

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ILARA DA ROCHA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DO BAIXO CURSO DO RIO
NHUNDIAQUARA – MORRETES/PR**

Pontal do Paraná
2017

ILARA DA ROCHA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DO BAIXO CURSO DO RIO
NHUNDIAQUARA – MORRETES/PR**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, ao curso de graduação em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Profº Dr. Marcelo Renato Lamour

PONTAL DO PARANÁ

2017


TERMO DE APROVAÇÃO


Ilara da Rocha Santos

“CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA - MORRETES/PR”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Prof.º Dr.º. Carlos Roberto Soares - CEM/UFPR


Prof.ª Dr.ª. Morgana Vaz da Silva - CEM/UFPR


Prof.º Dr.º. Marcelo Renato Lamour
Presidente

Pontal do Paraná, 07/12/2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Alvacir e Cássia, que me deram a oportunidade, força e segurança para seguir o meu caminho. Obrigada por incentivar e acreditar, às vezes cegamente, em mim. A minha irmã Larissa, por me ajudar em inúmeras situações, por sempre estar presente e mostrar novas perspectivas. Pela sua cumplicidade e por todo o seu amor, obrigada!

Ao meu orientador de monografia Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, pelas conversas e pela paciência em me ajudar, obrigada por me guiar e não me deixar desviar (tanto) do foco. Aos amigos do LoGeo Pâmela, Ana Martini, Yan, Vitória e Bia pelos cafés e bolachas, conversas e diversão.

A banca examinadora Prof. Dra. Morgana Vaz da Silva e Prof. Dr. Carlos Roberto Soares por disponibilizar tempo para a correção e considerações deste trabalho, por toda ajuda e confiança que me deram.

Ao meu GRR, nossa jornada juntos, como um rio entrelaçado separou e voltou várias vezes, mas nunca deixou de ser um só. Em especial quero agradecer às pessoas que contribuíram com meu crescimento pessoal e conseqüentemente, acadêmico, Cássia e Blanka, agradeço a amizade de vocês desde o primeiro instante dessa vida, lá em 2012. Carol e Júlia Bilibiu, por anos fazendo tardes de beleza, pelas boas risadas, festas, filmes, gulodices e parceria. Ick, Heitor e Éber por nossas tardes de conversas longas sobre a vida e por saber que vocês sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço ao GRR2011 por terem me adotado, a parceria de todos vocês me ajudou muito a passar pelos perrengues da vida. Roberto, você é meu anjo da guarda, obrigada pela parceria, conversas, ajudas de todo o tipo, pausas para cafés e por me encher de auto-estima. Em especial, quero agradecer à “Mandine”, Bruna, Isa, Laiza, Julia e Moara por me nomearem membro da P.B., nossa amizade fortaleceu minha jornada. Obrigada por nunca me deixar desistir, vocês me ergueram e me deram forças para continuar até quando eu já não tinha mais nada. Cada uma de vocês, com palavras e gestos de carinho, doou um pouquinho de energia para eu conseguir. E aos amigos que entraram a pouco tempo na minha vida, mas que são extremamente importantes Dani e Pri e o pessoal do GRR 2016.

Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo.

Olha para trás, para toda a jornada,
os cumes, as montanhas,
o longo caminho sinuoso
através das florestas,
através dos povoados,
e vê à sua frente um oceano tão vasto
que entrar nele nada mais é
do que desaparecer para sempre.

Mas não há outra maneira.
O rio não pode voltar.
Ninguém pode voltar.
Voltar é impossível na existência.
Você pode apenas ir em frente.
O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.
E somente quando ele entra no oceano
é que o medo desaparece.

Porque, apenas então,
o rio saberá que não se trata
de desaparecer no oceano.
Mas tornar-se oceano,
Por um lado é desaparecimento
e por outro lado é renascimento.

