a formação de topos úmidos. Dada a configuração quase homogênea do transporte de baixa intensidade é possível julgar que o fluxo continuado de material sendo depositado nesses pacotes valida a prerrogativa de que esses topos representam exceção ao contexto ambiental regional verificado na bacia, já como uma clara representação da influência morfoestrutural sobre o comportamento do sistema. Aliado a esta análise, estão os dados sobre a classificação morfogranelométrica obtida através da aplicação do gráfico de Shepard (figura 38).

Figura 38: Gráfico de Shepard aplicado aos sedimentos CSJ.

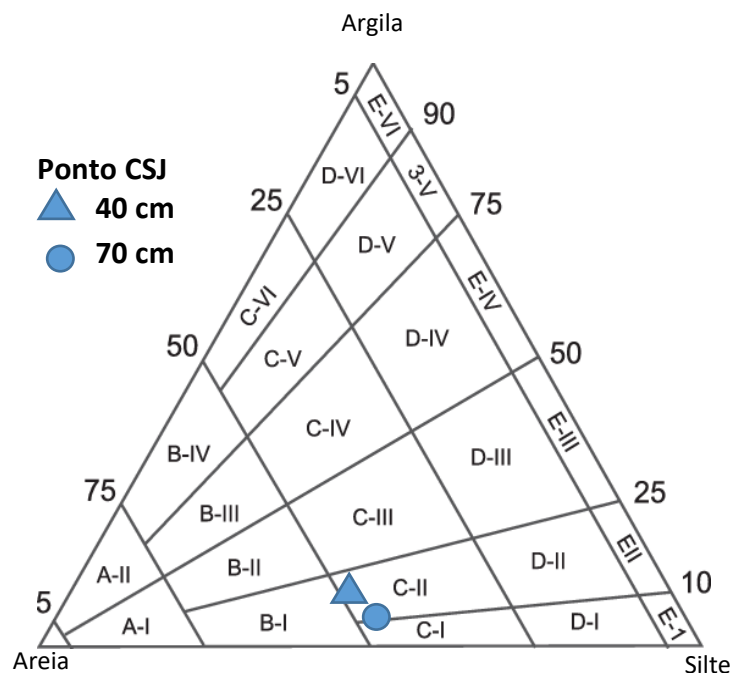


Fonte: O autor (2022).

Segundo os dados expostos no gráfico anterior, os sedimentos do ponto CSJ estão configurados predominantemente como Areias Silticas/Silte Arenoso, é evidente que a cimentação gerada por essa relação gera pacotes mais coesos, além do quê, para a formação de tais agrupamentos, é necessária uma dinâmica climática com pouca variação de umidade no meio. Argumentos que atestam a classificação dessas paisagens como refúgios de umidade preservados pela estruturação ascendente.

A conclusiva análise foi feita após aplicação do gráfico de Flemming (figura 39).

Figura 39: Gráfico de Flemming aplicado às amostras do ponto CSJ.



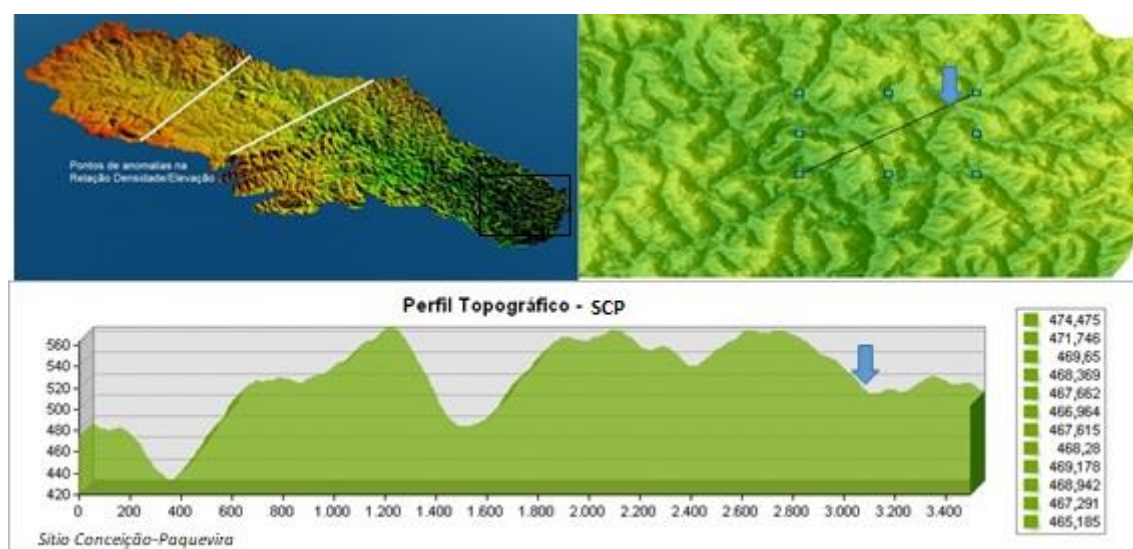
Fonte: O autor (2022).

A posição das amostras no gráfico indica que, de fato, o ambiente analisado apresenta maior grau de umidade nos eventos relacionados à atividade morfológica, sobretudo, na precipitação dos minerais de argila dos pontos mais profundos. Em que pese a retenção de umidade mais acentuada pela microcirculação atmosférica, ainda se trata de um ambiente com semiaridez latente, em que são obvias condições de stress hídrico, porém, é possível inferir também, como análise final, que os paleoambientes que ora configuraram essa paisagem deveriam ser ainda menos úmidos, ao que reflete-se então, que o papel neotectônico tem ajudado a equilibrar a configuração do microclima local, no sentido de atenuar efeitos de uma mudança climática regional mais abrupta.

Ponto: Sítio Conceição-Paquevira

Por fim, as áreas menos elevadas se apresentam, nesta bacia, na porção sudeste e, por essa razão, percebem comportamento climático mais úmido, pois o deslocamento dos ventos de E-SE carrega umidade oceânica para porções orientais do continente, penetrando até essas faixas (Figura 40).

Figura 40: Posição e perfil longitudinal do ponto Sítio Conceição-Paquevira.



Fonte: O autor (2022).

O ponto localizado no extremo sudeste da bacia é também o de menor altitude dentre as 5 amostragens; nesse local, o aprofundamento dos vales é proeminente, o trabalho de elaboração pedológica é igualmente notado. Diferentemente das outras áreas da bacia, o ponto SCP está situado em uma

área de ambiente tropical úmido, em que a faixa de precipitação flutua acima da casa dos 1500 mm/ano.

O aprofundamento dos vales está diretamente relacionado com a dinâmica hídrica local, onde a busca pelo nível de base gera cortes verticais íngremes, enquanto a relação de uso e ocupação da superfície contribui para a rápida ativação dos elúvios dispensando movimentos lentos e contínuos do tipo *creeping* em todas as vertentes (figura 41).

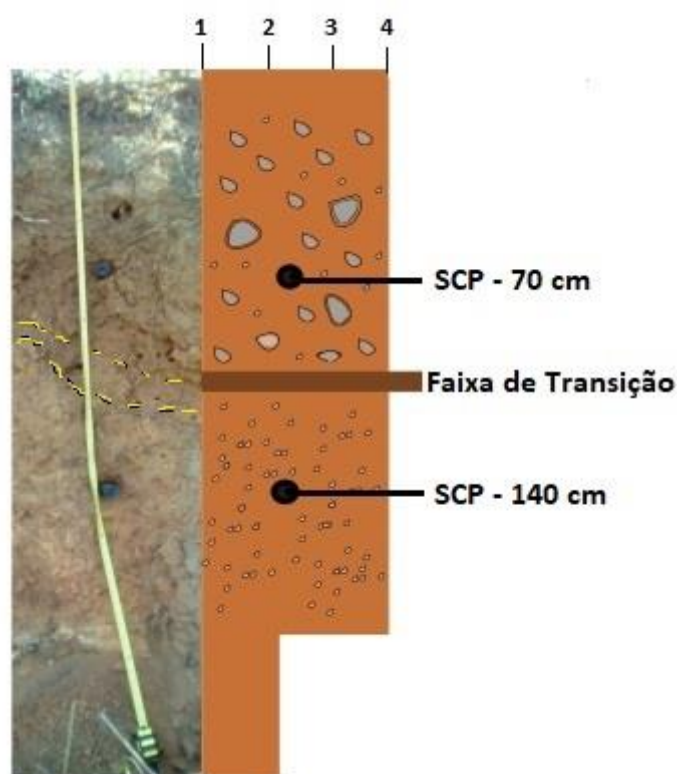
Figura 41: Movimentos de rastejo do tipo "creeping" evidenciados em diversos locais do patamar inferior da bacia, evidenciando a relação de uso e ocupação com o meio



Fonte: O autor (2022).

Nessa linha de observação, o perfil escolhido para coleta (Figura 42), foi o mais profundo encontrado em toda a investigação, o que expõe uma clara mudança na configuração ambiental.

Figura 42: Perfil do pacote sedimentar selecionado no ponto SCP

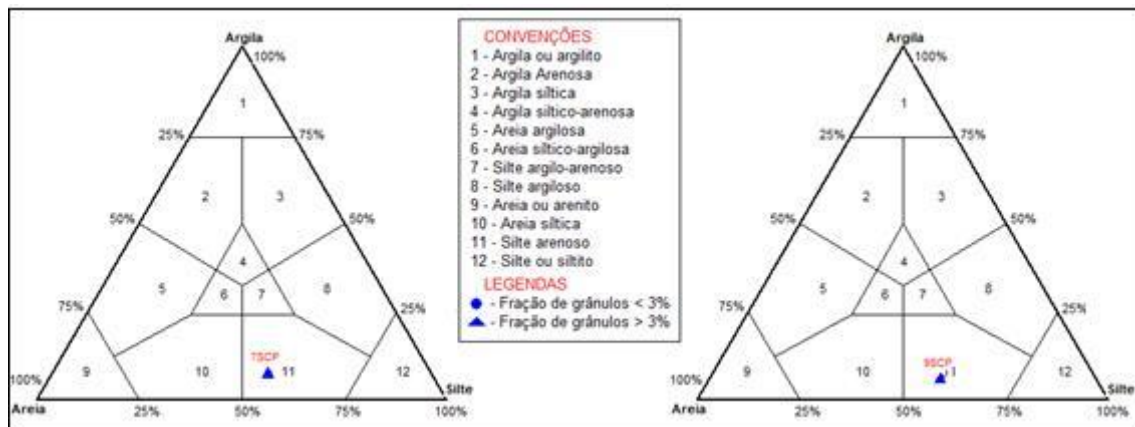


Fonte: O autor (2022).

O perfil sedimentar SCP apresenta uma configuração visual diferente dos demais observados no campo de estudos, uma vez que sua variação granulométrica é visualmente perceptível, sendo marca de divisão uma clara ruptura na faixa de 1 m de profundidade, onde a porção superior apresentar clastos flutuantes mais pronunciados enquanto a faixa mais próxima à zona de contato com o regolito houve aparente eliminação dos materiais grosseiros.

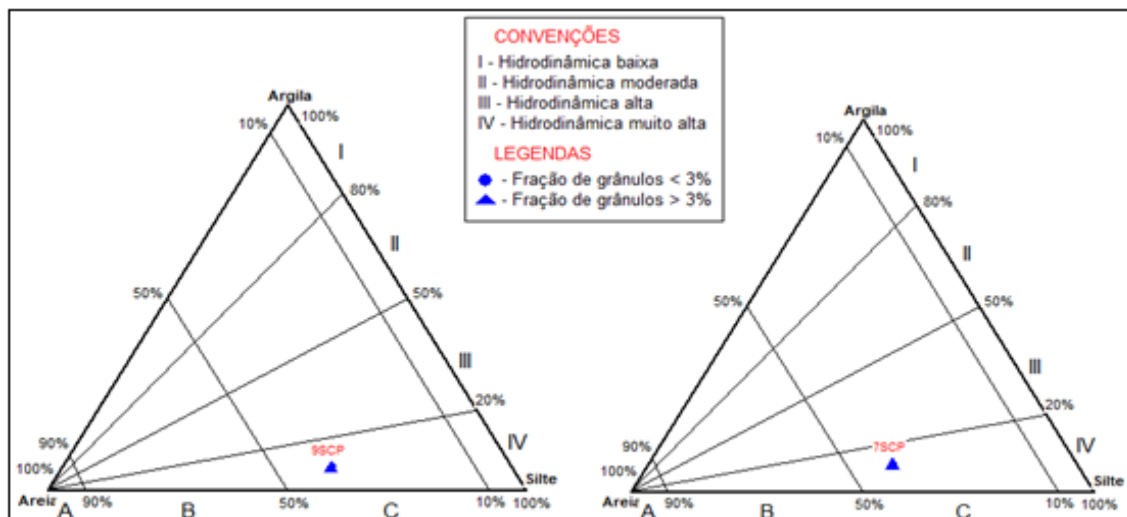
A zona de transição apresenta variação de textura bem como de coloração, com apropriação de tons escurecidos no perfil superficial. A preservação de ferro é evidente em ambos pacotes, não há perda significativa aparente por lixiviação ou precipitação química. Com a visualização do gráfico de Pejrup (Figura 43) pode-se perceber que o comportamento hidrodinâmico apresenta uma intensidade moderada, além deste fato, outro destaque notado é que a granulometria notada no gráfico de Shepard (Figura 44) caracteriza esse pacote sedimentar na porção de silte arenoso.

Figura 43: Gráfico de Shepard aplicado aos sedimentos SCP



Fonte: O autor (2022).

Figura 44: Gráfico de Pejrup aplicado para os sedimentos do ponto SCP.

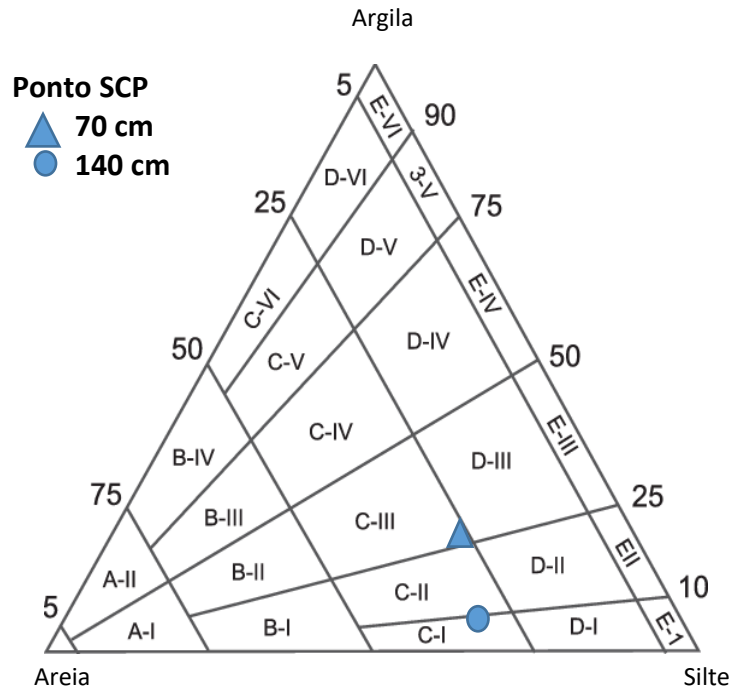


Fonte: O autor (2022).

A aplicação da análise gráfica pelas metodologias propostas por Pejrup e Shepard tem grande validade para analisar a intensidade de fluxo pois considera o deslocamento por uma motriz hidrodinâmica, contudo, não completa todas as perspectivas analíticas, uma vez que os pacotes analisados, em muitos casos, foram construídos em regimes de deslocamento verticalizado, impulsionados pela força gravitacional, de forma tal que a análise gráfica deve contemplar também o deslocamento sob essa condicionante.

Observado a peculiaridade do ambiente encontrado no processo de elabora-transporte-deposição, deve ser considerada a análise gráfica para dados granulométricos baseada na metodologia proposta por Flemming (Figura 45).

Figura 45: Diagrama de Flemming com exposição dos dados sobre as amostras coletadas no perfil SCP.



Fonte: O autor (2022).

A seleção bem mais elaborada para esses pacotes induz à conclusão de que desde a formação do depósito sedimentar o ambiente descrito nessas regiões pode ser assemelhado ao encontrado nas faixas típicas do Brasil oriental, onde o clima tropical úmido gera um ritmo dinâmico constante o que se refere à entrada de matéria e energia para os geossistemas locais.

As análises sedimentares levam à conclusão de que a variação climática em meso-escala, condicionada pelo fator sinótico VCAN produz uma complexidade de paisagens relacionadas diretamente com essa circulação. Contudo, dentro da transição entre as paisagens de ambientes úmidos e semiáridos há situações pontuais onde são verificados sinais de excepcionalidade ao contexto climático citado.

As condições topográficas impostas pelos esforços estruturais têm balizado uma caracterização própria para alguns cenários que são descritos como exceções ao contexto regional, de maneira tal que, em relação à dinâmica superficial, tais variações repercutem diretamente no arranjo sistêmico e nas relações de trocas entre matérias e energias para com sistemas adjacentes,

repercutindo diretamente nos regimes de produção, deslocamento e deposição sedimentares.

Os dados obtidos com a análise granulométrica permitiram corroborar as informações cartográficas preliminares e, em conjunto com o produto cartográfico, facilitou a compreensão e caracterização das paisagens inseridas no geossistema bacia do rio Canhoto em um exitoso esforço descritivo.

3.1. Análise Geoquímica

O interesse vinculado ao estudo da análise geoquímica está em buscar informações sobre como os processos em superfície, condicionaram modificações nas estruturas moleculares, em termos de composição, dos elementos presentes no objeto de estudos e, assim, compreender como tem sido marcado o processo de evolução de tais processos em termos ambientais.

Por isso, antes de apresentar os complexos elementares da distribuição geoquímica das amostras, é preciso apresentar as informações do mosaico geológico da área de estudos (Figura 46).

Figura 46: Geologia da bacia do Rio Canhoto



Fonte: O autor (2022).