- Osho

RESUMO

Rios são importantes geomorfologicamente por sua capacidade de erosão, transporte e deposição de sedimentos, sendo considerados os principais agentes de transformação do relevo. A configuração de um rio depende do relevo, regime pluvial e geologia regional e compreender estes aspectos auxilia na interpretação de fatores que influenciam na drenagem do local. O rio Nhundiaquara está localizado no município de Morretes-PR e deságua no Complexo Estuarino de Paranaguá (25°20'S/48°10'W). A região possui evolução geológica extensa, de mais de 2,8 milhões de anos, abrangendo rochas da era Proterozóica até os sedimentos do Quaternário. Sua superfície morfológica é o resultado de alterações climáticas em conjunto com movimentos tectônicos e epirogênicos que modelaram paisagens naturais como a Serra do Mar e a Planície Litorânea. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a distribuição sedimentológica do baixo curso do Rio Nhundiaquara (PR) em relação ao seu perfil geomorfológico. Neste sentido, foi realizada uma campanha de amostragem de sedimentos de fundo ao longo do trecho do rio, totalizando 52 amostras dispostas em perfis transversais ao canal. As amostras foram submetidas a análises granulométricas e quantificação dos teores de carbonatos e matéria orgânica. Após a análise e determinação dos parâmetros granulométricos, os parâmetros estatísticos foram determinados por medidas de tendência central (média e mediana) e dispersão (desvio padrão, assimetria e curtose). Desta forma, a distribuição dos valores de diâmetro médio da partícula variou entre as classes de areia grossa e areia muito fina. Semelhante a este padrão o grau de seleção variou de extremamente mal selecionado a bem selecionado, sendo de modo geral pobremente selecionado. Assimetria e curtose tiveram tendência muito positiva e platicúrtica, respectivamente. Quanto aos teores de matéria orgânica e carbonatos estes ocorreram na grande maioria abaixo dos 10% e tendência de aumento na desembocadura. Desta forma, a distribuição sedimentar ao longo do rio Nhundiaquara responde às variações na hidrodinâmica e entrada de afluentes, sendo os dois fatores determinados pelo relevo e Geologia Regional.

Palavras chave: granulometria, geomorfologia fluvial, afluentes, sedimentologia, perfil longitudinal.

ABSTRACT

Rivers are geomorphologically important due to its erosion, transport and sediment deposition capacity, being considered the principal relief agent transformer. The rivers' configuration depends on relief, rain regime and regional geology, and comprehending those aspects help to interpret factors that influence the local drainage. The Nhundiaquara river is located in Morretes-PR city and flows into the Paranaguá Estuary Complex (25°20'S/48°10'W). The region has extensive geological evolution, more than 2,800 million years, covering rocks of the Proterozoic era until sediments from the Quaternary. Its morphological surface is a result of the climatological changing with the tectonics moves and epirogenic which modeled natural landscapes such as the Serra do Mar and the Coastal Plain. The study aim was to characterize the sedimentological distribution from the low course of the Nhundiaquara River (PR) in relation to its geomorphological profile. It was made a sampling along the river bottom, totalizing 52 samples in transversal profile on the river channel. The samples were submitted to granulometric analyses and quantification of carbonates and organic matter. After analyses and granulometric parameters determination, the statistics parameters were determined by measures of central tendency (average and median) and dispersion (standard deviation, asymmetry and kurtosis). In this way, the distribution of mean particle diameter values varied between coarse and very fine sand. Similar to this pattern, sorting varied between extremely badly selected and well selected, being in a general way badly selected. Asymmetry and kurtosis had a tendency to be very positive and platykurtic, respectively. Organic matters and carbonate content occurred mostly above 10% and tended to increase on the mouth. In this way, the sedimentary distribution along the Nhundiaquara river responds to the variations in hydrodynamics and inflow of tributaries, being the two factors determined by the Relief and Regional Geology.

Key words: Granulometry, river geomorphology, affluents, sedimentology, longitudinal profile.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3 ÁREA DE ESTUDO	2
3.1 GEOLOGIA REGIONAL	3
3.1.1 Arqueano e Proterozóico Inferior	3
3.1.2 Proterozóico Superior e Paleozóico	4
3.1.3 Paleozóico Inferior	5
3.1.4 Mesozóico	5
3.1.5 Cenozóico	6
3.2 GEOMORFOLOGIA	7
3.2.1 Serra do Mar	7
3.2.2 Planície Litorânea	8
3.3 REGIME PLUVIAL	9
3.4 SOLOS	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS DE FUNDO	13
4.2 ANÁLISE LABORATORIAL	14
4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	15
5 RESULTADOS	15
5.1 DIÂMETRO MÉDIO	16
5.2 GRAU DE SELEÇÃO	17
5.3 ASSIMETRIA	18
5.4 CURTOSE	20
5.5 MATÉRIA ORGÂNICA	21
5.6 CARBONATOS	22
6 DISCUSSÃO	23
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
8 REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de um curso fluvial o comportamento espacial dos sedimentos de fundo pode variar de diferentes formas. No geral, o diâmetro médio das partículas tende a reduzir seu tamanho no decorrer do transporte, consequência da abrasão que a partícula sofre. Com a separação das frações granulométricas (seixos, areias, siltes e argilas) a tendência é ocorrer uma seleção destas partículas de montante para a jusante. A análise deste comportamento espacial dos sedimentos de fundo nos ambientes fluviais pode identificar o conceito de “tendência granulométrica” e definir variações longitudinais de parâmetros estatísticos granulométricos.

As tendências granulométricas são resultados da atuação de processos do transporte, como a abrasão, da seleção das partículas ao longo do transporte e da mescla de sedimentos provenientes de diversas fontes (McLAREN, 1981). Isto ocorre devido a energia do ambiente, que pode ser controlado por diversos fatores, tais como a morfologia do leito fluvial, tipo e disponibilidade dos sedimentos e distância de transporte. Dentro das tendências granulométricas, a diminuição do tamanho dos sedimentos de montante a jusante é conhecida como “granodrecrescência” (*downstream fining*).

A granodrecrescência pode ocorrer nos cursos fluviais com as mais variadas características (tamanho de bacia, clima e litologia) e os primeiros estudos sobre o tema mostram que a abrasão e o transporte seletivo dos sedimentos são os principais fatores para que ocorra a granodrecrescência dos sedimentos (KNIGHTON, 1982; PARKER, 1991; FRINGS, 2004). Outros autores mostram que este processo pode ser originado por outros fatores como a fonte dos sedimentos (Rodoan *et al.*, 2007), a influência do nível de base local (Ferguson *et al.*, 1996), o assoreamento do leito (Seal *et al.*, 1997; Gomez *et al.*, 2001), a concavidade do perfil longitudinal (Gasparini *et al.*, 2004) e a entrada de sedimentos através de afluentes (KNIGHTON, 1980, 1999; ICHIM E RÃDOANE, 1990; RICE E CHURCH, 1998; RICE, 1999).

A abrasão - desgaste, moagem ou fragmentação sofrida pelos sedimentos fluviais - é uma função do diâmetro médio, velocidade das partículas, litologia, distribuição das partículas e resistência física dos materiais (KODAMA, 1992). Quanto aos principais processos que influenciam na adição, subtração ou distribuição dos sedimentos de fundo no ambiente fluvial desde a nascente até a foz,

Frings (2004) determina o aporte de sedimentos das vertentes, entrada de tributários, proteção das margens (com gabiões, por exemplo), dragagem e despejo de sedimentos, erosão das margens e formação de barras de pontal e sedimentação em planície aluvial como os principais fatores.

Neste sentido, o alvo deste trabalho é a bacia de drenagem do rio Nhundiaquara, no Estado do Paraná, cujo aspecto marcante é o desnível altimétrico considerável entre a Serra do Mar e a Planície Costeira (SILVA, 2001). O curso do rio Nhundiaquara apresenta diferentes formas de drenagem, sendo dentrítico nas vertentes da Serra do Mar e a jusante este padrão passa a ser meandrante (SALAMUNI *et al.*, 1999). Assim, o presente estudo visa caracterizar os sedimentos de fundo do baixo curso do rio Nhundiaquara, onde este deixa de ter características dentríticas fluviais típicas da Serra do Mar, e passa a ter características meandrantas, à medida que o rio cursa sobre a planície costeira, de baixa altitude, já com influência estuarina.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o baixo curso do Rio Nhundiaquara (PR) com relação à sua distribuição sedimentológica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar o rio Nhundiaquara com relação ao contexto regional e fluvial (Geologia, Pedologia e Geomorfologia);

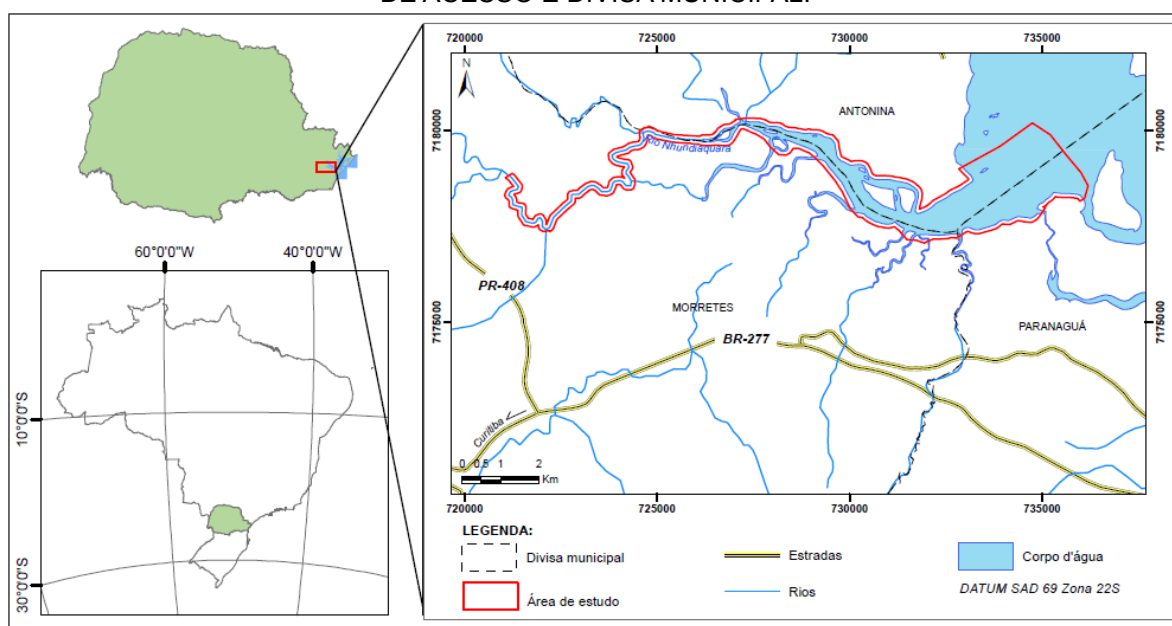
Determinar as características dos sedimentos de fundo do rio nos seus diferentes trechos.