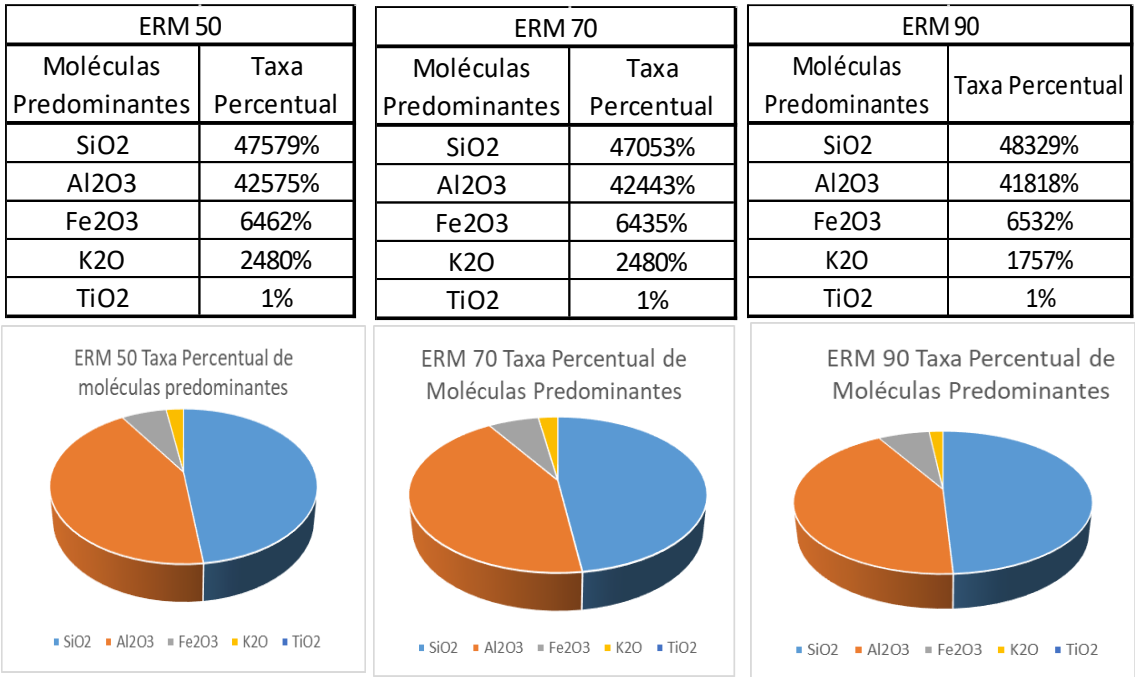
A ampla variedade de granitóides e metagranitóides, ambos ricos em Quartzo (Si_2O), feldspatos ($((\text{K}, \text{Na}, \text{Ca}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_8)$) e migmatitos, cuja composição química apresentada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM – é:

XYZ₂O₆ onde X=Mg, Fe, Ca ou Na, Y=Mg, Fe, Fe³ ou Al e Z=Si com alguma substituição por Al. (CPRM, 2022).

Colocados os materiais que estruturam geologicamente a área de estudos, é natural compreender a presença de elementos em grande proporção como Si, Al e Fe. Para além disso, a interação geoquímica entre os elementos ora colocados, também contribuiu para modificações e até reestruturações moleculares e mineralógicas.

No primeiro caso observado, o ponto ERM situado na zona do Complexo Belém de São Francisco, com presença dominante de metagranitóides, a configuração geoquímica expõe diretamente a origem do material de base nos três pontos de coleta (Figura 47).

Figura 47: Distribuição geoquímica dos principais compostos presentes no ponto ERM.



Fonte: O autor (2022).

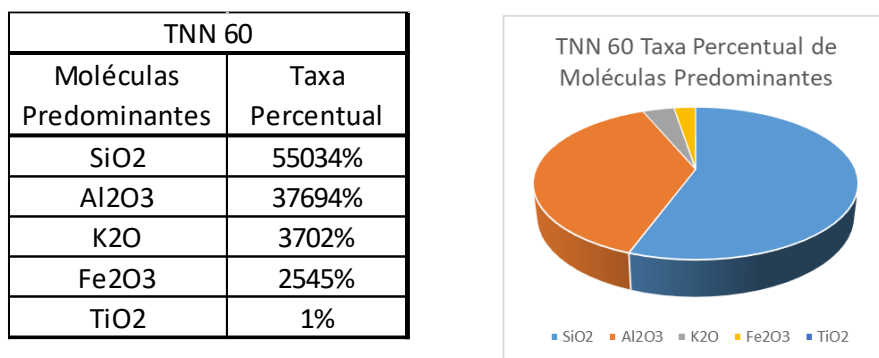
O predomínio de Silício indica solos ácidos, sobretudo nas camadas superiores e quando a percolação do ferro for baixa, seja por pouca flutuação de água entre as camadas do pacote ou pelo elevado índice de potássio que, nas condições de ambiente semiárido, pode desempenhar uma função agregadora, diminuindo a dinâmica interna das moléculas, principalmente em baixa presença de água.

A forte presença de Alumínio, contribui para a compreensão da acidez dos solos, pois, apesar de possuir característica de ser antófero, nesse meio e, principalmente, com a percolação do ferro e água, os Al_2O_3 passam a se comportar de forma ácida. A diminuição do óxido de potássio é conclusiva para a hipótese de que a fluidez hídrica se concentra na superfície, diminuindo o volume das reações químicas à medida em que se aproxima do regolito, indicado na amostra ERM-90.

Finalmente, no ponto ERM-70, a variação nas concentrações de dióxido de silício em detrimento da manutenção dos óxidos de ferros e potássio, reforçam a tese de uma flutuação climática para um momento de maior aridez no período de gênese dessa faixa sedimentar, corroborando com a maior recorrência de reações químicas o que gera uma distribuição menos desigual entre as moléculas detectadas.

Adiante, as análises se voltam para o outro ponto daqueles descritos como presentes em ambientes de maior aridez. O ponto TNN, está em local que, segundo os índices consultados, apresenta menor índice pluviométrico no contexto atual, esse fato deve impactar também a distribuição geoquímica (Figura 48) das moléculas presentes.

Figura 48: Dados geoquímicos para a amostra TNN 60



Fonte: O autor (2022).

Uma vez analisados os dados previamente expostos, é possível perceber a forte concentração de óxidos de silício na amostra investigada. O próprio aspecto do pacote já denunciava tal presença. O aspecto arenoso e tons claros, quase brancos, evidenciam que a concentração de Silício é superior aos demais componentes, bem como, atestam também a baixa presença de ferro.

Uma das possíveis causas, sobretudo para o déficit ferroso está nos baixos índices pluviométricos registrados na área, sendo a mais árida de toda a

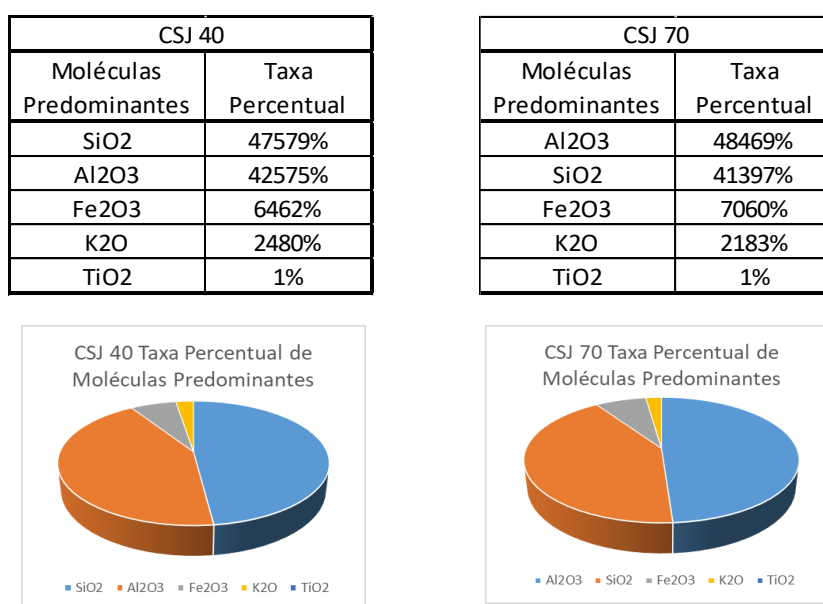
área de estudos. Com pouca água, os óxidos de ferro não se comportam de maneira dinâmica pelo estrato sedimentar, assim, sua concentração se dá nas camadas superiores do depósito, de forma que são eliminados quando da recorrência do evento chuvoso.

Da mesma forma, a presença do óxido de potássio, em proporção mais acentuada que a do próprio ferro, aponta também para baixa intensidade das reações químicas que, por ventura, representariam a quebra das moléculas de potássio, em detrimento da presença de alumínio que, apesar de apresentar menor quantidade do que no ponto anteriormente investigado, funciona como um agente de equilíbrio em relação ao pH do material sedimentar.

A configuração geoquímica desse pacote, é clara no que diz respeito à manutenção do complexo ambiental e climático, desde sua formação. Bem como, na manutenção do arranjo molecular derivado da rocha mãe, pela baixa frequência de reações químicas evidenciados nesse ponto.

Contudo, o local seguinte está situado em um local de cimeira que percebe a presença da umidade de SE. Este fato já indica a diferenciação de características superficiais, como vegetação e distribuição física de sedimentos, além, é claro, do recondicionamento das drenagens. Além destes, há também uma mudança no complexo geoquímico apresentado neste local e exposto adiante (Figura 49).

Figura 49: Dados geoquímicos para as amostras CSJ



Fonte: O autor (2022).

Semelhante ao primeiro ponto analisado, as amostras nessa área apresentam uma configuração que foi percebida como comum aos topos encravados nesses meios semiáridos. Esse arranjo mostra uma presença de óxidos de ferro entre 5% e 10%, como evidência da dinâmica dessas moléculas, inclusive da sua eliminação do sistema. Contudo, apesar de representar moléculas dinâmica nesse sistema, o aumento do ferro na camada inferior também aponta para uma manutenção da água nos pontos de aproximação com o regulito, o que pode indicar que, em paleoambientes que existiram nesse local, a retenção de água era maior, seja pela sua abundância ou pela configuração da morfologia local.

O ponto de coleta, se apresenta próximo à áreas de intenso metamorfismo, com forte presença de muscovita, cuja formatação química ($KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$) evidencia a riqueza de Si e Al, ambos, presentes em arranjos óxidos abundantes por toda área.

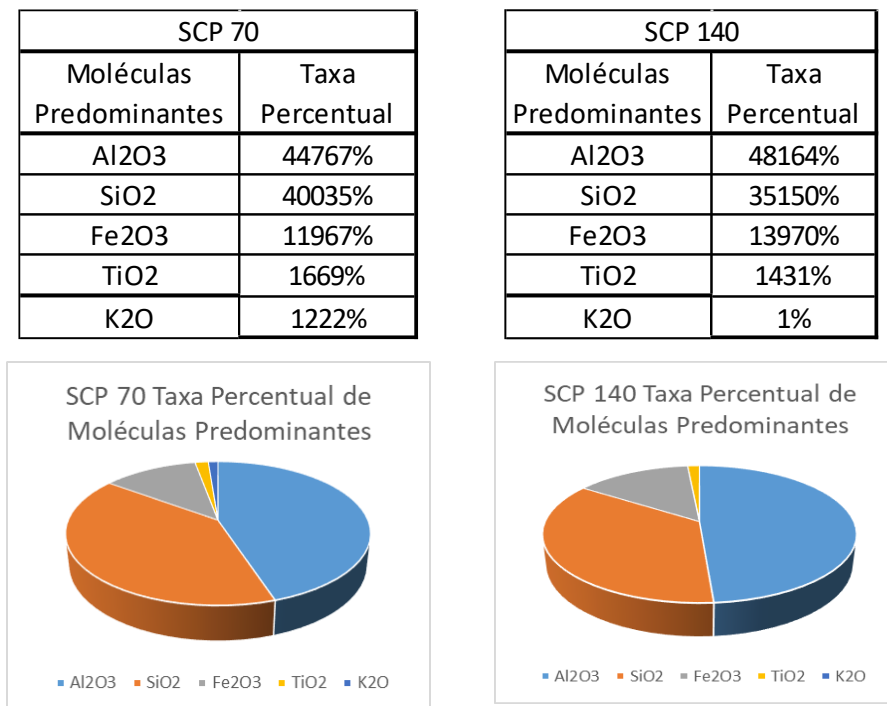
Novamente, a acidez regional marca presença de destaque, sobretudo, pela relação sinérgica dos óxidos de ferro com os elementos predominantes, mas é importante atentar para o fato de que o decaimento na concentração de K_2O pode sugerir que os índices pluviométricos aumentaram com o passar do tempo, sendo que no momento de gênese do pacote sedimentar, a característica do paleoambiente aponta para uma menor dinâmica do fluxo nas camadas inferiores, próximas à zona terminal da deposição.

Finalmente, o ponto de maior destaque nessa amostragem, se dá na inversão da presença de Al_2O_3 e SiO_2 . Este fato incomum pode estar relacionado com a fonte de elaboração dos sedimentos analisados, uma vez que o metamorfismo associado aos granitos não passou pela completude do ciclo, dando origem a diversos arranjos distributivos no tocante a sua configuração química.

Por fim, o último ponto de coleta se encontra em um domínio ambiental diferente dos demais, seja pela altitude ou pelo arranjo climático, uma vez que se trata de um local terminal da bacia, bastante próximo à sua desembocadura, a topografia apresenta um desnível de até 700 m com relação cabeceira da drenagem, da mesma forma, o nível pluviométrico atual, é superior às demais áreas da bacia em até 1000 mm/ano. Tais fatos parecem ter impactado

diretamente o complexo geoquímico (Figura 50) das amostras sedimentares coletadas nessa região.

Figura 50: Dados geoquímicos das amostras SCP



Fonte: O autor (2022).

Petrograficamente, não há grande diferenciação com relação aos componentes químicos presentes nos materiais analisados em todos os locais de amostragem, contudo, a distribuição de tais componentes nesse último ponto de análise representa uma significativa mudança no paradigma geoquímico.

A primeira mudança é a forte presença de Al₂O₃ em detrimento da quantidade de SiO₂. Estruturalmente, a alta concentração de Al parece ter relação com a base rochosa, uma vez que os níveis aumentam em de acordo da profundidade.

A análise aponta ainda que, à medida que se desenvolve o intemperismo, os óxidos de Al e Fe, apresentam tendência de eliminação do sistema, permitindo a participação mais significativa de outras moléculas, tais como óxidos de Si e K.

O aumento da umidade no sistema também parece modificar as dinâmicas internas do pacote sedimentar, uma vez que a concentração de Fe significativamente superior com o aumento da profundidade da amostra. Por

essa ótica, a manutenção de água no sistema, em se tratando de um arranjo diferente do semiárido, permitiu a concentração do elemento em níveis superiores a 10%, mesmo que em um cenário de perda nas faixas superiores.

A presença do Fe em evidência, é percebida na própria observação da coloração superficial dos solos e pacotes sedimentares, onde os tons vermelhos variam em intensidade, mas não em ocorrência, sendo distribuídos por toda a região analisada.

Adiante, outra mudança em relação aos demais pontos estudados se dá pela ocorrência diminuta do K_2O . A composição química dos materiais de base aponta a presença desses elementos na estrutura, em que pese sua participação menos significativa nas áreas mais próximas ao regolito, a baixa recorrência mesmo no ponto próximo à superfície onde foi possível observar um acréscimo de sua participação é entendido aqui como resultado da fluidez mais presente de água no ambiente estudado, inclusive, por apresentar essa características desde o processo de gênese do pacote sedimentar ora observado, o que é corroborado com os dados previamente expostos.

Em resumo, após a apresentação dos resultados obtidos com a análise geoquímica, fica evidente que a configuração climática apresentou variação de um contexto de maior para menor aridez, de uma forma geral, contudo, há locais em que tal mudança foi pouco percebida. As áreas ao norte, tanto estrutura quanto arranjo climático favorecem o desenvolvimento de solos arenosos com predominância do silício. Este fato, aumenta a capacidade de infiltração da água, potencializando o desenvolvimento de erosões lineares associados a eventos extremos de precipitação.

Nas áreas de topos, a manutenção da umidade se mostrou mais presente, de forma tal que, houve formação de acúmulos de ferro, mesmo em detrimento do regime de semiaridez, colaborando para o desenvolvimento de superfícies suavizadas, sobretudo nas áreas imediatamente adjacentes aos pontos de culminância topográfica.

A análise geoquímica ainda permitiu observar a flutuação de argilominerais pela estrutura do pacote sedimentar em pontos onde a presença da água é mais significativa, colaborando para o desenvolvimento de um sistema de patamares elaborados nas rampas de colúvio presentes nas áreas observadas. Este fato, por sua vez, coadunado com o contexto morfotectônico,

principalmente nos pontos de recorrência dos principais sistemas de falhas, teve relevância contumaz para potencializar o aprofundamento das drenagens que, nas áreas de topo, evidenciaram a presença de cristas de Gnaisses e metagranitóides, enquanto que na zona terminal da bacia representou a dilatação no gradiente topográfico entre topos e fundos locais.

3.2. Datação por Luminescência Opticamente Estimulada – LOE

Como dito em capítulos anteriores deste trabalho, a técnica de obtenção de idades de materiais sedimentares através da Luminescência Opticamente Estimulada – LOE –, corresponde a um dos processos que envolvem maior precisão e acurácia dentre os métodos conhecidos atualmente do trabalho de investigação e reconstrução ambiental.

Deste fato decorrem algumas informações que devem ser resgatadas mas que já foram alvo de esclarecimentos em recortes anteriores. São elas: Quanto maior for o período registrado pela amostra, maior é intervalo de precisão temporal, além disso, todo processo de investigação temporal apresenta uma vulnerabilidade à intercorrência de outros elementos que possam gerar ruídos.

Apesar disso, o método apresentado é ainda o mais eficaz em se tratando de obtenção de idades de sedimentos como finalidades de reconstrução de ambientes, pois consegue, com relativa precisão identificar o momento deposicional de componentes que estão na paisagem em uma escala temporal de 10^4 e até 10^5 .

Isto posto, seguem as apresentações dos resultados obtidos para a investigação das idades dos pacotes sedimentares em pontos espaçados da Bacia do Rio Canhoto.

- **CSJ-60**

O primeiro ponto encontra-se em uma área de cimeira, próxima ao limite sul da bacia, em um trecho intermediário. O local se configura como um vale fechado enclausurado por cristas de metagranitóides e gnaisses. O ponto de coleta se trata de uma vertente aberta próxima ao fundo do vale local, com um pacote sedimentar inferior à 100cm e intercorrência de clastos aleatórios derivados do regolito timidamente alterado.

Observa-se nos dados gerais da amostra (tabela 7) que a avançada idade trás consigo uma confirmação de que os desgastes eventualmente promovidos por mudanças climáticas dentro do pleistoceno superior e holoceno, não representaram grandes modificações nos controles climáticos locais, pois a idade de 100 mil anos, diferentemente do apresentado nesse sistema, representou aos ambientes adjacentes, sobretudo àqueles sob condições climáticas mais vulneráveis às mudanças, significativas alterações morfológicas, sobretudo na taxa e característica dos processos sedimentológicos.

Tabela 7: Tabela amostral de idade para o material CSJ-60

Informações Gerais da Amostra	
Código da amostra:	CSJ60
Sítio de coleta:	São João
Informações adicionais:	
Tipo de amostra:	Sedimento
Profundidade:	0.6 m
Preparação da amostra	
Grãos de (quartzo / feldspato):	feldspato
Tamanho dos grãos final utilizados para datação:	20 e 38 μ m
Determinação da dose acumulada	
Método de datação:	OSL (IRSL: Estimulação com luz azul)
Protocolo:	SAR
Paleodose (Gy):	548.78 $\pm$ 25.55
Determinação da Taxa de dose anual	
Teores de urânio, tório e potássio (U-238; Th-232, K-40)	
Dose interna	Dose externa
U-238 (ppm): 0	U-238 (ppm): 2.97 $\pm$ 0.29
Th-232 (ppm): 0	Th-232 (ppm): 22.67 $\pm$ 2.3
K-40 (%): 0	K-40 (%): 1.59 $\pm$ 0.16

Fatores de atenuação das partículas (α e β) e da radiação γ			
Dose interna		Dose externa	
Kα:	0.08 ± 0.02	Kαα(Th-232):	0.44
Kβ (U-238):	0.048	Kβ (K-40):	0.52
Kγ (Th-232):	0.063	Kγ (U-238; Th-	-
Kγ (K-40):	0.011	232 e K-40):	
Teores de água			
Wet ou saturada (W):		0.421	
Fração (F = D/W):		0.097	
Taxa de dose Anual (αGy/a):		3067.7 ± 169.3	
Determinação da Idade			
IDADE (kanos):		114.6 ± 8.26	

Fonte: Laboratório de Datação – MAP-UFPE.