3 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Nhundiaquara está localizada na porção leste do Estado do Paraná e seus cursos fluviais estão sobre a Serra do Mar e o Litoral, desaguardo no Complexo Estuarino de Paranaguá (Angulo, 1992). Grande parte da drenagem desta bacia cursa pelo município de Morretes (25°28'S/48°50'O), cuja altitude média é de 10 m (IBGE, 1996).

O acesso à Morretes pode ser feito através das rodovias federais BR-277, por onde o município fica a 67 km de distância da capital Curitiba, pela BR-116, onde na altura do km 5 do contorno leste, no município de Quatro Barras pode ser feito o acesso para a Estrada da Graciosa, como é conhecida a rodovia estadual PR-410 e pela PR-408, entroncamento da BR-277 no sentido Paranaguá-Curitiba (Figura 1).

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO RIO NHUNDIAQUARA, COM AS PRINCIPAIS RODOVIAS DE ACESSO E DIVISA MUNICIPAL.



FONTE: a autora (2017).

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

A evolução geológica da região litorânea do Paraná iniciou-se há mais de 2,8 bilhões de anos (MINEROPAR, 2001) e abrange desde rochas proterozóicas até sedimentos recentes na região costeira (PAULA, 2010). Em geral abrange diversos conjuntos litológicos que são baseados em parâmetros estratigráficos, geocronológicos e tectônicos como: Arqueano e Proterozóico Inferior; Proterozóico Superior; Proterozóico Superior ao Paleozóico Inferior; e Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico como mostra a figura 2 (MINEROPAR, 2001).

3.1.1 Arqueano e Proterozóico Inferior

Formações deste período aparecem em porções isoladas e representam restos de embasamento constituídos pelo complexo gnáissico-migmatítico, remanescentes da antiga bacia do Paraná, antes da abertura do Oceano Atlântico, e

por intrusões de granitos do Proterozóico Superior, formadas durante a consolidação do embasamento da plataforma, no final do Proterozóico até o Cambriano (MINEROPAR, 2001). As rochas arqueanas sustentam segmentos da Serra do Mar e constituem terrenos cristalinos de alto grau metamórfico representado por migmatitos e gnaisses cuja interdependência é bastante estreita (SALAMUNI e ROCHA, 2002).

As unidades mais antigas formadas pelo complexo gnáissico-migmatítico são as serras originadas por dissecação de borda do planalto, enquanto o complexo granítico-gnáissico são as serras originadas por erosão diferencial, como o caso da Serra do Marumbi e Graciosa (ANGULO, 1992).

As serras originadas por dissecação de bordas do planalto são estruturadas como um conjunto de falhas e escarpas erosivas de uma grande diversidade de rochas ígneas e metamórficas de mais de 600 milhões de anos (idade arqueana). Nelas estão presentes rochas como migmatitos quartizitos, quartzo-muscovitas, anfibolitos, xistos, xistos magnesianos, quartzitos com magnetita e rochas manganíferas, que juntas integram o chamado Complexo Cristalino, considerado o embasamento de rochas metamórficas do Grupo Açungui (BIGARELLA, 1978).

No caso das serras originadas por erosão diferencial existe a ocorrência de granitos que formam os setores do Proterozóico Superior, com intrusões de granito e suítes alcalinos (ANGULO, 2004), representados principalmente pelos granitos Graciosa e Marumbi.

Na região central, a formação do granito Marumbi, apresenta fraturas alinhadas principalmente na direção NE – SW. O lado norte das nascentes do rio Nhundiaquara é formado por uma pequena fração do complexo gnáissico-migmatítico do Primeiro Planalto e pelas suítes-álcali-graníticas da formação Graciosa (CORDONI & GIRARDI, 1967).

3.1.2 Proterozóico Superior e Paleozóico

Formações do Proterozóico Superior (1.000 a 570 milhões de anos) situam-se dentro de fatias tectônicas removidas de suas posições iniciais e reempilhadas de forma aleatória, logo sua posição estratigráfica atual não é original e reflete o resultado do empilhamento (MINEROPAR, 2001).

A formação é do tipo retroarco, situada entre um arco magmático originalmente a oeste ou noroeste e a uma área continental a sudeste. Seu

fechamento se deu por compressão noroeste-sudeste, durante o Proterozóico Superior, responsável pela tectônica de cavalgamento, com transporte de massa para sul-sudeste e, mais tarde, pelas dobras e tectônica transcorrente lateral direita (MINEROPAR, 2001).

Paralelamente à margem direita do rio Nhundiaquara ocorre a formação antiga do Complexo Cachoeira, composta por xistos magnesianos, anfibólitos, metabasitos, gnaisses parcialmente migmatizados e metaultrabasitos, hornoblendas e gnaisses indiferenciados (KOZCIAK, 2006).

3.1.3 Paleozóico Inferior

Fuck *et al.* (1967) descreve o conjunto de rochas sedimentares e vulcânicas deste período repousadas em discordância angular sobre migmatitos e granitos do Embasamento Cristalino. Este conjunto apresenta relações estratigráficas que não estão claramente definidas onde uma seqüência vulcânica ácida repousa sobre gnaisses e migmatitos, com riolitos e brechas vulcânicas recortadas localmente por diques de microgranito, riolitos pórfiros e felsitos. Existe outra sequência vulcânica, de caráter intermediário, constituída por lavas e tufo andesíticos e subordinadamente dacitos.

A formação é perturbada por intenso falhamento, com zonas de cataclase e dobras de arrasto e sua litologia se assemelha ao Grupo Castro e à Formação Campo Alegre em Santa Catarina (MINEROPAR, 2001). Essas rochas intrusivas são relacionadas ao rifteamento do Atlântico e à formação Serra Geral (vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná) (PAULA, 2010).

3.1.4 Mesozóico

Nos períodos Jurássico – Cretáceo, ocorreu intrusão de inúmeros diques básicos como diabásio, diorito e pórfiro que preencheram um sistema de fraturas profundas e paralelas, com orientação geral N40 – 60W (KOZCIAK, 2005).

Os diques de rochas básicas relacionam-se com a evolução estrutural da Bacia do Paraná. As rochas alcalinas e carbonatíticas estão presentes em corpos intrusivos em rochas granitoides e nos metassedimentos do Grupo Açungui, suas fases de manifestações são distintas, uma datando de 100 – 100 milhões de anos e 73 – 67 milhões de anos (MINEROPAR, 2001).

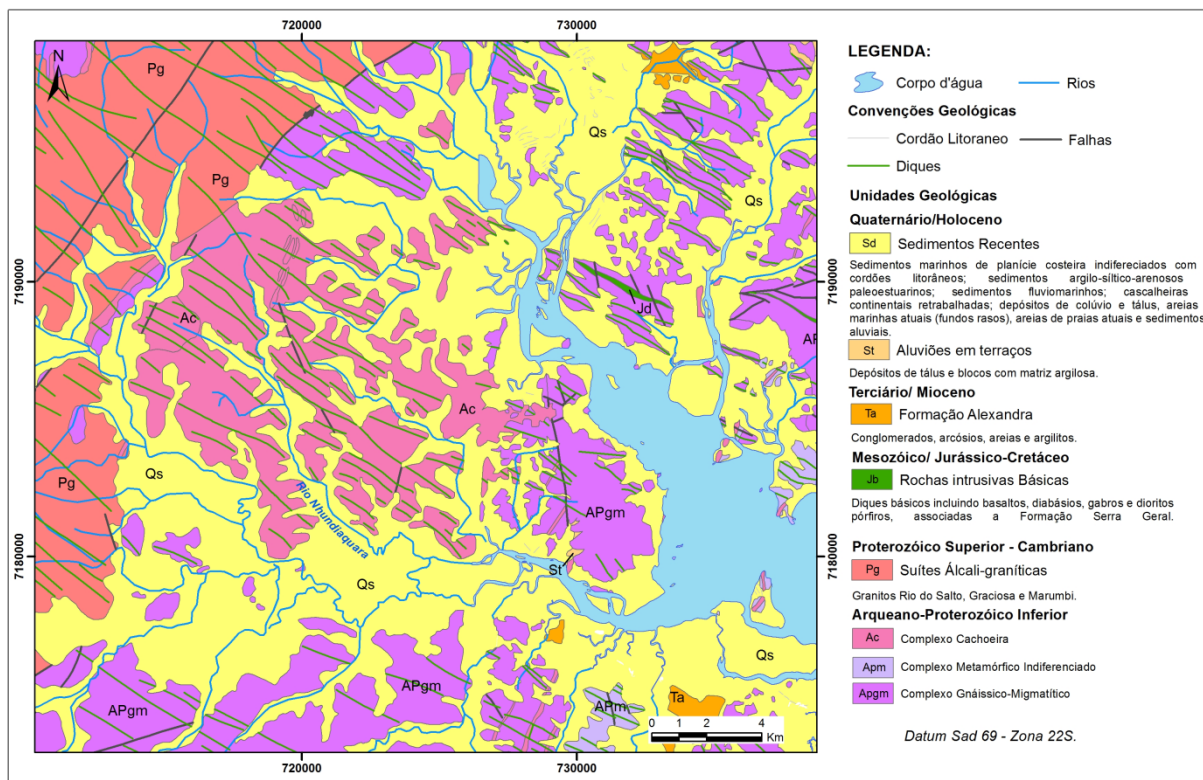
Nas encostas da Serra e no contato com a Planície aparece material continental, representado por sedimentos recentes na forma de tálus e cones aluviais, formados principalmente por seixos (KOZCIAK, 2005).