A temporalidade marcada neste depósito, especificamente, ainda que apresentando ruído, aponta para uma manutenção climática desde o pleistoceno, ao menos, no que toca o microclima ao qual está associado o pacote. Dessa forma, é possível indagar que desde a formação do depósito, ou seja, desde a última reorganização climáticoambiental, essa zona não apresentou grandes transformações decorrentes da dinâmica climática global.

Em outras palavras, o marco genético desse sistema aponta para o desenvolvimento do último máximo glacial, sem que as flutuações climáticas menos intensas, que afetaram os sistemas adjacentes, tenham representado pontos de grandes modificações neste local especificamente, corroborando com a pouca ou nula alteração morfológica local.

Outrossim, o fato exposto pode representar, em uma percepção dialógica mas não totalmente antagônica, as mudanças climáticas mais significativas, como o desenvolvimento do atual período interglacial, tenham removido do sistema os vestígios de formações anteriores, as quais quase teriam sido arrasadas pela nova dinâmica local.

Essa última indagação é passível de correlação com o agravamento da situação de semiáridade, muito embora, os dados analisados em outras áreas da bacia, apontem para o contrário, a dinâmica dos sistemas atmosféricos presentes na

área pode criar microambientes de exceção. Essa perspectiva, apesar de possível, parece menos provável do que a indagação prévia.

Seguindo com a exposição dos resultados das idades obtidos nessa investigação, o ponto seguinte encontra-se em uma zona de maior umidade, onde existem pacotes sedimentares mais proeminentes e a configuração ambiental aponta para um complexo relacionado com o clima do Brasil tropical leste.

- SCP

As idades obtidas com o ponto SCP – 70 (tabela 8) trazem para o estudo, as informações de construção morfológica relacionados com a transição do pleistoceno superior para holoceno.

Tabela 8: Tabela amostral de idade para o material SCP-70.

Informações Gerais da Amostra	
Código da amostra:	SCP70
Sítio de coleta:	SCP - Canhotino
Informações adicionais:	
Tipo de amostra:	Sedimento
Profundidade:	0.7 m
Preparação da amostra	
Grãos de (quartzo / feldspato):	feldspato
Tamanho dos grãos final utilizados para datação:	20 e 38 μ m
Determinação da dose acumulada	
Método de datação:	OSL (IRSL: Estimulação com luz azul)
Protocolo:	SAR
Paleodose (Gy):	71.8 $\pm$ 7.12
Determinação da Taxa de dose anual	
Teores de urânio, tório e potássio (U-238; Th-232, K-40)	

Dose interna		Dose externa	
U-238 (ppm):	0	U-238 (ppm):	2.97 ± 0.29
Th-232 (ppm):	0	Th-232 (ppm):	22.67 ± 2.3
K-40 (%):	0	K-40 (%):	1.59 ± 0.16
Fatores de atenuação das partículas (□ e □) e da radiação □			
Dose interna		Dose externa	
K□:	0.08 ± 0.02	K□□(Th-232):	0.44
K□ (U-238):	0.048	K□ (K-40):	0.52
K□ (Th-232):	0.063	K□ (U-238; Th-232	-
K□ (K-40):	0.011	e K-40):	
Teores de água			
Wet ou saturada (W):		0.580	
Fração (F = D/W):		0.136	
Taxa de dose Anual (□Gy/a):		2848.9 ± 114.3	
Determinação da Idade			
IDADE (kanos):		15.78 ± 1.59	

Fonte: Laboratório de Datação – MAP-UFPE.

O pacote coletado a 70cm indica uma idade de 15 mil anos, com variação de cerca de 1,5 mil anos para mais ou menos. Esse fato aponta para a uma relação de produção erosiva mais significativa no holoceno.

A mudança ambiental evidente com o aquecimento global e o maior volume de água na atmosfera das faixas tropicais, apontam para aumento dos pacotes sedimentares depositados nessa área. Como uma espécie de resposta ao possível crescimento da cobertura vegetal, o que denota uma diminuição significativa da perda dos materiais superficiais e sua preservação dentro do sistema.

O sistema de quebra da superfície, pela chuva, no chamado efeito “splash”, perde sua capacidade à medida que a vegetação evolui. O crescimento da vegetação em uma condição climática que mantenha a cobertura em níveis de manutenção de sistemas arbóreos explicaria a retenção dos sedimentos nas áreas adjacentes às zonas de produção. O cenário contrário, ou seja, dentro do contexto de semiáridade, é natural a eliminação das partículas finas de forma mais

acelerada, o que impacta diretamente na retenção dos granulos maiores, uma vez que os óxidos de ferro e de potássio têm a capacidade de agregar materiais mais pesados, formando “pontes” moleculares, pelas suas propriedades magnéticas.

O ponto SCP-140 apresenta uma distância, em termos de aprofundamento, com relação ao ponto SCP-70 equivalente à que esse possui, em relação à superfície do pacote. Isso quer dizer que, em tese, o tempo de produção do depósito sedimentar, em condições de manutenção das características ambientais, deveria apresentar equivalência entre ambos pacotens, contudo, o que se percebe a partir das informações obtidas na sua contagem (Tabela 9) é que há significativa diferença entre ambos.

Tabela 9: Tabela amostral de idade para o material SCP-140

Informações Gerais da Amostra	
Código da amostra:	SCP140
Sítio de coleta:	SCP - Canhotinho
Informações adicionais:	
Tipo de amostra:	Sedimento
Profundidade:	1.4 m
Preparação da amostra	
Grãos de (quartzo / feldspato):	feldspato
Tamanho dos grãos final utilizados para datação:	20 e 38 μ m
Determinação da dose acumulada	
Método de datação:	OSL (IRSL: Estimulação com luz azul)
Protocolo:	SAR
Paleodose (Gy):	312.57 $\pm$ 30.79
Determinação da Taxa de dose anual	
Teores de urânio, tório e potássio (U-238; Th-232, K-40)	
Dose interna	Dose externa

U-238 (ppm): 0	U-238 (ppm): 2.97 ± 0.29
Th-232 (ppm): 0	Th-232 (ppm): 22.67 ± 2.3
K-40 (%): 0	K-40 (%): 1.59 ± 0.16
Fatores de atenuação das partículas (α e β) e da radiação γ	
Dose interna	Dose externa
K_α : 0.08 ± 0.02	$K_{\alpha\alpha}$ (Th-232): 0.44
K_β (U-238): 0.048	K_β (K-40): 0.52
K_γ (Th-232): 0.063	K_γ (U-238; Th- -
K_γ (K-40): 0.011	232 e K-40):
Teores de água	
Wet ou saturada (W):	0.541
Fração (F = D/W):	0.206
Taxa de dose Anual (α Gy/a):	2771.4 ± 173.4
Determinação da Idade	
IDADE (kanos):	71.16 ± 7.23

Fonte: Laboratório de Datação – MAP-UFPE.

Por um cálculo simples, se foram construídos 70cm de pacote sedimentar em 15 mil anos, é de se supor, portanto, que o material coletado com o dobro dessa profundidade, apresentasse o dobro da idade, contudo, a datação obteve uma idade quase 5 vezes maior.

A diferença nesse caso, pode ser explicada por alguns fatores gerais, porém, ao que parece, a retenção do material parece, de fato, ter evoluído entre deste ciclo interglacial, em que pesem as flutuações pontuais e, mesmo que o ambiente em voga tenha percebido tais variações, do ponto de vista da produção sedimentar, o ciclo erosivo dentro do contexto do último máximo glacial, aponta para a eliminação do material elaborado, aos moldes de um sistema onde a aridez é suficiente para haver remoção da vegetação em superfície e, com isso, aumentar a dinâmica sedimentar local.

Por fim, devido à falta de material disponível para coleta, uma vez que os pacotes sedimentares dificilmente ultrapassavam 50 cm nas áreas investigadas, em um esforço para consolidar o máximo de informações temporais possíveis, foi feito o resgate dos dados geocronológicos do trabalho desenvolvido por Lima

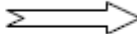
(2014), em parte da área de estudos, com obtenção de idades, pelo mesmo método, em um ponto presente na bacia do Rio Canhoto. Desta feita, de forma sucinta, os dados serão exibidos.

- BV

O trabalho desenvolvido nos ultimos anos envolveu grande complexidade, no tocante às áreas de estudos, bem como no desenvolvimento das metodologias, porém, os resultados podem ser utilizados como fonte de dados, quando oportuno. Neste caso, as amostras foram coletadas em uma área de topo, na base de uma vertente, na cimeira mais elevada da região, a uma altitude próxima aos 1000m.

As condições ambientais do presente apontam para a configuração de um brejo, de exposição à umidade de SE. Assim, as informações geocronológicas (tabela 10) apresentam dados que podem indicar situações específicas para esse arranjo.

Tabela 10: Tabela amostral de idade para o material BV - 100 e BV - 45.

4075	BV - 100 cm	1.420 ± 80	12,2	8.580 ± 910
	DESVIO PADRÃO		2,2	
4076	BV - 45 cm	1.250 ± 75	6,9	5.540 ± 620
	DESVIO PADRÃO		1,6	

Fonte: Lima, 2014.

Os dois pontos coletados no perfil anteriormente exposto, aos 45cm e aos 100cm de profundidade, respectivamente, resgatam a ideia de que os pacotes sedimentares tendem a aumentar com o desenvolvimento do holoceno, uma vez que a retenção dos fluxos no sopé das vertentes possibilita o acúmulo progressivo.

Dessa forma, a elaboração dos registros sedimentares na paisagem serão tão mais presentes quanto for presente uma diferenciação entre as épocas a partir do comportamento dinâmico do clima dentro de cada período.

4. Condicionantes Morfoestruturais e a Neotectônica Regional

A análise das condições morfoestruturais, como já dito, tem um papel fundamental na interpretação dos processos morfológicos em superfície, uma vez que tais condicionantes podem funcionar como controles direcionais dos processos físicos e, eventualmente, químicos. Assim, foram analisados os pontos de anomalias da Relação Densidade-Elevação (tabela 11), a fim de perceber locais de transição no ordenamento do contexto geotectônico local.

Tabela 11 - Tabela com os dados da RDE para a bacia do rio Canhoto, Pernambuco.

Relação Densidade-Elevação do Rio Canhoto						
Isoípsas (m)	L trecho (m)	Δh (m)	Δl (m)	L (m)	RDE trecho (graus/m)	RDEtrecho/RDEtotal
870	0	0	0	0	0	-
850	1161	20	1001	1993	40	0,41
830	949	20	940	2942	63	0,64
810	1279	20	1273	4221	66	0,68
790	1925	20	1721	6146	71	0,74
770	463	20	395	6609	335	3,44
750	3430	20	2666	10039	75	0,78
730	1452	20	1443	11491	159	1,64
710	5886	20	5498	17377	63	0,65
690	3578	20	3335	20955	126	1,29
670	5145	20	4756	26100	110	1,13
650	7689	20	4041	33789	167	1,72
630	7994	20	5562	41783	150	1,55
610	6221	20	4461	48004	215	2,22
590	576	20	572	48580	1699	17,48
570	4655	20	3987	53235	267	2,75
550	3641	20	2900	56876	392	4,04
530	7135	20	5546	64011	231	2,38
510	5094	20	4201	69105	329	3,39
490	6333	20	4145	75438	364	3,75
470	2395	20	2023	77833	769	7,92
450	3984	20	2031	81817	806	8,29
430	1962	20	1734	83779	966	9,95
410	1945	20	1735	85724	988	10,17
390	2673	20	2396	88397	738	7,59
RDE Total <u>97,16</u>						

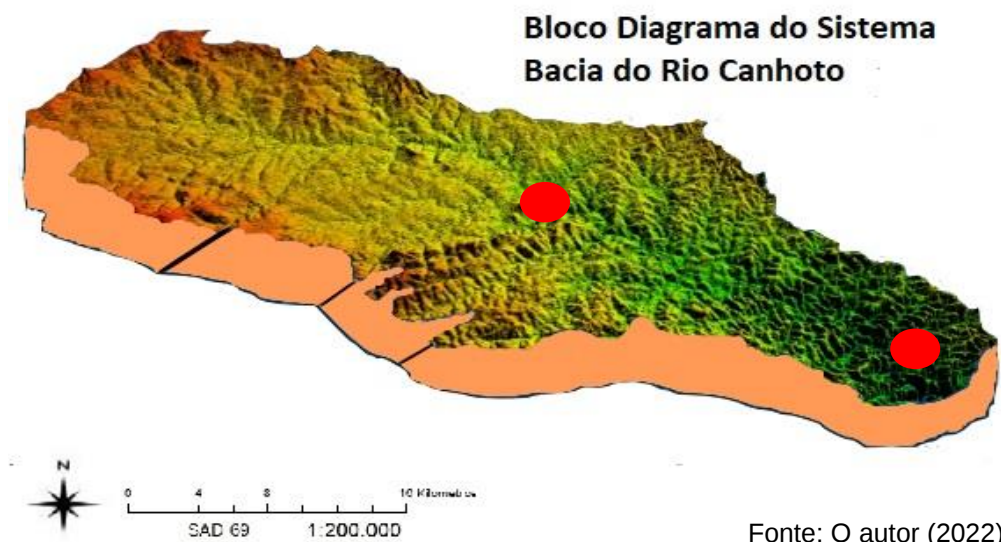
Fonte: O autor (2022).

Os dados ora exibidos trazem 25 secções de patamares altimétricos onde o primeiro patamar é considerado o “0” da contagem, assim, sendo contabilizados 24 patamares. A variação topográfica total da ordem de 480m, enquanto o percurso total da drenagem ficou estabelecido em pouco mais de 88km. Foram identificadas 15 anomalias sendo 6 de primeira ordem e 9 de segunda ordem. Dessas, apresentam-se destoantes do arcabouço regional, 4 anomalias, onde três são de primeira ordem e uma de segunda ordem.

Neste caso, após a identificação das duas anomalias associadas ao RDE, dentro do canal central da drenagem, foram especulados os processos causadores de tais anomalias e, com isso, vinculado à mudança no controle morfoestrutural a partir de um comportamento recente das zonas dinâmicas.

Todo processo sistêmico possui uma cadeia de eventos que se relaciona com outro sistema ou com outro processo desse sistema, assim, quando são identificadas anomalias pressupõe-se que houve uma interrupção do processo em voga, seja pela modificação do sistema, seja pela inserção de novos processos àqueles previamente existentes. Dessa forma, quando se observa o bloco diagrama do sistema bacia do Rio Canhoto (Figura 51) é fácil compreender que há uma ruptura na zona central da bacia, uma vez que a mudança no paradigma da verticalização das drenagens gera resultados facilmente perceptíveis na continuidade das drenagens em direção à desembocadura.

Figura 51: Bloco diagrama do geossistema Bacia do Rio Canhoto, com marcação dos pontos de anomalias.



Fonte: O autor (2022).

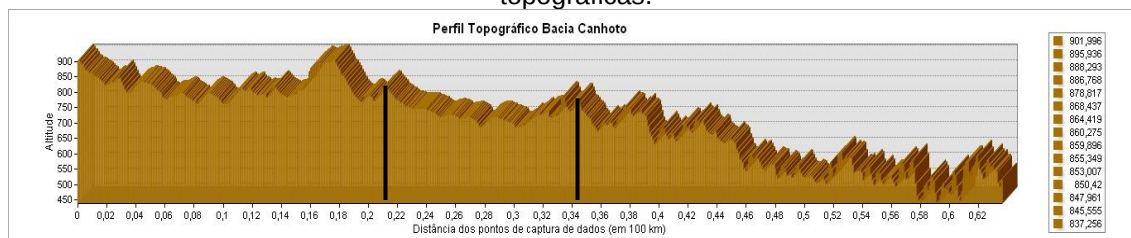
Essa mudança de paradigma se torna tão mais evidente quanto for maior o volume de precipitações que, por sua vez, contribuem para aumentar a velocidade de fluxo hídrico, desta forma, as duas potências atuam de maneira coadunada na promoção de ganho de força no deslocamento da energia dentro desse sistema.

Tal mecanismo contribui para aumentar o poder de erosão do fluxo hídrico e com isso, aprofundar os vales bem como promover maior recuo nas vertentes. Nesse cenário, os ganhos de acúmulo dos pacotes sedimentares de encosta são também elevados, uma vez que com maior produção, mesmo que derivado de maior intensidade do fluxo, decorre-se também que os momentos de diminuição dos fluxos serão mais recorrentes e, com isso, eleva-se o potencial de deposição nas zonas de menor inclinação locais. É importante entender estas zonas como sopés de vertentes e pequenos terraços.

Dentro dessa perspectiva, salienta-se ainda que os processos endógenos são capazes, não só, de potencializar a velocidade do escoamento, como também de controlar o seu direcionamento.

Com isso, observa-se a relação entre a componente hidrográfica e o direcionamento do fluxo hídrico canalizado (Figura 52) com a verticalização decrescente no sentido O-L em que os dois pontos com anomalias na RDE apresentam duas quebras no plano da inclinação, criando uma espécie de “degrau” topográfico intermediário, entre as áreas de topo e de rebaixamento.

Figura 52: Perfil topográfico da Bacia do Rio Canhoto, com marcação das discontinuidades topográficas.



Fonte: O autor (2022).

Esse patamar intermediário, representa uma suavização das formas, inclusive com relação às cabeceiras adjacentes, levando a corrente a uma quebra na rotina do deslocamento de água. Uma das marcas que atestam essa

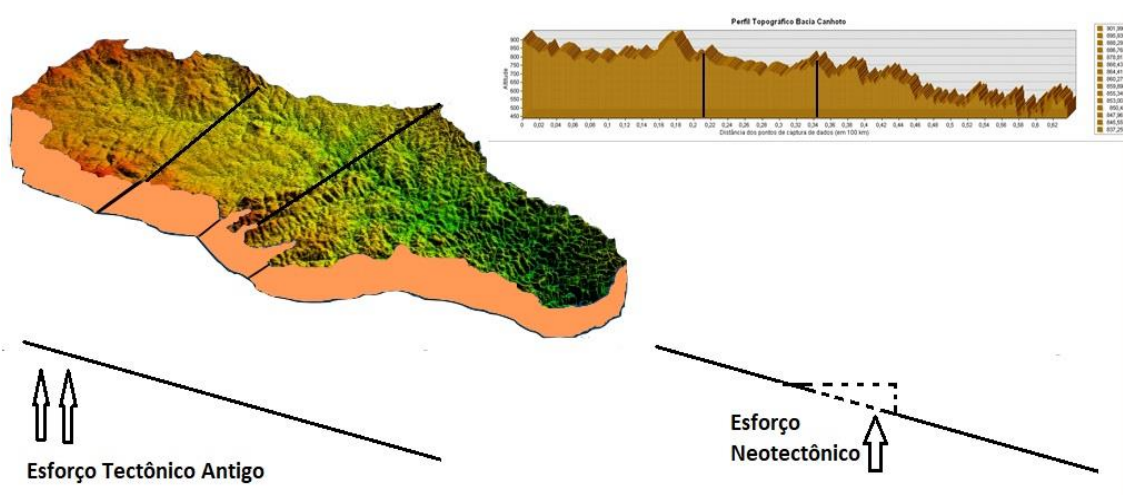
percepção se dá pela presença de dois pontos de meandros, com estagnação de água, sobretudo no período de transição entre as fases úmidas e secas.