3.1.5 Cenozóico

Ao longo da planície litorânea paranaense aparecem sedimentos continentais formando depósitos coluviais de silte e argila, que não apresentam estruturas sedimentares, sendo resultado de deslizamentos de grande escala. Na área da planície também ocorrem aluviões fluviais de caráter mais arenoso e leito de cascalho, ocorrendo principalmente ao longo dos rios (CORDONI & GIRARDI, 1967). Estes aluviões podem estar associados a depósitos de várzea e de talude, são inconsolidados, de pequena espessura, formados por silte e argila, aparecendo em áreas restritas ao longo dos rios, são turfosos e com areias de diversas granulometrias. Aparecem também leitos de cascalho com predominância de seixos de quartzo e quartzitos, bem selecionados e arredondados que indicam um transporte efetivo. Os depósitos de aluvião encontram-se ao longo das encostas inferiores da Serra do Marumbi e da Graciosa e cobrem áreas da Planície Litorânea (KOZCIAK, 2005).

Na desembocadura do rio Nhundiaquara, área de transição e influência do estuário, são encontrados sedimentos recentes do Quaternário (Holoceno), com forma de planície de maré formada por sedimentos flúvio-marinhos associados a manguezais e a uma área de sedimentos argilo-siltico-arenosos recentes associados a zonas paleo-estuarinas (KOZCIAK, 2005).

FIGURA 2 – MAPA DA GEOLOGIA REGIONAL DA REGIÃO DO RIO NHUNDIAQUARA. MODIFICADO DE MINEROPAR (2001).



FONTE: A autora (2017).

3.2 GEOMORFOLOGIA

A superfície morfológica atual do Estado do Paraná é o resultado de sistemas hidrográficos, movimentos epirogênicos e tectônicos juntos com as alterações do clima ao longo de milhares de anos (BIGARELLA, 1978). No estado foram classificadas cinco zonas de paisagem natural, o Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e o Terceiro Planalto. A região estudada abrange algumas destas paisagens como a Serra do Mar e a Planície Litorânea (MAACK, 1968).

3.2.1 Serra do Mar

A Serra do Mar paranaense constitui um conjunto de montanhas que separam o Primeiro Planalto da Planície Litorânea com cumes elevados até 1.800 m de altitude, sustentados por diversas litologias, quase sempre metamórficas de alto grau como migmatitos, gnaisses e xistos e mais raramente quartzitos, associados com rochas intrusivas relacionadas a ciclos metamórficos mais jovens. Estas rochas resistentes sustentam diversas unidades morfoestruturais como falhas, zonas de

cisalhamento, fraturas e grandes domínios de rochas supracrustais, os quais condicionam lineamentos maiores e segmentos da rede de drenagem (MINEROPAR, 2006).

Sua origem é atribuída a processos tectônicos de movimentos verticais iniciados no Cenozóico (ALMEIDA, 1976, ASMUS E FERRARI, 1978). Constitui um conjunto de montanhas com vales profundos e estreitos e vertentes íngremes sendo às vezes paredões rochosos abruptos formados pela borda do planalto Atlântico, que se estende pelos estados de Santa Catarina, Paraná e divisa com o estado de São Paulo, na região do Vale do Ribeira de Iguape (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998). Nesta unidade predominam as formas de relevo denudacionais, que são constituídas basicamente por escarpas e cristas com topos aguçados e convexos. O relevo é bastante dissecado e a drenagem se apresenta em padrão dentrítico, pois se adapta às direções das estruturas relacionadas com as falhas, fraturas e contatos litológicos (MINEROPAR, 2006). Alguns ramos da Serra do Mar paranaense se dirigem ao litoral e formam serras marginais como as Serras da Igreja, da Prata, da Graciosa, Boa Vista, Baitaca, dos Órgãos e das Canavieiras (CORDANI E GIRARDI, 1967).

Este compartimento possui relevo muito enérgico com grandes desníveis e fortes declividades, geralmente superiores a 45%. Na região o solo é pouco desenvolvido, mostrando grandes afloramentos rochosos (PAULA, 2010).