A ruptura no padrão de escoamento é entendida, portanto, como uma ruptura na dinâmica morfotectônica, gerando assim, a interrupção do comportamento hidrodinâmico nos dois compartimentos adjacentes.

De muitas formas, essas mudanças de padrão, que impactam de forma direta o comportamento das drenagens, representam alterações no comportamento dos mecanismos internos da região, já que estando presentes em uma zona de cisalhamento que percorre de forma perpendicular ao direcionamento da corrente hídrica, sua presença se comporta como uma mudança no encaixe estrutural, ao passo que seu comportamento dinâmico, frequentemente mencionado em noticiários locais, atua como agente de controle, nesse ponto, inserindo um ponto de quebra à dinâmica comum de deslocamento de água da cabeceira à NO para a desembocadura à SE.

A ideia que se depreende, dessa forma, é que a zona de cisalhamento PE-AL tem promovido a inserção de um nível de base local, pelo soerguimento dos blocos relacionados com a sua presença. O esquema a seguir (Figura 53) representa apenas o conceito inicial dessa concepção.

Figura 53: Esquema com a mudança de paradigma da elaboração morfotectônica controlada pela dinâmica do cisalhamento PE-AL.

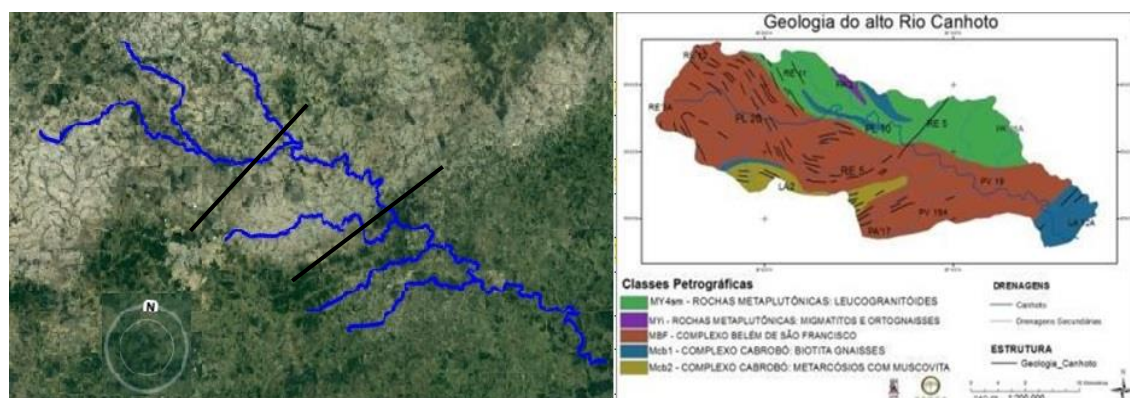


Fonte: Autor (2022)

Não obstante o redirecionamento dos fluxos pelo esforço físico, há ainda implicações desse processo em outras dinâmicas. Uma das quais, se dá pela relação com a característica climática da área pois com a diminuição da força de arrasto, os canais presentes no patamar intermediário comportam-se como zonas terminais para o deslocamento dos sedimentos, formando represas e zonas pantanosas que são aproveitadas economicamente pela população local, porém, também se comportam como áreas de assoreamento, o que favorece o desaparecimento de sistemas de drenagens menos resilientes, percebe-se nesse ponto, a maior parte dos cursos secundários ao sistema Rio Canhoto está presente de forma mais significativa nas áreas adjacentes.

A imagem seguinte (Figura 54) ilustra essa concepção retratando em paralelo que a diversidade petrográfica permanece latente em todas as faixas do sistema sendo, inclusive, semelhante em todas as fases do mesmo sistema, especificamente no que tange ao complexo Belém de São Francisco.

Figura 54: Direcionamento da drenagem e composição estrutural do sistema Bacia do Rio Canhoto.



Fonte: O autor (2022).

Desta forma, parece claro concluir que o direcionamento de fluxo, no caso do sistema Bacia do Rio Canhoto, obedece ao controle estrutural e, além disso, marca a recorrência de um sistema neotectônico relacionado com a ativação da zona de cisalhamento PE-AL, reposicionando a topografia de forma ascendente. O trabalho de Lima, *et al.* (2016) já havia estabelecido relação entre a variação topográfica e mudanças nos índices climáticos de temperatura e precipitação.

Porém, o que se percebe nesse momento é que a dinâmica neotectônica do lineamento PE-AL tem conseguido não só influenciar a distribuição de fatores ambientais como também processos físicos responsáveis por uma configuração

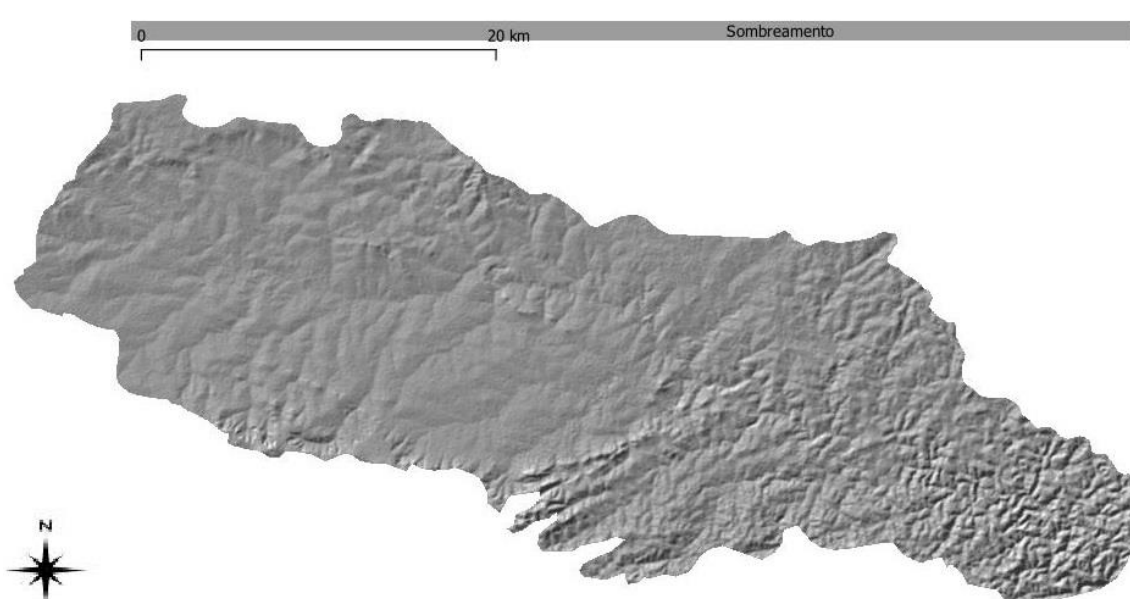
microrregional nas morfologias presentes no sistema, de forma direta, no patamar intermediário sendo, inclusive, sua existência, entendida como resultado direto da atuação desse lineamento.

Atenuando o escoamento, a tendência normal é que os processos de erosão, transporte e sedimentação sejam também impactados, o resultado desse impacto está diretamente relacionado com a diminuição das feições erosivas. Fato curioso na região, cuja algumas cidades apresentam grande vulnerabilidade com relação à formação de voçorocas, com recorrência nas áreas de cimeira, tal processo não se mostra comum nas áreas onde a ascensão local dos blocos tem gerado a diminuição dos fluxos.

Com relação aos processos sinérgicos derivados desse fenômeno, um dos elementos mais perceptíveis se dá pela eliminação dos finos e manutenção das partículas arenosas, esse processo gera como resultado, o desenvolvimento de solos quartzosos associados à perda progressiva dos nutrientes. Eventualmente, há formação de praias nas margens das drenagens mais proeminentes, bem como dos diversos lagos e açudes gerados pela estagnação periódica da água.

A imagem seguinte (Figura 55) ressalta a diferença das formas no que toca a verticalização das vertentes, gerado pelo aprofundamento dos vales, agravado pela subida dos níveis na faixa do lineamento PE-AL.

Figura 55: Sombreamento sendo aplicado como técnica de identificação da inclinação das vertentes no sistema Bacia do Rio Canhoto.



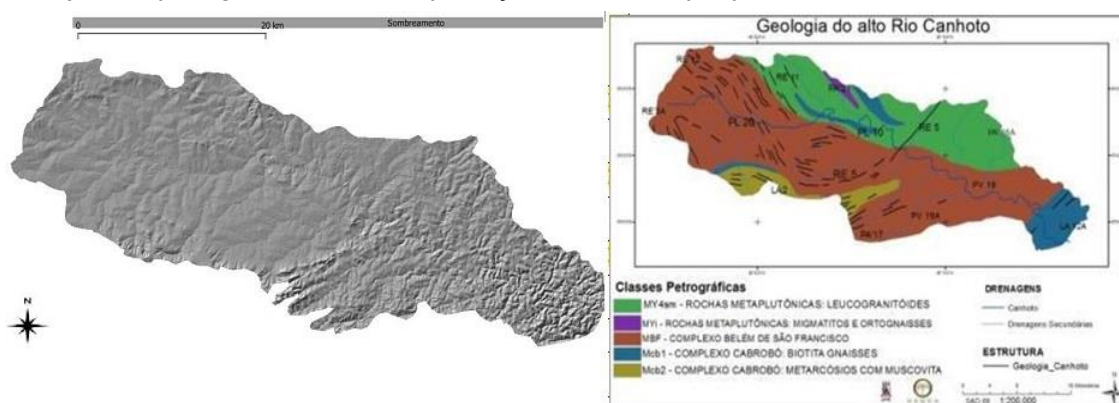
Fonte: O autor (2022).

Com o aumento progressivo da topografia há tendência de aumentar o processo de destruição gerado pelas drenagens canalizadas, uma vez que tais drenagens precisarão de mais força de deslocamento na busca pelo nível de base que, relacionado a superfície da zona soerguida, apresentam-se cada vez mais distantes.

Não apenas o fluxo hídrico, mas também a força de arrasto de sedimentos se torna maior, daí a decorrência de desenvolvimento de pacotes sedimentares mais proeminentes nas áreas de sopé das vertentes, sobretudo naquelas relacionadas com os fundos de vales locais, este último fato possui comprovação ainda pela investigação de campo que identificou uma clara mudança no padrão deposicional com presença de 3 ou 4 vezes em tamanho, os perfis identificados nas áreas SE em relação às áreas intermediárias.

A última comprovação do controle neotectônico desse processo pode ser exposta com a relação entre a verticalização das vertentes e a estrutura petrográfica, pois, uma vez que há modificação no processo de aprofundamento erosivo sem alteração da estrutura, reste atribuição do controle de modificação do processo pela alteração topográfica (Figura 56).

Figura 56: Relação das dinâmicas erosivas de construção das feições aprofundadas dos vales e a conjuntura petrográfica como comprovação de controle por parte do lineamento PE-AL.



Fonte: O autor (2022).

As feições são também alteradas pelas condições químicas e estas, por sua vez, obedecem aos fatores ambientais, como os elementos presentes nas rochas e nos componentes bióticos, a temperatura e a presença de água, estes últimos agindo como catalizadores para reações químicas.

No trabalho de Lima, *et al.* (2016) são apresentados dados que fundamentam essa afirmação em que tal relação fica estabelecida pela relação entre a topografia e a configuração pedológica. Os autores resgatam o contexto topográfico da bacia e sua peculiaridade por transitar entre dois ambientes bem específicos, com características marcantes e um aspecto antagônico, no que tange o volume das precipitações.

O trabalho mencionado fez parte do escopo produtivo desta pesquisa, compondo parte determinante dos resultados conclusivos, assim, sua contribuição é valiosa e passa a ser resgatada nesse momento. A exposição é marcada pela atuação da dinâmica neotectônica contribuindo sobremaneira para ajustar os processos físico-químicos em superfície relativizando em um primeiro momento a característica térmica (tabela 12) de alguns pontos da bacia.

Tabela 12: Dados de temperatura média e precipitação em municípios da bacia do Rio Canhoto.

Temperatura média			
Município	Máx. Média	Mín. Média	Precipitação mm/ano
Capoeiras	26,1	15,6	669
Jucati	26,5	15,5	711
Garanhuns	26,2	17,2	873
Angelim	28	18,1	903
Canhotinho	28,3	19,5	1034

Fonte: Lima *et al.* (2016).

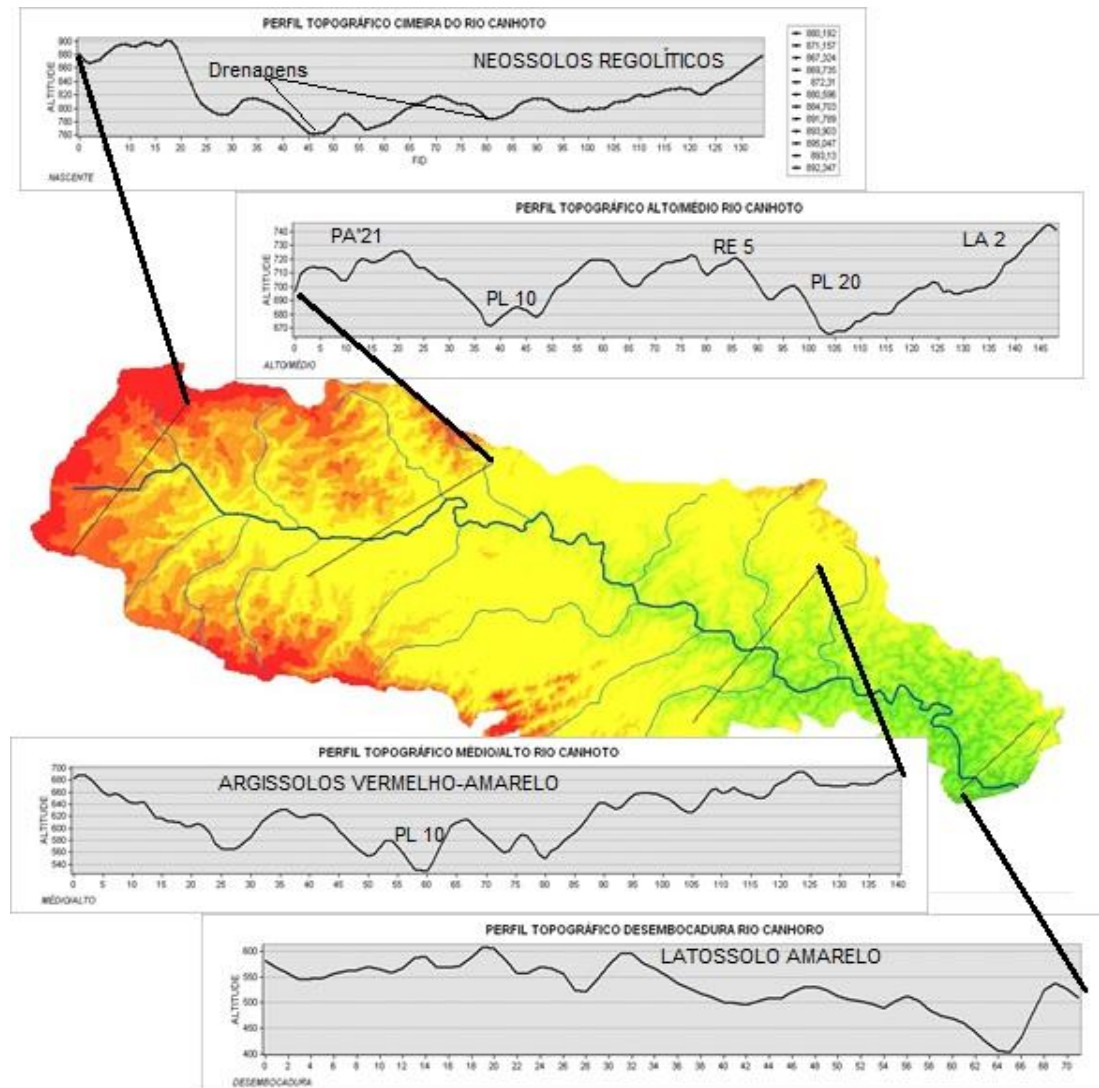
A tabela apresenta uma configuração climática que reflete a condição topográfica limitando o calor no trecho NO, dados patamares altimétricos elevados. Isto posto, reflete-se que a variação de umidade é bem mais significativa na porção SE, ou seja, na fase terminal do sistema.

A amostragem desses dados serve para concluir que os processos pedogênicos são potencialmente afetados pela característica topográfica, de forma tal que, a ativação de tais processos beneficia o desenvolvimento de solos menos desenvolvidos nas áreas mais elevadas, enquanto apresentam perfis pedológicos mais desenvolvidos em ambientes menos elevados, coincidentemente, também os ambientes mais úmidos.

Finalmente, a exposição do fato conclusivo, a imagem seguinte (Figura 57) apresenta as condições de aprofundamento das redes de drenagem em zonas fora da área intermediária em que há menor inclinação do sentido NO-SE,

fica evidente os pontos de aprofundamento dos vales, independente das estruturas pedológicas incluindo naquelas, cujos perfis estejam pouco desenvolvidos.

Figura 57: Relação entre a variação da inclinação dos patamares e o aprofundamento das drenagens em detrimento da distribuição pedológica.



Fonte: Lima *et al.* (2016).

Os dados apresentados indicam que a topografia condiciona microambientes controlando a atuação de processos físicos e químicos em superfície alterando o regime de elaboração intemperismos, elaboração pedogenética e produção sedimentar. O controle neotectônico também possui presença marcante ajustando o patamar intermediário na topografia regional, limitando a dinâmica dos fluxos hídricos superficiais, em um claro controle nos movimentos presentes nos processos superficiais.

Enquanto isso, essa complexa relação evidencia a falácia da formação de brejos relacionados unicamente à altitude, direcionando esse processo, de forma muito mais contundente, para a morfologia dos patamares elevados, uma vez que nesse contexto a manutenção da presença de água se dá pela exposição à entrada da precipitação de acordo com o sistema sinótico local e pelo arranjo de escoamento dos fluxos superficiais.

5. Modelagem Ambiental

Uma vez realizadas todas as etapas anteriores, foi possível estabelecer modelos evolução dos modelados superficiais dos sistemas Bacia do Rio Canhoto, a partir do cruzamento das informações de ordem neotectônica e ambiental.

A modelagem é desenvolvida como a ilustração do conceito, sendo este, o resultado nas análises que mesclam diferentes perspectivas sobre o mesmo tema, assim, a arte é mera forma de projeção da ideia, sendo, portanto, livre de definições estéticas.

Os modelos foram elaborados tendo em vista os apontamentos, tanto das informações paleoambientais, quanto dos dados morfotectônicos, logo, os objetivos esperados com os mosaicos expostos devem completar as lacunas sobre o processo evolutivo do sistema estudado, no tocante ao contexto da morfologia das paisagens e, sendo assim, pode também estabelecer a perspectiva de evolução de todo o escopo geossistêmico para a área de estudos, o que se estabelece como um trabalho de síntese, em que pese as aplicações diversas ao tema, as pretensões aqui estão diretamente relacionadas ao entendimento dos conceitos propostos.

Isto posto, as amostragens coletadas dos materiais sedimentares permitiram estabelecer, não só a base processual dos eventos que desencadearam tais formas, como também, a cronologia desses processos, mesmo aqueles cujas idades não puderam ser obtidas, seja pela pobreza de materiais disponíveis, seja por dificuldades de aplicação aos materiais coletados.

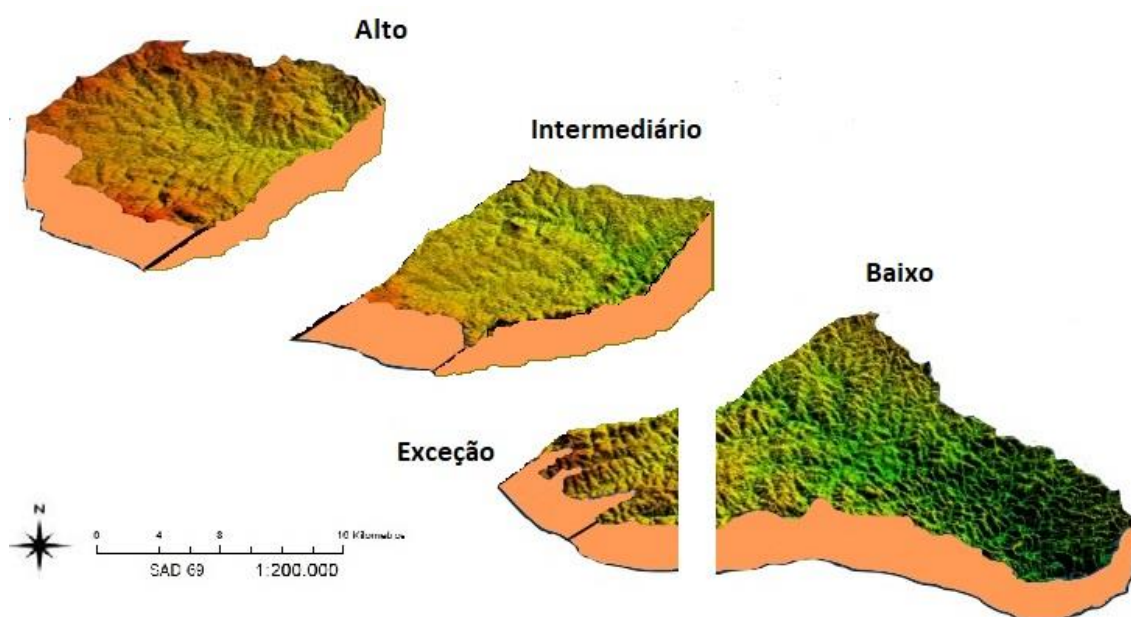
Por outro lado, os dados de natureza estrutural, permitiram observar que o controle de macroescala atuou como regente dos processos físicos, no que tange o direcionamento da dinâmica superficial e, com ela, o reordenamento na

distribuição da matéria e da energia nesses sistemas, além disso, foi estabelecido também que a estrutura ajudou a condicionar o desenvolvimento geoquímico por oferecer matéria base para a elaboração pedológica além de contribuir para a criação de microambientes cujo desenvolvimento das reações químicas forma a chave para a configuração do modelado atual.

Com essa introdução, necessária para a compreensão dos resultados que seguem, pode-se observar a exposição do modelo de evolução sistema Bacia do Rio Canhoto, a partir dos pontos de amostragem que ajudaram a construir um escopo geral desse progresso.

Nesse ponto, deve-se compreender os espaços investigados para a proposição desse modelo, a partir da divisão morfoestrutural, ou seja, de uma compartimentação do sistema (Figura 58), que contempla 3 subdivisões, além, de uma área de exceção relacionado com uma unidade de paisagem específica.

Figura 58: Compartimentação do sistema Bacia do Rio Canhoto.

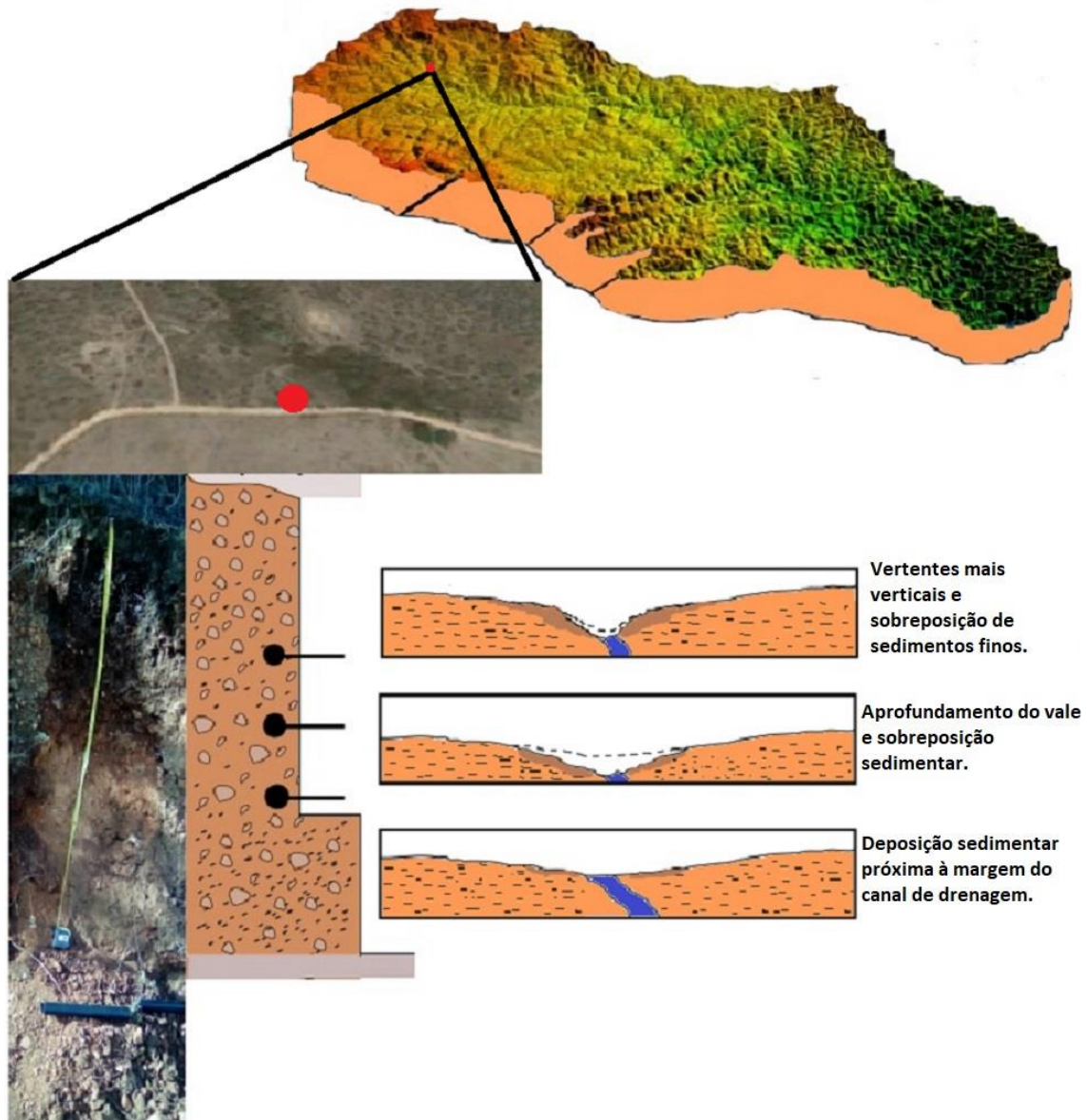


Fonte: O autor (2022).

Cada compartimento previamente exposto, foi definido segundo os critérios que levaram em consideração os esforços endógenos e exógenos, ajudando a definir a classificação geossitiêmica já elaborada. O compartimento classificado como “Alto” está estabelecido a partir da dinâmica relacionada com a cimeira regional que serve de cabeceira para a bacia hidrográfica.

Nesse ambiente, o primeiro ponto que serve de base para o modelo de evolução é o local de amostragem ERM (Figura 59), cuja extração de material ocorreu em um corte longitudinal em uma vertente próxima a drenagem local, cuja exposição do perfil exhibe, de pronto, ao menos, três momentos distintos na dinâmica superficial.

Figura 59: Modelo de evolução do trecho "alto" do sistema Bacia do Rio Canhoto



Fonte: O autor (2022).

A identificação dos processos nesse trecho, conduzem à ideia de que, em uma fase inicial de elaboração do pacote sedimentar, a dinâmica estava relacionada com a cimeira situada em um ambiente mais árido, gerando fluxos

superficiais escassos que, pelo desgaste dos elúvios, induziram a formação de drenagens lineares. Esse mecanismo seguiu aumentando progressivamente à medida que a disponibilidade de água no sistema teve ganho com a coarctação das superfícies glaciadas no UMG e a consequente elevação da pluviosidade no mundo tropical.

Apesar dessa percepção, não foi possível, por razões já expostas anteriormente, obter a idade do perfil, o que confirmaria a hipótese temporal, mas que não representa uma condição necessária para o desenvolvimento teórico, uma vez que há informação regional nesse mesmo estudo além dos dados atrelados do trabalho de Lima (2014).

O acréscimo da umidade no sistema, além de gerar a canalização da drenagem superficial, ativa processos de desgaste lineares, pois o fluxo segue orientado pela estrutura que, devido sua natureza topográfica elevada, concita o aprofundamento do vale, já que a tendência do fluxo é alcançar o nível de base local e, nesse caso, o deslocamento em condição de desnível gera ganho de força e pressão.

O paradigma anteriormente exposto, está diretamente relacionado com as propriedades físicas do mecanismo observado. Assim, toda superfície que apresenta desnível topográfico apresentará, por conseguinte, um fluxo hidrodinâmico intenso. O que se observa, contudo, de peculiar nesse local de trabalho, é que a ideia de ganho de força, na dinâmica energética, precisa, para sua estruturação lógica, que exista previamente a energia, nesse caso, a água, o que passa a ocorrer de forma mais significativa, somente com o final do pleistoceno e início do holoceno.

Seguindo o processo analisado, o aumento da verticalização das vertentes agora em elaboração, levou o sistema a apresentar maior produção de material sedimentar, pois quanto maior a inclinação da superfície, menor será sua resistência ao desgaste promovido pela precipitação, consequentemente, aumentando a oferta de sedimentos que serão arrastados pela força hidrodinâmica do sistema.

Muito embora seja perceptível que houve ganho de energia, esse sistema ainda está relacionado com uma climatologia semiárida e, com isso, possui fases de estiagem normais ao seu funcionamento, além dos períodos de seca, que extrapolam essa estiagem sendo descrita como um prolongamento da mesma.

Ademais, o desenvolvimento desse microambiente, também condiciona o de outros mecanismos de alteração morfológica. Um desses processos é a retenção da água em subsuperfície, em sopés e vales adjacentes ao contexto das cimeiras.

Uma vez que o depósito começa a se consolidar, a água presente no sistema representará uma energia que se instala dentro do depósito pela porosidade existente entre partículas de sedimento. A presença da água nesse ambiente, promove dois processos: o primeiro está relacionado com a interação química entre as moléculas presentes, potencializada pela presença da água e do calor natural da região. Esse processo favorece o desenvolvimento do intemperismo químico e da pedogênese, muito embora a retenção de água seja pequena para o desenvolvimento abundante deste último. O segundo processo está relacionado à percolação da água pelo interior dos depósitos, em subsuperfície. Essa percolação contribui para a desagregação do ferro e sua flutuação interna de acordo com a flutuação do nível da água são responsáveis diretos pelo acúmulo de moléculas ricas em Fe, condicionando a formação de cristas ferruginosas (Figura 60).

Figura 60: Superfície ferruginosa presente na área de estudos



Fonte: O autor (2022).

A disponibilidade de água suficientemente abundante para garantir esses processos, mesmo com as mudanças climáticas experimentadas desde o desenvolvimento do holoceno, é insuficiente para criar acúmulos abundantes, que permitam exploração econômica ou outros usos, muito embora, a sua presença, ainda que vaga, é demonstrativo de como a mudança do clima,

diretamente relacionada com o controle morfoestrutural, representou um contexto de reorganização do aspecto ambiental.

Seguindo com a exposição da análise, o trecho intermediário da bacia apresenta a maior evidência de controle morfoestrutural, uma vez que os resultados da atuação deste fenômeno serão percebidos em todos os processos relacionados com as transformações físico-químicas da superfície.

O trecho intermediário desse sistema sofre direta influência da neotectônica a partir do soerguimento de blocos atrelados à linha de cisalhamentos PE-AL. Tal mecanismo, criou um tipo de barramento ao fluxo, no contexto da bacia, não necessariamente na drenagem central, mas em todo o arranjo hidrodinâmico atrelado a ele.

Esse barramento conduziu a diminuição da pressão e da velocidade de deslocamento do fluxo, pelo acionamento vertical dos níveis de base locais. Como consequência, a partir do momento em que o sistema passou a perceber maior pluviosidade, com o início do holoceno, toda a área do compartimento passou representar uma faixa de deposição sedimentar.

Morfologicamente, esta evidência é possível de observar pela suavização das vertentes, em que pese o maior volume de precipitações com relação ao trecho alto da bacia. A contradição aqui é explicada pelo decréscimo da verticalização das vertentes, impactando a pressão e velocidade do deslocamento, com isso, o mecanismo de transporte perde competência e passa se comportar como mecanismo de deposição.

Os depósitos sedimentares nessa área são significativamente maiores que o trecho alto, no que tange a quantidade de ocorrências e a espessura dos perfis médios. Esse fato representa mais uma evidência que atesta a tese de diminuição da força de deslocamento. Além disso, é possível encontrar pacotes com seleção muito nítida, com referência à granulometria, o que sugere que a retração progressiva na velocidade do fluxo atua como agente mecânico de triagem granulométrica.

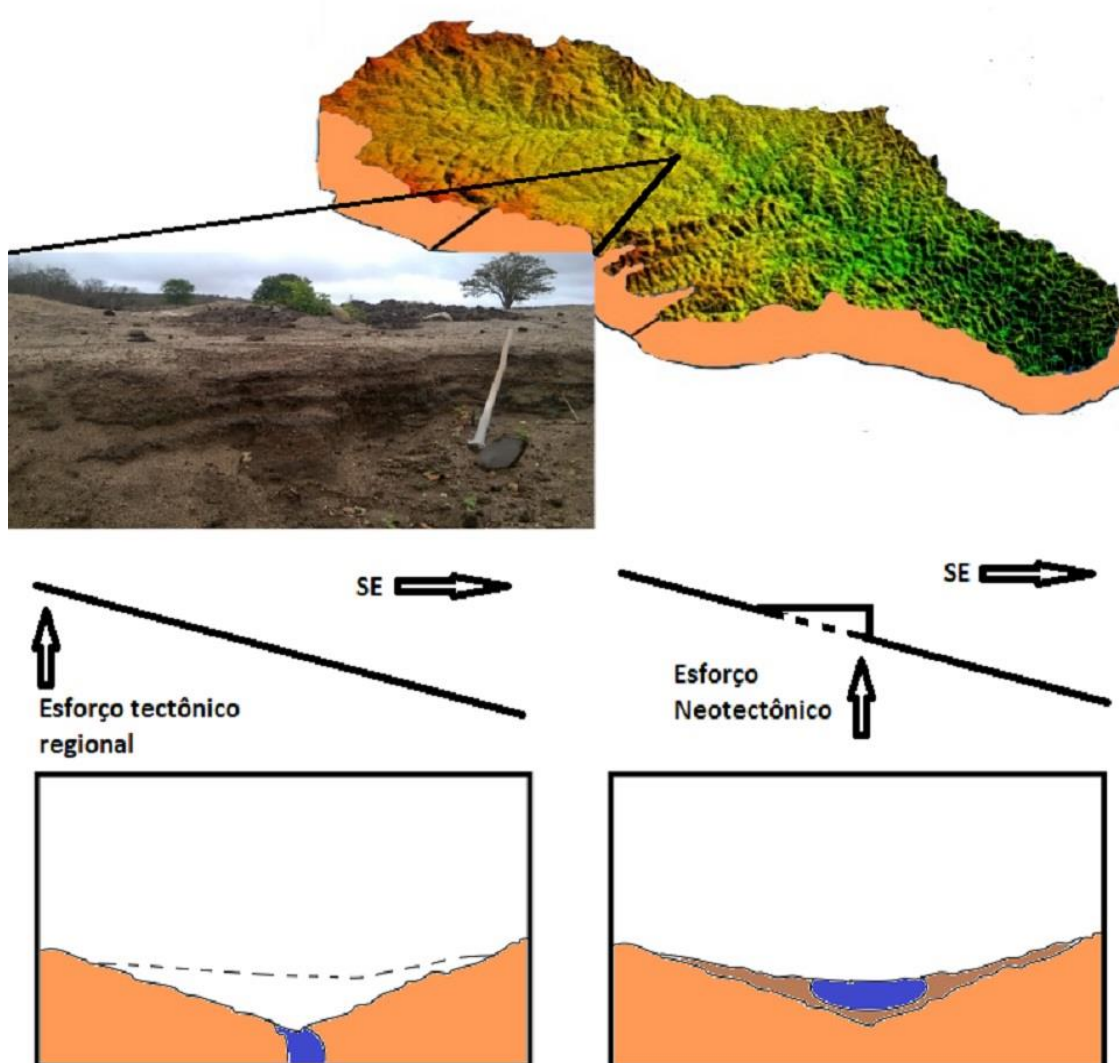
Ainda sobre o aspecto morfológico, com abertura de trincheira no que parece ser um depósito aluvial, foi possível observar que as camadas de deposição se apresentam de forma preservada, além disso, o padrão deposicional, sugere que o trecho analisado pode ter sido um leito mais fluido,

possivelmente perene, que sofreu assoreamento gerando o colapso do sistema hídrico e sua reorganização.

Dessa forma, os indícios apontam para o preenchimento de antigos canais de drenagem, a partir do aumento da deposição, agravando o contexto de retenção do fluxo. Concomitantemente, à medida que a sedimentação ocorre, são formados barramentos ao fluxo normal, além da óbvia consequência relacionada com a aceleração do processo de subida das bases locais.

Esse aparato, como exposto na imagem a seguir (figura 61), foi responsável pela alteração da dinâmica e da morfologia da paisagem por ter gerado uma consequência drástica: a mudança de paradigma de uma drenagem que se comportava como fluxo contínuo, para um padrão de comportamento estacionário.

Figura 61: A subida das bases locais, na presença de água em maior volume, alterou a dinâmica local para um contexto de estagnação periódica.



Fonte: O autor (2022).