Os colúvios estão associados às partes baixas das vertentes e apresentam acumulação de sedimentos provenientes de montante. Por essa razão, os solos são mais profundos e desenvolvidos e as declividades predominantes são de 10 a 45% (PAULA, 2010).

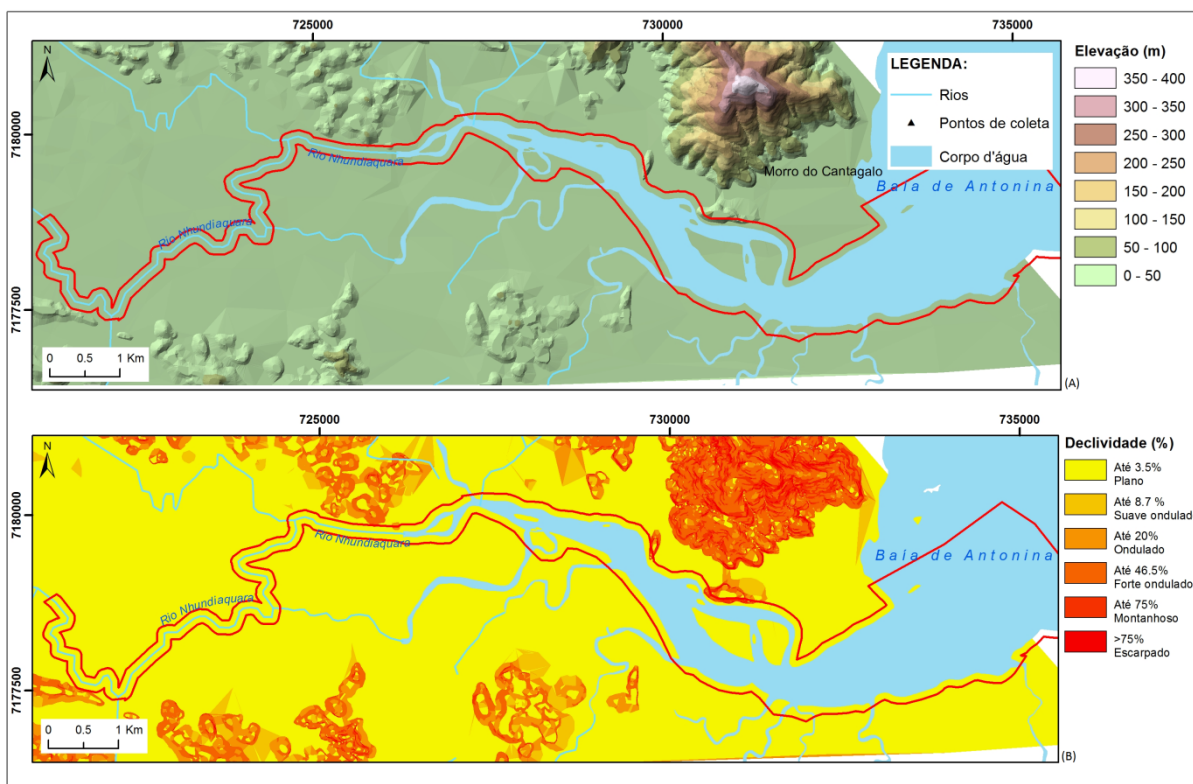
3.2.2 Planície Litorânea

Variações do nível do mar que ocorreram durante o período do Quaternário (1,8 milhões de anos até o presente) são caracterizadas por fases regressivas e transgressivas e com significativas variações no nível marinho, que propiciaram a evolução paleogeográfica da região litorânea do Paraná. A transgressão marinha, que ocorreu há 120.000 anos Antes do Presente (A.P.), recobriu toda a planície litorânea e seu limite era o sopé da Serra do Mar. Provavelmente a configuração da região era a de um golfo, com ilhas esparsas (morros mais altos como os da ilha da

Cotinga, ilha do Mel e Currais) havendo apenas as montanhas e o mar sem a existência de uma planície litorânea significativa (SUGUIO, 2001).

Atualmente a Planície Litorânea paranaense se estende desde o sopé da Serra do Mar até o Oceano Atlântico, possui comprimento de aproximadamente 105 km e largura máxima de 55 km na região da baía de Paranaguá. A planície é recortada pelas baías de Paranaguá e Guaratuba. Tem em geral altitude inferior a 20 m acima do nível do mar, mas pode chegar até 30 m dentro de Morretes (Figura 3) (BIGARELLA, 1959).