Além destes dados, o modelo também permite expor que o processo de alteração da atividade sedimentar, ainda gera mais uma mudança ambiental significativa representada pela dinâmica dos minerais de argila.

Capítulos anteriores deste trabalho, já atestam que a região apresenta perda progressiva de argila, fato relacionado com o clima semiárido presente na área de estudos, contudo, a dinâmica acima exposta permite a análise de que essa perda se dá nas camadas interiores dos pacotes sedimentares, ao passo que, na superfície aplainada, onde a água se comporta de forma estagnada periodicamente, a argila se concentra, sendo depositada como concreção.

Esse processo se dá também, pelo comportamento hidrodinâmico no interior dos pacotes sedimentares bem selecionados, onde a fração areia é predominante e há elevada capacidade de infiltração. O cenário se mostra favorável a percolação da água, precipitando o ferro que, em superfície, no momento em que há eventos extremos de chuva, é deslocado para a rasa rede de drenagem ou é eliminado do sistema, sendo este último, o processo característico, enquanto o primeiro, se dá, nesse ponto, como uma exceção.

Sincronicamente, a queda na velocidade de deslocamento faz com que a granulometria presente na superfície, seja rica em areias, os elevados índices de SiO_2 apontam para a preservação desta molécula no processo de alteração química, sem contar na construção física dos depósitos que se apresenta de forma articulada com a erosão nas superfícies mais elevadas.

O controle do fluxo ainda serviu de base para alterações no comportamento geoquímico, no que toca as interações com elementos de outros sítios, carregados pela água em evento de precipitação. A junção desses dois processos, promove a construção de solos ácidos, pouco coesos e delgados.

Não há, portanto, uma configuração que beneficie a conjuntura de uma superfície vegetada densa, florestada, que possa servir de amortização para a quebra das estruturas superficiais pela água. Haja vista o clima semiárido permitir o desenvolvimento de uma floresta de pequeno porte, nativa, que é a caatinga, essas áreas se apresentam com vegetação arbustiva e bastante espaçada, o que remete a uma região de aridez extrema.

Nos trechos em que a drenagem se estabeleceu, os lençóis rasos e friáveis são facilmente evaporados no período de estiagem. Assim, a conjuntura

estabelecida com a dinâmica química e física, se traduz na construção da paisagem mais árida de todo o sistema, com exceção estabelecida aos pontos de estagnação de água que transformam as superfícies ressequidas em pântanos com reserva hídrica servindo de aporte ao desenvolvimento de uma fina malha florestal imediatamente paralela ao estabelecimento do canal – ou açude.

A seguir, será exposto um modelo concebido para a área que marca a ruptura no mecanismo de controle morfoestrutural, designado pela passagem do lineamento PE-AL e a elaboração de um contexto geológico diferente daquele analisado em outros pontos da bacia, seja pelo seu condicionamento físico-químico, seja pelo aspecto morfológico que, por si só, já representa uma paisagem de exceção ao contexto geral.

A superfície localizada na zona central-sul da bacia do Rio Canhoto, marca o ponto de transição do controle morfotectônico e apresenta um relevo bastante peculiar ao contexto regional por exibir o resultado do soerguimento, nesse ponto, de blocos rochosos com metamorfismo mais acentuado, caracterizado pelo predomínio de metagranitóides e granadas gnáissicas indiscriminadas.

O controle estrutural, sob influência da composição petrográfica induziu o desenvolvimento de um sistema erosivo controlado geologicamente. O resultado disso, está expresso na configuração das cristas elaboradas através do desgaste relacionado com o intemperismo físico presente na região, atrelado também ao clima semiárido que contribui para o desenvolvimento desse arcabouço processual.

O esboço relativo ao conceito de evolução, para esta paisagem deve ser diferenciado das demais, até pelo fato de que na área, os indicadores de dinâmica morfológica, apontam para a manutenção dos processos em um longo prazo, relativo ao que seria considerado “longo período” para o contexto dinâmico da bacia. Desta forma, é plausível assimilar que tal paisagem se faz presente, sem grandes alterações, há mais tempo que as demais.

Seja pela resistência ao desgaste ou pela lenta evolução do seu modelado o contexto ambiental das Cristas de São José, parece ter evoluído de forma autônoma com relação aos demais, isto é, a interação com os outros atores do sistema, parece não ter sido eficaz no tocante ao estabelecimento de relações

de permuta de matéria e ainda que exista uma troca constante de energia, as feições na paisagem apontam para uma dinâmica interna ao arranjo da área mais presente.

Além de tudo, o próprio contexto topográfico favorece essa dinâmica ambiental singular, pois a área está situada em uma superfície terminal, no contexto da topografia, cujas vertentes voltadas para SE, posicionam-se direcionadas para a entrada dos sistemas de chuva mais atuantes na região, o que favorece a presença mais acentuada de água, além de sua manutenção interna, já que os sistemas hidrodinâmicos que são observados nesse ponto, funcionam como mecanismos de retroalimentação no que toca a distribuição de matéria.

Observando a construção do ambiente local diretamente relacionado com tais mecanismos de retroalimentação no que toca o fluxo de matéria, é concebível estipular que os mecanismos de erosão associados a penetração da umidade, atuam de forma menos intensa que nas áreas adjacentes, já que a manutenção da água ajuda também a manter a superfície vegetal que funciona como amortização para o choque gerado pela precipitação, além de diminuir a intensidade do escoamento superficial, dificultando a formação de canalizações. Um fato que é importante para manter a estrutura pedológica bastante friável presente na região.

A maior prova da concepção exposta previamente, se dá quando há observação de áreas onde a intervenção humana promoveu a retirada integral da vegetação superficial, gerando impactos determinantes para a estabilidade da cobertura pedológica e, como consequência, promovendo o desenvolvimento de bad lands (figura 62), sobretudo em áreas de plantio onde o manejo inadequado foi realizado.

Figura 62: Desenvolvimento de badlands associadas ao manejo inadequado do solo no sistema Crista de São José.

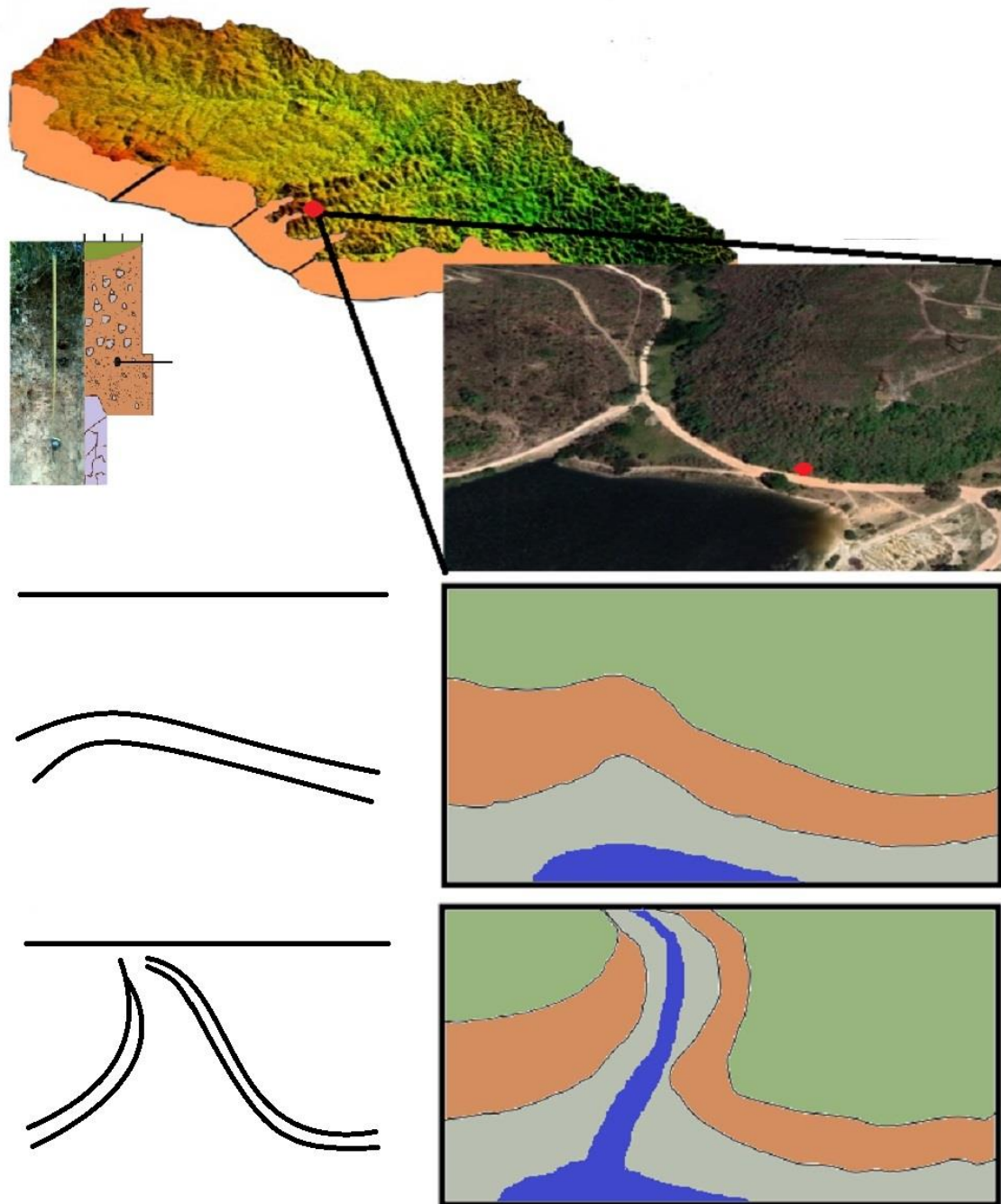


Fonte: O autor (2022).

Assumindo que o desenvolvimento de um microambiente condicionado pelo controle morfoestrutural e pela topografia ajudou a estabelecer um ritmo lento de evolução do modelado, pode-se concluir que a paisagem se encontra em um exemplo de equilíbrio dinâmico em que, apesar de haver produção erosiva, a distribuição do material está estabelecida dentro do sistema, o que leva ao cabo da suavização dos sopés e fundos de vales, em detrimento do recuo das vertentes.

Esse processo seria um dos que funcionam como agentes da dinâmica do modelado e, no caso específico dessa área, os responsáveis diretos por sua morfologia mais recorrente, atrelada a variabilidade topográfica e grande desnível nas relações entre topos e vales. Como observado no modelo (figura 63).

Figura 63: Modelo de evolução do modelado na área das Cristas de São José



Fonte: O autor (2022).

Nesse caso, o recuo paralelo das vertentes leva ao aumento da distância entre as vertentes enquanto o vale é constantemente retrabalhado, no tocante ao fluxo de deposição, elaboração e transporte pois, apesar de parecer errôneo, esse processo parece ser desencadeado a partir da deposição dos sedimentos nos sopés e vales que vão sendo abertos e, após consolidação do depósito, há

nova ativação erosiva conduzindo ao alargamento da trincheira e redistribuição dos sedimentos para níveis topográficos menos elevados, ainda que correlatos.

Enquanto a distribuição de matéria parece respeitar um fluxo dentro de curvas de nível bastante próximas, processos de atrofia dos compartimentos sedimentares associados, dentre outros, a ciclos de retração e expansão das argilas, leva a flexibilização do equilíbrio e da coesão do pacote, abrindo espaços para a penetração da água e a lixiviação dos finos.

Como visto, a superfície pedológica local não se estabelece dentro de um contexto de grande resiliência à variação de energia que possa ser percebida, por isso, o equilíbrio hidrodinâmico desse sistema está atrelado diretamente ao controle do deslocamento de matéria, onde a manutenção quantitativa desta é a base para a reelaboração pedológica. Em outras palavras, o contexto observado parece haver distribuição recorrente de matéria em uma espécie de pequeno ciclo isostático.

Como resultado, a formação de pequenos acúmulos de água nas áreas mais rebaixadas, também chamados localmente de “barreiros”, responde a essa dinâmica, pois tal acúmulo apresenta uma espécie de sazonalidade correlata ao esgotamento do barreiro como local de aporte sedimentar. Uma vez assoreado, tal estrutura deixa de funcionar como ponto de recepção de sedimentos e passa a desempenhar o papel de área produtora, dado que outro local, a partir de então, responderá pela função de superfície deposicional.

A dinâmica anteriormente discutida sofreu grande interferência antropológica nos últimos anos, a partir da ocupação e da exploração das localidades. Com isso, muitos processos relacionados a essa “dinâmica equilibrada” – eufemismo conceitual – passaram por mudanças e suas marcas foram se modificando. Apesar disso, a investigação de processos físicos de ordem cronológica 10^4 e até 10^5 consegue evidenciar a mudança de tais regimes e suas respectivas marcas.

Esse ponto, como dito, encontra-se na área de transição do controle morfoestrutural e, no que tange ao aspecto da forma em si, já se encontra no início da verticalização da superfície em direção à desembocadura, assim, a partir desse local até o apogeu do sistema, a tendência consolidada é de aumento da velocidade e da pressão sobre o fluxo hidrodinâmico. Isto deve-se ao fato de que a declividade acentuada a agrava o resultado da força

gravitacional sobre a água em deslocamento e com isso, eleva a força de arrasto desse componente energético.

Para reflexão sobre os índices de produção erosiva, basta analisar o tamanho dos pacotes acumulados ao longo do trecho que vão progressivamente aumentando em termos de profundidade, do ponto mais elevado para o ponto menos elevado.

Se, por um lado a força de arrasto derivada do aumento da inclinação geral da superfície condiciona o mecanismo dinâmico a intensificar sua potência de deslocamento, por outro lado, o direcionamento a SE da bacia consegue perceber maior volume de precipitações o que estabelece uma presença mais significativa da água dentro desse sistema e, com isso, ajuda a estabilizar a superfície vegetada que funciona como instrumento de controle dessa vegetação. Assim, por mais que o acumulado de precipitações seja o dobro do que se percebe na região dos trechos alto e médio, em termos quantitativos, não são percebidos grandes índices de produção sedimentar, salvo em ocorrência de eventos desencadeados pela sociedade que ocupa a área, no trato com a superfície para fins de produção econômica relacionada com as práticas de agricultura e pecuária.

Isto posto, ressalve-se que, de certa forma, o equilíbrio permanece, ainda que sob orientação de um regime diferenciado, enquanto há dispersão intensa dos materiais elaborados, os pontos de acúmulo, mesmo não representando zonas terminais definitivas para o fluxo dentro do sistema, apresentam espessas camadas de sedimentos atrelados ao contexto geológico-pedológico.

O termo “espesso” nesse contexto, está atrelado dialeticamente ao que se observa nas áreas adjacentes ao ponto “baixo” do sistema.

À ressalva anterior, deve-se atrelar uma nova, uma vez que, apesar de não parecer indicar uma grande quantidade de produtos erosivos relacionados com as precipitações presentes na região, há elevada produção erosiva na ação das drenagens canalizadas presentes em toda área. Essas drenagens funcionam como agentes escultores do relevo. Sua dinâmica está atrelada ao já mencionado ganho de pressão e força de deslocamento da água superficial – e subsuperficial – devido ao aumento da inclinação topográfica do recorte ora analisado.

Como consequência, o aumento no aprofundamento dos canais de drenagens criou aspectos bem destacados na paisagem quando se observa um quadro contextual mais amplo (figura 64). Essa diferença pode ser percebida na dilatação do distanciamento entre as áreas de topo e base de uma vertente, levando à compreensão de que a busca pelo nível de base regional passa a controlar o fluxo direcionando a água para a zona terminal da bacia e, com isso, favorecendo o desenvolvimento de uma linearidade mais pronunciada no que toca aos processos de dissecação superficial.

Figura 64: Efeitos da dissecação linear promovida na área



Fonte: O autor (2022).

Resumo dos resultados

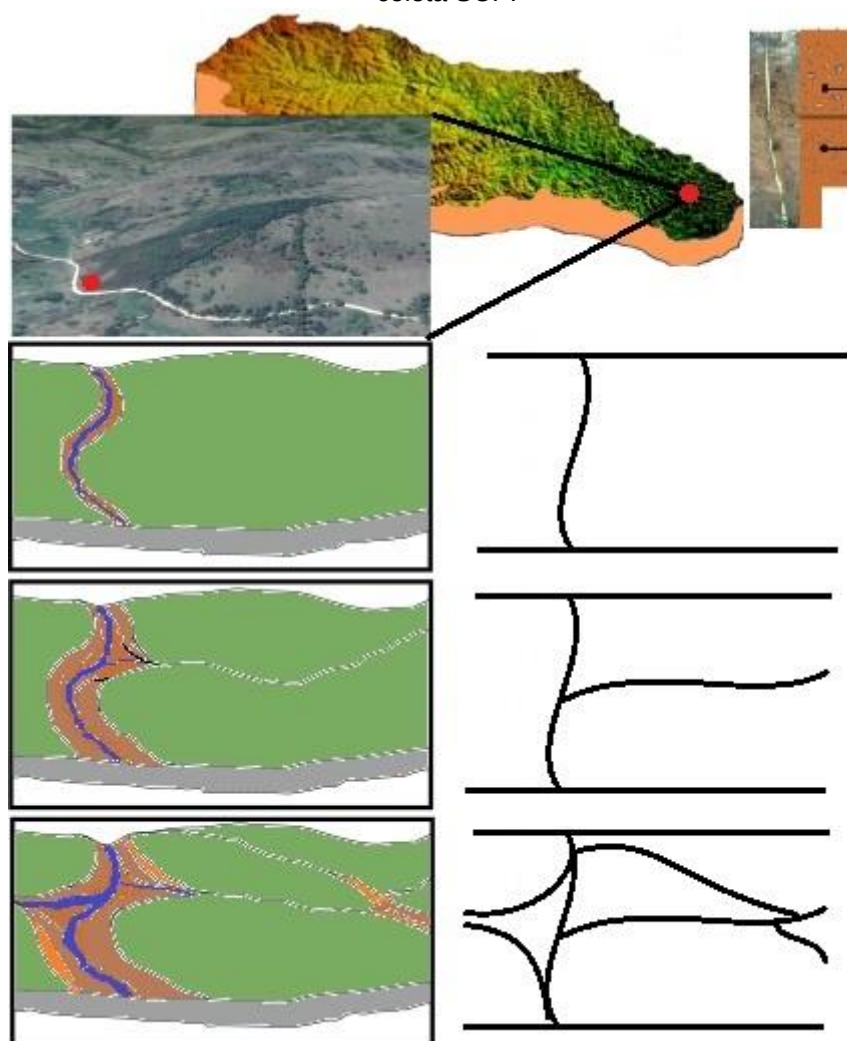
Em termos conceituais mais clássicos, pode-se descrever essa região como uma superfície de trânsito para o que foi classificado como “relevo Mamelonar” como se a superfície possuísse o formato de “meias laranjas” deitadas para baixo ou ainda, como um mar de morros de baixa altitude – na faixa de 350m à 400m – descritos pelo célebre trabalho de Ab’saber (2003).

Nessas unidades, como dito acima, as principais marcas na paisagem estão condizentes com o processo de aprofundamento dos vales fortemente condicionado pelo fator estrutural, em consonância, sobretudo após o início do holoceno, com o sistema climático regional que está estabelecido pelo controle no regime de precipitações a partir da atuação do VCAN e da penetração da

umidade associada aos dispositivos de leste sejam eles sinóticos, como os ventos alísios, ou os pontuais, como os distúrbios ondulatórios de leste.

Neste interim, foi estabelecido um modelo de evolução (figura 65) tendo como base de perspectiva o ponto de coleta SCP, no município de Canhotinho.

Figura 65: Modelagem de evolução de relevo para a superfície relacionada com o ponto de coleta SCP.



Fonte: O autor (2022).

Apesar de ser entendido como um processo menos impactante na elaboração do modelado, a produção sedimentar das encostas parece ter aumentado com o processo de ocupação e exploração da superfície, sobretudo com a utilização de técnicas de manejo inadequadas com o regime pluviométrico e com a estrutura pedológica presentes na área.

Dentre outros, o processo de remoção superficial não canalizado de fluxo lento é um dos mais evidentes. Esse “rastejo” (figura 66) explana a apropriação

da superfície para produção econômica e, mais ainda, aponta para inadequada tramitação desse processo por parte da população inserida, seja pela produção menos sofisticada para consumo próprio, seja pelo latifúndio agro produtor que, na área em foco, tem designado a produção de cana-de-açúcar como principal cultura regional.

Figura 66: Fenômeno do rastejo e abertura de lineamento erosivo como evidência da aplicação de uma técnica de manejo pouco adequada aos regimes pluviométricos e condições pedológicas locais.



Fonte: O autor (2022).

A partir das análises prévias é possível conceber que o regime de precipitação atua como agente de contribuição energética. Essa energia, exemplificada pela água em deslocamento atua de forma diretamente no relevo na promoção de processos erosivos superficiais atenuados pela presença da vegetação de forma mais significativa se comparado com os outros trechos da bacia. Neste cenário é o aumento da inclinação topográfica o que induz ao aumento correlato na pressão do fluxo levando à aceleração progressiva desse deslocamento em direção ao nível de base local. Como resultado, a água escava a superfície em que se estabelece canalizada aprofundando o vale. Concomitantemente, mas em uma intensidade menor, a ação erosiva aplicada sobre as vertentes gera processos de recuo paralelo de encostas, contribuindo

para o alargamento dos vales. Esse último processo se torna tão mais evidente, quanto agressiva for a técnica de ocupação e exploração da superfície.

Muito embora saiba-se que, durante o holoceno, houve aumento na quantidade e intensidade das precipitações suas marcas nessa paisagem parecem ter sido pouco contundentes. Uma vez que se cruzam os dados granulométricos com as idades obtidas pelas técnicas de LOE, o que observa para área é que o desenvolvimento dos pacotes parece ter se tornado mais intenso nos últimos dez mil anos, apesar disso, o efeito da maior quantidade de água não parece indicar mudança no padrão de comportamento dinâmico da bacia, no que toca os principais processos de elaboração.

Finalmente, encerra-se aqui a exposição dos resultados com a expectativa de ter alcançado êxito no sentido de explicar o processo de evolução das paisagens neste sistema peculiar, bem como de estabelecer uma ideia conceitual de processos, além é claro, dos resultados obtidos com tais mecanismos, sendo esta última, a pretensão desencadeadora da busca científica que aqui foi explanada.

CONCLUSÕES

A investigação científica, no âmbito da geomorfologia, não pode funcionar adequadamente de forma dissociada da concepção de sistemas, pelo simples fato de que a forma da superfície do planeta, objeto de análise desta ciência, não acontece de forma isolada, autônoma. Logo, a primeira conclusão a que se chega, ao final deste trabalho, é a de que quanto maior for o número de interações analisadas, maior será a compreensão dos processos que dão forma ao modelado superficial.

Enquanto a observação dos fatores climáticos permite a análise de processos em escala temporal menor, a compreensão da dinâmica estrutural se dá por um intervalo temporal dilatado, assim, quando as duas bases analíticas são postas em consonância os resultados são amplos e as possibilidades de desenvolvimento teórico a partir desses resultados são ainda mais expressivos.

Essas conclusões poderiam ser expressas ao final dessa discussão, por serem mais amplas, mas foi preferível trazê-las nesse momento pois a partir dessa concepção pode-se observar o recorte laboral aqui proposto de forma aberta às chegadas pertinentes que, mesmo não tendo ênfase muito aplicada, são passíveis de conexão dentro da conjuntura processual vislumbrada nos esforços que foram exibidos.

Isto posto, indo direto ao cerne da questão, a primeira discussão aqui proposta está alicerçada ao arcabouço do cruzamento de análises, proposto como metodologia inicial.

Pode-se dizer, com precisão ao final do trabalho, que a ideia de cruzamento entre análises neotectônicas e ambientais, se mostrou aplicável e prolífica. Os dados analisados e os resultados obtidos configuram êxito a esta proposta. Apesar disso, foi possível perceber que as possibilidades de exploração analítica e de construção de resultados são muito maiores do que o esperado, de forma tal que a metodologia proposta se mostra ainda mais competente do que o imaginado inicialmente, reforçando a primeira proposição dessas conclusões: Os processos geomorfológicos são integrados em um nível tão complexo que, mesmo partindo de uma abordagem sistêmica, ainda se decorre a possibilidade de imposição de um recorte que limita, de certa forma, as possibilidades de observação e análise.

Porém, construir uma informação com essa abordagem metodológica é um trabalho complexo e, em muitos momentos, exige a necessidade de estabelecer tais limites às interações, até por uma condição da própria análise que, caso entre em uma espiral aberta de relações processuais, possa decorrer em uma série de divagações intermináveis e pouco eficazes ao desenvolvimento científico.

O recorte de um sistema físico como uma bacia hidrográfica, ajuda a limitar o escopo de análise, porém ficou claro com este estudo que as interações sistêmicas ultrapassam os limites impostos, necessariamente, para uma análise específica. Com isso em mente, é conclusivo o entendimento de que sempre haverá brechas analíticas aos esforços que são colocados no trabalho acadêmico, no âmbito desta ciência e, como consequência, dentro de um escopo científico sistêmico.

Agora aos pontos específicos da trama previamente exposta, cabe-se uma observação mais, pois não foram poucas as tentativas de obtenção de material sedimentar a fim de servir de base para as análises laboratoriais, apesar disso, poucos pontos de coletas apresentaram condições práticas de exploração, dado a baixa disponibilidade do produto-base. Esse fato é já conclusivo em si, por permitir compreender que as análises sedimentares em ambiente semiárido devem ser precedidas de uma visita técnica-exploratória vasta e ampla. Foi esse o principal trunfo metodológico desta pesquisa pois a precisão das visitas pós-exploratórias revelou-se como determinante para a logística de cada visita.

Uma vez de posse dos materiais, as análises granulométricas apresentaram a necessidade de avaliação de aplicação de um modelo gráfico a mais do que se esperava. Os modelos gráficos de Pejrup e Shapard, funcionam de forma completa quando aplicados a ambientes com grandes fluxos aplicados ao transporte sedimentar e quando o transporte do sedimento se dá em distâncias alongadas, principalmente, dentro dos canais de drenagem. No caso dos depósitos de encosta, esses modelos apresentam limitações à aplicação para identificação do padrão de deslocamento e para fins de reconstrução paleoambiental, pois há uma interpretação destoante com o ideal no que tange os dados relativos à morfometria gerando resultados que podem ir de encontro

ao padrão considerado adequado para esse tipo de deslocamento e suas consequências nas formas de apresentação dos grãos.

Com isso em mente, foi aplicado o modelo gráfico de Flemming (2000), uma técnica que completa a análise de fluxo, direcionando de forma mais precisa o mecanismo dinâmico relacionado com o processo de desenvolvimento do pacote a partir da granulometria de encosta, pois considera o deslocamento em si, sem a predileção do entendimento de que esse mecanismo funcionou a partir da pulsão da energia hídrica presente em um sistema fluvial ou aluvial.

Como resultado, as metodologias de análise sedimentares conversam entre si e, desse diálogo, nasce a compreensão do processo evolutivo dessas formas, em um contexto ambiental que coincide no tocante aos processos físicos e químicos, uma vez que a análise geoquímica, aponta para uma evolução paleoambiental consonante ao que se observou em termos de processos físicos. Desta forma, pode-se estabelecer que a leitura das dinâmicas relativas aos intemperismos fica mais aplicável quando há intersecção entre as análises físicas com aplicação de modelagem gráfica ampla e geoquímicas coadunando tais informações. Porém, como dito antes, aqui deve-se fazer a explanação de que caberia ainda uma análise de solos e paleossolos por haver clara relação evolutiva entre estes componentes, entretanto, tais análises esbarram na limitação do escopo de trabalho, decorrendo na necessidade de controle analítico aplicada ao estudo sistêmico, uma vez que tal metodologia poderia abarcar em um sem número de variáveis que, de tão grande quantidade de dados possíveis, representaria uma barreira às discussões e à comunicação de resultados e conclusões. É o caso de se haver tantas informações que seria um entrave à informação.

A evolução das formas e das dinâmicas de produção sedimentar e dos pacotes sedimentares presentes na área de estudos, indica que há variação dessa dinâmica ao longo da bacia, o que tende a representar um controle externo ao ambiente, no que toca o funcionamento dos sistemas ambientais, mas não relativamente à sua existência. As idades apresentadas apontam evidências de que as transições quaternárias têm impactado o regime direto das dinâmicas sedimentares, principalmente no que tange o volume da produção de sedimentos e, em alguns pontos específicos, na sua deposição. Em termos de evolução de paleoambientes, todo o sistema apresenta mudança de

comportamento no trânsito do pleistoceno para o holoceno, com exceção da região das Cristas de São José, cujas mudanças no comportamento ambiental foram pouco percebidas pela mudança de fase desde o UMG. Neste microambiente, os ajustes exercidos por fatores externos ao contexto climático, são tão eficazes que, de certa forma, inibem o aumento da circulação de água, fazendo com que o seu mecanismo dinâmico não sofra grandes alterações em função desta mudança.

Em termos gerais, salvo a exceção previamente apontada, os dados granulométricos apontam a mudança de fase, de um contexto mais árido para o atual, mais úmido. Isso se dá, inclusive na área que apresenta na atualidade uma realidade climática semiárida. Esse contexto evolutivo já havia sido apontado por Lima (2014) e agora apresenta-se ratificado.

Diante de tal evidência, é de se supor que todas as logísticas processuais referentes às dinâmicas físicas superficiais apontariam para a concepção clássica de que, com o aumento dos eventos de precipitação, serão mais evidentes aspectos de elaboração de formas mais agudas, entretanto, diante de um contexto neotectônico, possivelmente pretérito ao acréscimo hídrico sofrido pelo sistema, o controle ambiental passa por claro ajuste no que tange a dinâmica esperada, fazendo com que o aumento da umidade incrementalmente de forma significativa, até o trecho intermediário da bacia, o desenvolvimento dos pacotes sedimentares, por não haver competência hidrodinâmica suficiente para condicionar ganho de fluidez necessário ao agravamento da erosão/transporte.

Desta feita, os dados de direcionamento dos canais de drenagem, ajudaram a corroborar e confirmar a tese que a influência morfotectônica tem levado a uma clara alteração na dinâmica desses fluxos.

O impacto mais perceptível desse processo, se dá pelo redirecionamento da água canalizada, sobretudo dos canais de 2º e 3º ordens, onde o alinhamento médio passa por modificação de graduação relativos ao plano do canal central. Este processo é mais evidente à medida que se observam tais direcionamentos próximos aos pontos de ruptura estabelecidos pela Relação Densidade-Elevação.

O método de aplicação deste índice, mostrou-se eficaz na interpretação da influência dos fatores endógenos, notadamente, neste caso, das linhas de falhas tectônicas, no controle de dispersão das dinâmicas ambientais

superficiais. Os dados cartográficos são ferramentas imprescindíveis da investigação geomorfológica e, mais precisamente, a aplicação de índices como o RDE funcionam como pedra fundamental da interpretação dos controles processuais internos e suas implicações nas dinâmicas ambientais. Esses dados inclusive patenteiam a construção de modelos como no caso deste estudo.

Os modelos elaborados a partir das análises realizadas, constataram que mesmo havendo mudança das dinâmicas ambientais em superfície, em quase todos os setores regionalizados, devido à mudança do comportamento climático em escala sinótica, derivada de sua mudança correlata em escala global, as variações percebidas no âmbito dos processos diretamente relacionados ao clima, estão atrelados aos fundamentos de volume e intensidade, o que, em alguns casos, configurou modificações na velocidade de elaboração de certas feições.

Contudo, o controle ambiental, no que toca o tipo de processo morfológico em evidência e sua distribuição espacial, está condicionado às dinâmicas internas do sistema, notadamente às ativações neotectônicas do lineamento PE-AL, sendo este mecanismo o principal controle dos processos morfológicos investigados.

Ainda sobre o contexto de atuação do lineamento citado, sua dinâmica está vinculada neste sistema com a suavização do basculamento que construiu a topografia regional, associada ao complexo da Borborema, acionando verticalmente a superfície em um trecho intermediário da bacia, onde, tal dinâmica, alterou diretamente a intensidade do fluxo e o regime dos processos sedimentares.

Evidentemente, se trata de um processo em escala temporal dilatada, com relação aos de cunho climático, porém, a mudança climática perceptível a partir do final do UMG aumentou o fluxo de energia presente no sistema denunciando, de forma mais direta, as consequências morfológicas da atuação deste processo endógeno.

Notou-se ainda que sob certas circunstâncias, a presença da estrutura falhada ainda foi responsável pelo soerguimento de blocos com metamorfismo em variados graus o que funcionou, por seu turno, como base de controle de um ambiente de exceção ao contexto geral do sistema, levando à formação de cristas de dissecação em exposição à penetração de umidade de SE,

configurando o chamado “brejo de exposição”. Enquanto sua dinâmica ambiental seguiu controlada pela estrutura, as consequências da eventual mudança climática não promoveram mudanças significativas ao quadro geral do comportamento geomorfológico desta unidade em particular. Por outro lado, a participação da sociedade se mostrou um aparato bastante eficaz no tocante à capacidade de alteração da dinâmica superficial, ao deixar as marcas das formas inadequadas para ocupação e manejo superficiais.

De igual forma, as mudanças climáticas não parecem ter impactado de maneira tão significativa o trecho menos elevado da bacia, pelo menos no que toca o procedimento de elaboração das feições erosivas derivadas do incremento pluvial, sendo o fato mais pronunciado o prolongamento vertical do perfil sedimentar, indicando que o aumento da água potencializou os deslocamento dos sedimentos de encosta, por outro lado, no que toca o aprofundamento dos vales pela ação fluvial, a entrada ao holoceno acena como aumento do volume de água e, com a inclinação local, aumento da pressão de escoamento nessas drenagens canalizadas, assim, as feições correlatas apontam para o aprofundamento dos vales nesses trechos.

Finalmente, ao final de todas as análises, as conclusões que seguem, apontam para o ajuste dos processos climáticos regionais ratificando seu controle aos sistemas atmosféricos sinóticos e globais. Assim, enfatizando que a atuação do clima no contexto da Borborema está associada diretamente aos fenômenos atmosféricos e não topográficos. Apesar disso, o controle da dinâmica ambiental na superfície Borborema, atrelada ao contexto do sistema estudado, está diretamente relacionado com sua condicionante morfoestrutural e topográfica.

Em outras palavras, pode-se traduzir essas conclusões à uma, de forma simples, que em termos processuais, a Borborema controla o seu ambiente e não o seu clima.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Regiões de Circundenudação pós-cretácea no Planalto Brasileiro**. Boletim Paulista de Geografia, n.1, v.1, p. 3-21, 1949.
- _____. **Geomorfologia do Estado de São Paulo. In: Aspectos Geográficos da Terra Bandeirante**. Rio de Janeiro-RJ, Fundação IBGE, p.1-97, 1954.
- _____. **Os Domínios de Natureza no Brasil**. Ed. Ateliê Editorial, São Paulo, SP. 2003.
- AITKEN, M. J. **An introduction to optical dating. The dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence**. Oxford, Oxford University Press: 267p, 1998.
- ALMEIDA, J. D. M. **Desconectividade da paisagem e compartimentação fluvial da bacia do Riacho Grande, Sertão Central pernambucano**, 2017, 135f. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- AMORIM, R. F. **Integração entre Dinâmicas Geomorfológicas Multitemporais no Planalto da Borborema, Semiárido do NE do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE. 195f, 2015.
- AZAMBUJA, R. N. **Análise Geomorfológica em áreas de expansão urbana no município de Garanhuns – PE**. Dissertação de Mestrado. UFPE, Recife, 2007.
- BARROS, L. C. **Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, norte do estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Geociência, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE. 2003.
- BARROS, C. E., NARDI, L. V.S., DILLENBURG, S.R. **Geoquímica de Minerais Detríticos em Estudos de Proveniência: Uma Revisão**. Pesquisas em Geociências, Instituto de Geociências UFRGS. 2005 p. 3-15.
- BERTALANFFY, K. L. V. **A Teoria Geral dos Sistemas**. Ed. Vozes. 1975.
- BERTRAND, G. **Écologie d'un espace géographique: Les géossistemes du Valle de Prioro**. Espace Géographique, 2, 1972. p.100 – 128.
- BESSE, J. **Ver a Terra: Seis ensaios sobre a paisagem e a geografia**. Ed. Perspectiva, São Paulo. 2000.
- BEZERRA, F. H. R.; NEVES, B. B. B.; CORREA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - the Cariatá trough, northeastern Brazil. **Geomorphology**. 01: 555-582, 2008.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. **Some palaeogeographic features of the Brazilian Devonian**. Boletim Paranaense de Geociências, 21/22: 133-151. 1967.
- BLUM, M. D. & TÖRNQVIST, T. E. **Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward**. **Sedimentology**, n. 47, p. 2-48, 2000. Supplementum 1.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: BRASIL. Florestas do Brasil em Resumo. Ministérios do Meio Ambiente, Serviço Florestal Brasileiro. Brasília – DF, 2009, 124 p.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil. 3º edição. 2010.

BÜDEL, J. **Die doppeleten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen. Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, n. 1, 1957, p. 201-288.

BÜDEL, J. **Climate Geomorphology**. Princenton University Press. 1982.

CALEGARI, M.R. **Ocorrência e Significado Paleoambiental do Horizonte A Húmico em Latossolos**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP. 2008. 256p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A.; VALADARES J. M. A. S.; **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada, 2009, 77p.

CASTRO, D. G. **Patrimônio Histórico-arquitetônico como Marca de Qualificação da Paisagem de Quissamã: Identidade cultural, poder e consumo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ. 2007.

CAVALCANTI, L. C. S. **Geossistemas do Estado de Alagoas: uma contribuição aos estudos da natureza em geografia**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Recife: UFPE. 2010. 132f.

CAVALCANTI, L. C. S. **Da Descrição de Áreas à Teoria dos Geossistemas: uma Abordagem Epistemológica sobre Sínteses Naturalistas**. Tese (Doutorado em Geografia). Recife: UFPE. 2013. 217f.

CAVALCANTI, L.C.S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de textos. 2014. 96p.

CAVALCANTI, L.C.S.; CORREA, A.C.B; **Geossistemas e Geografia no Brasil**. Revista Brasileira de Geografia, v.61, n. 2, Rio de Janeiro-RJ, 2016.
CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo Ed. Edgard Blucher, 1980.

_____. **Modelagem dos Sistemas Ambientais**. São Paulo Ed. Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas Dinâmicos: As Abordagens da Teoria do Caos e da Geografia Fractal em Geografia. *In*: VITTE, A. C. **Contribuições à História e a Epistemologia da Geografia Física**. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Bertrand Brasil, 2006.

COLTRINARI, L. Geomorfologia: Caminhos e Perspectivas. *In*: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 1, Nº1, 2000, pág. 44-47.

COLTRINARI, L. **Cartografia Geomorfológica Detalhada: A Representação Gráfica do Relevo entre 1950-1970**. Revista Brasileira de Geomorfologia. V. 12, nº 3. 2011.
CORREIA,

A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil.** Rio Claro, Tese de Doutorado – IGCE, UNESP. 2001.

_____. **História geomorfológica dos compartimentos elevados do planalto da borborema, ne do brasil: a perspectiva da etchplanação.** Revista de Geografia (São Paulo), Recife - PE, v. 19, n. 01, p. 61-73, 2003.

CORREA, A.C.B. O geossistema como modelo para a compreensão das mudanças ambientais pretéritas: uma proposta de geografia física como ciência histórica. In: Sá, A.J. &

_____. **Regionalização e análise regional. Perspectivas e abordagens contemporâneas.** Recife: Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, 2007, p. 33-45.

CORRÊA, A. C. B.; MENDES, I. A. **O problema das superfícies de erosão: novas abordagens conceituais e metodológicas.** Revista de Geografia (Recife), Recife, v. 18, n. 2, p. 70-86, 2002.

CORRÊA, A. C. B. SILVA, D. G. MELO, J. S. **Utilização dos Depósitos de Encostas dos Brejos Pernambucanos como Marcadores Paleoclimáticos do Quaternário Tardio no Semiárido Nordestino.** Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 07, n. 14, 2008, p. 99-125.

CORRÊA, A. C. B., TAVARES, B. A. C., MONTEIRO, K. A., CAVALCANTI, L. C. S., LIRA, D. R. **Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, SP, V. 31(1/2), 2010, p. 35-52.

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

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, Vol. 14, No. 5, 1899, pág. 481-504.

DEMEK, J. **Manual of Detailed Geomorphological Mapping.** Prague: Academia, 1972. 520 p.

DEVINE, D. L.; WOOD. M. K.; DONART, G. B. **Runoff and erosion from a mosaic tobosagrass and burrograss community in the northern Chihuahuan Desert grassland.** Department of Animal and Range Sciences, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico 88003, U.S.A.

DOKUCHAEV, V.V. **Teoria das Zonas Naturais.** Disponível em: http://www.landscape.edu.ru/book_dokuchaev_1948.shtml
Acesso em 10 janeiro 2019.

ERHART, H. **La théorie bio-rhexistasique et les problèmes biogeographiques et paléobiologiques.** C. R. soc. de Biogéogr. 1956, nº 288, pp. 43-53.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Governo Federal. 2º Ed. Brasília, DF. 2006.

FAIRBRIDGE, R. W. **The Encyclopedia of Geomorphology.** Nova York, Van Nostrand Reinhold, 1968.

FAVRE, P. STAMPFLI, G. M. **From Rifting to Passive Margin: The Red Sea, Central Atlântic and Alpine Tethys**. Tectonophysics, n. 215, v. 1, p. 69-97, 1992.

FOLK, R. L. & WARD, W. Bazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, p.3-26, 1957.

FORMAM, S. I. PIERSON, J. LEPPER, K. **Luminescence Geochronology**. Quaternary Geochronology: Methods and Applications. American Geophysical Union – AGU. 2000. GALE, S. J. & HOARE, P. G. **Quaternary sediments: petrographic methods for the study of ulithified rocks**. Londres: Bethaven Press, 1991, 372p.

GALVÃO, D. C. **Reconstrução Paleoambiental a partir dos Colúvios do Entorno da Lagoa do Puiú, Município de Ibimirim – Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2012. 130p.

GOMES, P.C.C. **Quadros Geográficos: uma forma de ver, uma forma de pensar**. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro-RJ, 1º ed. 2017.

GUEDES, C.C.F., SAWAKUCHI, A.O., GIANNINI, P.C.F., DEWITT, AGUIAR, V.A.P. **Luminescence characteristics of quartz from Brazilian sediments and constraints for OSL dating**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 85(4): 1303-1316. 2013.

GUERRA, A.J.T. Encostas Urbanas. In: **Geomorfologia Urbana**. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, p. 13 – 39. 2011.

HACK, J. T. **Interpretation of erosion topography in humid temperated regions**. *Am. Sci.*, 258A:80-97. (Bradley volume), 1960.

HASUI, Y. Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. In: **Workshop Sobre Neotectônica e Sedimentação Continental no Sudeste Brasileiro**. Anais, Belo horizonte: SGB, 1990, p. 11-31

HELGREN, D. M. **Rivers of diamonds: an alluvial history of the Lower Vaal Basin**. *University of Chicago, Department of Geography, Research Paper*, 185, 1979. HUDSON, .W. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p

HUMBOLDT, A. **Quadros da Natureza**. W. M. Jackson inc. Rio de Janeiro-RJ, v. 34. 1952.

_____. **Cosmos: Descripcion Física del Mundo**. Ed. Eduardo Perrie (Versão em Espanhol), Belgica, 1875, p. 584

HUNTLEY, S. *et al.* **Optical Dating of Sediments**. *Nature*, v. 313, p. 105-117, 1985.

HUTTON, J. **Theory of the Earth**. Ed. Royal Society of Edinburgh. 1795, p. 685.

IBANEZ, D. M., RICOMINI, C., MIRANDA, F. P., **Geomorphological Evidence of Recente Tilting in the Central Amazonia Region**. *Geomorfology*, ed. Elsevier, nº 214, p. 378-387. 2014.

ISACHENKO, A.G. **Landscape Science and Physical-Geographic Regionalization**. Moscou: Vyshaya Shkola. 1991.

JOST, H., THEODORO, S.M.C.H. FIGUEIREDO, A.M.G., BOAVENTURA, G.R. **Propriedades Geoquímicas e Proveniência de Rochas Metassedimentares Detríticas Arqueanas dos Greenstone Belts de Criaxás e Quarinos, Goiás.** Revista Brasileira de Geociências, n. 26 v. 3, 1996 p. 151-166.

KANT, I. **Fundamentação da Metafísica dos Costumes.** Ed. Martin Claret, 1º edição, São Paulo-SP, 2011, p. 16.

KAPLAN, I. **Nuclear Physics**, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Reading, 1977.

KING, L. C. **A Geomorfologia do Brasil Oriental.** Revista Brasileira de Geografia. P. 147 – 256. 1956.

LEOPOLD, L. B. LANGBEIN, W. B. **The Concept of Entropy in Landscape Evolution:** U.S. Geology Survey, Prof. Paper, 500-A, 1926.

LIMA, E. M. **Evolução Paleoambiental do Município de Garanhuns-PE, a partir de Análises Sedimentológicas: Aplicação do Método de Luminescência Opticamente Estimulada – LOE.** Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Dissertação de Mestrado, 2014, 105f.

LIMA, E. M. CORRÊA, A. C. B. FONSÊCA, D. N. **Dinâmica Geomorfológica Quaternária da Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas, Planalto da Borborema.** Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo-SP. V.31, p. 142-156. 2016.

LIMA, E. M. CORRÊA, A. C. B. **Mapeamento Geomorfológico como Ferramenta de caracterização Ambiental do Município de Garanhuns-PE.** GeoSul, v. 31, n. 62, Florianópolis-SC, p. 317-336, 2016.

LIMA, E. M. SOUZA, J. O. P. SILVA, D. G. CORRÊA, A. C. B. **Análise de Risco Geomorfológico em Áreas de Expansão Urbana de Garanhuns - PE: Avaliação Expedita.** in: Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, ANAIS. Rio de Janeiro-RJ, 2012.

LIRA, D. R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das Bacias do Riacho do Pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014. 234p.

LORENTE, F.L. PESSENDA L. C. R., CALEGARI, M. R. M. COHEN, C. L. ROSSETTI, D. P. C. GIANNINI, F. BUSO JUNIOR, A. A., CASTRO, D. F. M. C. FRANÇA, J. BENDASSOLLI, A. MACARIO K. **Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil)** Quaternary and Environmental Geosciences, n. 06, v.1 p.01-15, 2015.

MABESOONE, J. N. **História Geológica da Província Borborema (NE Brasil).** Universidade Federal de Pernambuco. Revista de Geologia, Recife, Vol. 15: 2002. 119-129.

MACHADO, F.B., NARDY, A. J. R. **Mineralogia Óptica.** Ed. Oficina de Textos, São Paulo-SP. 2016.

MAIA, R. P. **Geomorfologia e Neotectônica no Vale do Rio Apodi – Mossoró, RN.** Tese de Doutorado, PPGG/UFRN, Natal – RN, 2012, 218f.

- MAIA, R. P., BEZERRA, F. H. R. **Neotectônica, Geomorfologia e Ambientes Fluviais: Uma Análise Preliminar do Contexto Nordestino**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Caderno Especial, 2011, p. 12-3.
- MCKERGOW, L.A., PROSSER, I.P., HUGHES, A.O., BRODIE, J.. **Sources of sediment to the Great Barrier Reef World Heritage Area**. Mar. Pollut. Bull. 51, 2005, p. 200-111.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p 1-10, 2002
- MONTEIRO, C.A.F. **Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática de São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1971, *Climatologia*, 1.
- MONTEIRO, C.A.F. **Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: Perspectivas agrárias e urbanas ao problema da elaboração de modelos de avaliação**. Simpósio Sobre a Comunidade Vegetal, como Unidade Biológica, Turística e Econômica. São Paulo, ACIESP, 1978.
- MONTEIRO, K. A. **Superfícies de Aplainamento e Morfogênese da Bacia do Rio Tracunhanhem, Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE. 2010, 126f.
- MURRAY, A.S., WINTLE, A.G. 2000. **Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol**. Radiation Measurement, 32: 57–73.
- OBRUCHEV, V. A. **Osnovnye Cherty Kinetiki Neotektonik**, Akad. Nauk. SSSR Izv. Serv. Geol., v5, 1948, p. 13-24.
- PENCK, W. **Morphological Analysis of Landforms**. London: Ed. MacMillan and Co. p. 283, 1953.
- PEUVAST, J.P. SALES, V. C. **Aplainamento e Geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia**. Mercator – Revista de Geografia da UFC, n.01, p. 116-150, 2002.
- PEIXOTO, M. N. O.; TATUMI, S. H.; MELLO, C. L.; BARRETO, A. M. F.; MOURA, J. R. S. **Comparação entre idades obtidas por luminescência e idades radiocarbono de depósitos coluviais quaternários – bananal e barra mansa (sp/rj), depressão do médio vale do rio paraíba do sul**. X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2003.
- PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, D. D. (eds.). **Tide-Influenced Sedimentary environments and Facies**. Reidel: Dordrecht, p.289-300, 1988.
- PIETSCH, T.J., BROOKS, A.P., SPENCER, J., OLLEY, J.M., BOROMBOVITS, D. **Age, Distribution, and significance within a sediment budget, of in-channel depositional surfaces in the Normanby River, Queensland, Austrália**. Geomorphology. Ed. Elsevier, n. 239, 2015, p. 17-40.
- POPP, L. H. **Geologia Geral**. 2010.

RÖMER, W. 2010, **Multiple Planation Surfaces in Basement Regions: Implications for the Reconstruction of Periods of Denudation and Uplift in Southern Zimbabwe**. *Geomorphology*, ed. Elsevier, nº 114, p. 199-212.

SAADI, A. **Neotectônica da Plataforma Brasileira: Esboço de interpretação preliminar**. *Geonomos*, MG. 1(1): 1-15, 1993.

SAADI, A. & TORQUATO, J.R. Contribuição à neotectônica do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza-CE. 5: 5-38, 1994.

SAADI, A. **Modelos morfogenéticos e tectônica global: reflexões conciliatórias**. *GEONOMOS*; n. 6, UFMG, Belo Horizonte. 55-63, 1998. SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Critérios e Técnicas para o Quaternário**. Ed. Edgard Blucher, 1º ed. São Paulo – SP, 2007.

_____. **História Ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.

ANTOS, M. L. **Unidades Geomorfológicas e depósitos sedimentares associados no sistema fluvial do rio Paraná no seu curso superior**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 6, Nº 1, 2005, p. 85-96.

SAWAKUCHI, A.O.; KALCHGRUBER, R.; GIANNINI, P.C.F.; NASCIMENTO JR, D.R.; GUEDES, C.C.F.; UMISED, N. **The development of blowouts and foredunes in the**

Ilha Comprida barrier (Southeastern Brazil): the influence of Late Holocene climate changes on coastal sedimentation. *Quaternary Science Reviews*. 2008. SCHEIDEGGER, A. E. **Surfaces joint systems, tectonic stresses and geomorphology: a reconciliation of conflicting observations**. *Geomorphology*, ed. Elsevier, n. 38, 2001, p. 213-219.

SCHMIDT, C. KREUTZER, S. **Optically stimulated luminescence of morphous/microcrystalline SiO₂ (silex): Basic investigations and potential in archeological dosimetry**. *Quaternary Geochronology*, ed. Elsevier, n. 15, 2013, p. 1-10.

SCHOPENHAUER, A. **Metafísica do Belo**. Ed. UNESP, São Paulo-SP. 2003, p.256. SELBY, M. J. **Hillslopes Materials and Processes**. Oxford. Oxford University Press, 1993.

SELLERS, P. J. Biophysical Models of Land Surface Processes. In **Climate System Modeling** (TRENBERTH, K. E., ed.). Cambridge, Cambridge University Press, 1945, 451-490, 1992.

SELINUS, O.; ESBENSEN, K. **Separating anthropogenic to natural anomalies in environmental geochemistry**. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 55, p. 55-66, 1995.

SILVA, A. C. **Reconstrução quaternária da dinâmica geomorfológica a partir das análises dos depósitos do baixo curso do rio Capibaribe/PE**, 2016, 208f. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA, C. A. da; FILHO, A. P. **Geografia, Turismo e Análise Sistêmica**. In: *Contribuições à História e a Epistemologia da Geografia Física*. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Bertrand Brasil, 2006.

SILVA, D. G. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Pernambuco, 155p. 2007.

SILVA, D. N. F. **Reconstrução da Paisagem Geomorfológica Através da Assinatura Geoquímica dos Eventos Depositionais da Bacia do Rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado, PPGeo/UFPE, Recife-PE. 2012.

SIMMEL, G. **As Grandes Cidades e a Vida do Espírito (1903).** Covilhã, Universidade da Beira Interior: Lusosofia Press, 2009.

SOCHAVA, V.B. Algumas noções e termos da Geografia Física. **Relatórios do instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente.** 3. 1963. p.53.

SOCHAVA, V.B. 1978. **Introdução à Teoria do Geossistema.** Novosibirsk, Nauka, 320p.

SOLNTCEV, N.A. What is the difference between facies and biogeocenosis. **Series Geography.** n.2. 1967. (Em russo). Disponível em: <http://www.landscape.edu.ru/book/book_solncev_2001_184.shtml> acesso em 12 fev 2018.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1973.

_____. **Geologia Sedimentar.** Ed. Edgard Blucher, São Paulo-SP. P. 400, 2003.

_____. **Mudanças Ambientais da Terra.** São Paulo: Instituto Geológico, 1º Ed. São Paulo, SP, 2008.

_____. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais.** Ed. Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2010.

SUGUIO, K; BARCELOS, J. H. **Quaternary Sedimentary Environments in Comprida Island, State of São Paulo, Brasil.** Boletim do Instituto de Geociências, USP, V.9, p. 2003-211, 1978.

SOCHAVA, V.B. **Introdução à Teoria do Geossistema.** Novosibirsk, Nauka, 1978. 320p.

SPINOZA, B. **Ética.** Ed. Grupo Autêntica, 2ª edição. Belo Horizonte-MG, 2017, p. 238.
TANSLEY, A. G. **The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms.** Oxford University, 1935, p. 234-307.

TAVARES, B. A. C. **A participação da Morfoestrutura na Gênese da Compartimentação Geomorfológica do Gráben do Cariatá, Paraíba.** Recife, PE. 137f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

_____. **Evolução Morfotectônica dos Pedimentos Embutidos no Planalto da Borborema.** Tese de Doutorado, PPGeo/UFPE, Recife-PE, 2015, 251f.

THIESEN, G. M.; OLIVEIRA, D. **Apresentação de um novo método de mapeamento geomorfológico de detalhe e sua viabilidade de aplicação como subsídio à**

compreensão da paisagem ocupada no entorno do reservatório Paiva Castro Mairiporã/SP. In: XVI Encontro Nacional de Geógrafos, 2010, Porto Alegre. Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre, 2010.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the Tropics: A Study of Weathering And Denudation in Low Latitude.** Chinchester: John Wiley & Sons. 1994.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE/SUPREN. 1977.

TRICART, J.F.L.; CAILLEUX, A. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. **Annales de Géographie.** t.65, n.349, 1956, p.162-186. TUCKER, M. **Techniques in sedimentology.** London: Blackwell, 1995, 408p.

VITTE, A. C. Da Metafísica da Natureza à Gênese da Geografia Física Moderna. *In: Contribuições à História e a Epistemologia da Geografia Física.* Rio de Janeiro, RJ. Ed. Bertrand Brasil, 2006.

VITTE, A. C. Os Fundamentos Metodológicos da Geomorfologia e a sua Influência no Desenvolvimento das Ciências da Terra. *In: Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil.* Rio de Janeiro – RJ. Ed. Bertrand Brasil, 2010.

_____; **Etchplanação Dinâmica e Episódica nos Trópicos Quentes e Úmidos.** Revista do Departamento de Geografia, UNICAMP, Campinas, SP. V. 16, p 105-118, 2005.

WAGNER, G. A. **Age Determination of Young Rocks and Artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology.** New York: Springer, 1996, 466p.

WANG, H. HACKLEY, K. C. PANNO, S. V. COLEMAN, D. D. LIU, C. J. BROWN, J. **Pyrolysis-combustion 14C Dating of Soil Organic Matter.** Quaternary Research, n. 60 Ed. Elsevier, 2003,p. 348-355.

WAYLAND, E.J. **Peneplains and some other erosional plataforms.** Ann. Rept. Bull. Protectorate of Uganda Geol Surv., note 1. 1933 p. 77-79.

WINTLE, A.G.; MURRAY, A.S.; **A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols.** Radiation Measurements, 41: 2006. P. 369–391.

WHITNEY, B. B. HENESH, J. V. **Geomorphological Evidence for Late Quaternary Tectonica Deformation of the Cape Region, Coastal West Central Austrália.** Geomorphology, n. 241, ed. Elsevier, 2015, p. 160-174.

YANES, Y. ASTA, M. P. IBANEZ, M. ALONSO, M. R. ROMANEK, C. S. **Paleoenvironmental Implications of Carbon Stable Isotope Composiition of Land Snail Tissues.** Quaternary Reserach, n. 80, Ed. Elsevier, 2013, p. 596-605.