FIGURA 3 – MAPA ALTIMÉTRICO (A) E DE DECLIVIDADE (B) MAPA TOPOGRÁFICO DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017)

3.3 REGIME PLUVIAL

Devido a grande diferença de ambientes dentro da região do litoral do Paraná, o clima se comporta de maneiras diferentes em determinadas áreas. De acordo com o IAPAR (1994) o clima predominante no município de Morretes é o de Encosta que seguindo a classificação de Köppen é do tipo *Cfa* – Subtropical Úmido Mesotérmico, onde:

C – clima pluvial temperado: mês mais frio com temperaturas médias entre -3°C e 18°C ;

f – clima sempre úmido: chuva todos os meses do ano;

a – temperatura média no mês mais quente acima dos 22°C .

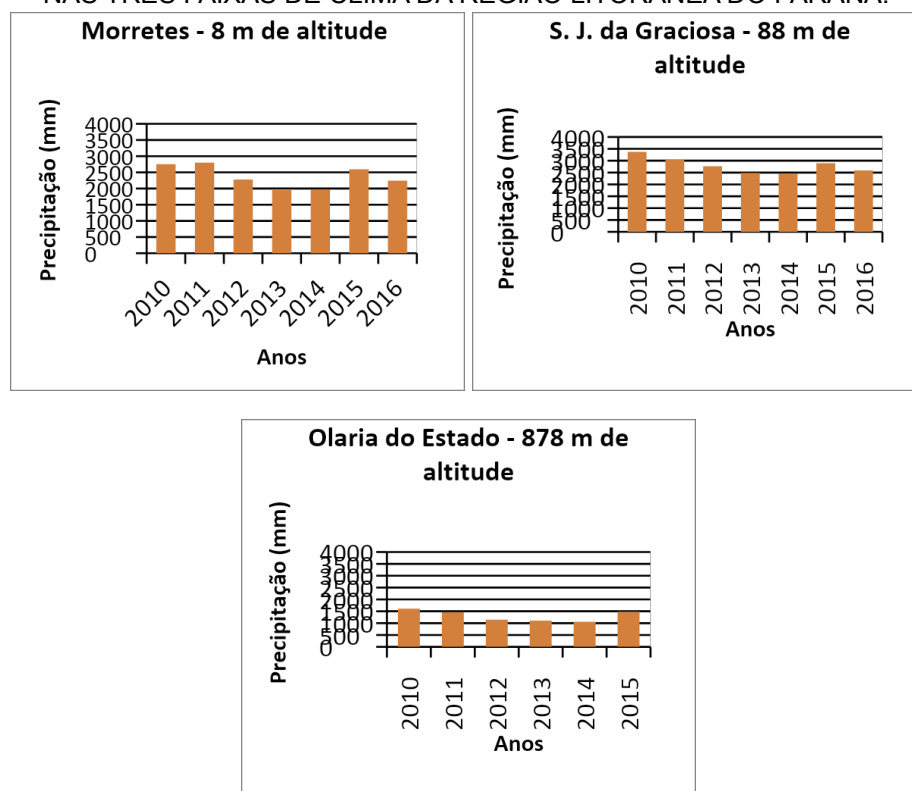
Esta faixa se estende ao longo da Serra do Mar e a uma parte estreita da base da serra, numa largura de 6 a 8 km. Apresenta uma das cotas de precipitação mais elevadas do Brasil, pois a brisa Atlântica, subindo a Serra do Mar, se condensa e a umidade do ar forma nuvens densas que originam as precipitações e as denominadas chuvas orográficas.

Acima da Encosta, 700 a 1.532 m acima do nível do mar, o clima é *Cfb* e possui médias térmicas inferiores e ocorrência de geadas no inverno, onde *b* significa que a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C (IPARDES, 1995). Devido às variações altimétricas da Serra do Mar, a temperatura média sobre esse ambiente diminui cerca de $0,6^{\circ}\text{C}$ a cada 100 m de altura acima (MAACK, 1968; PAULA, 2010).

A faixa que cobre a Planície Litorânea, com altitudes inferiores a 50 m do nível do mar, corresponde ao clima do tipo *Af* – Tropical Superúmido, sem estação seca, com temperatura média todo o ano acima dos 18°C , isento de geadas e com precipitação média, no mês mais seco, acima de 60 mm (SILVA, 2001).

A região ainda conta com os níveis mais elevados de pluviosidade do Estado do Paraná, superando os 2.000 mm. A vertente leste da Serra do Mar tem os valores mais expressivos de pluviosidade do país, superando o total acumulado de 3.500 mm por ano. Na porção da planície são identificados valores anuais de precipitação entre 2.000 a 2.400 mm. Entre a planície e a serra nota-se uma estreita faixa de transição onde os valores se ampliam de 2.400 a 2.800 mm (PAULA, 2010). A variação anual das chuvas na região, tomando como exemplo as estações pluviométricas de Morretes (2548000), São João da Graciosa (2548047) e Olaria do Estado (2549087), pode ser visualizada na Figura 4.

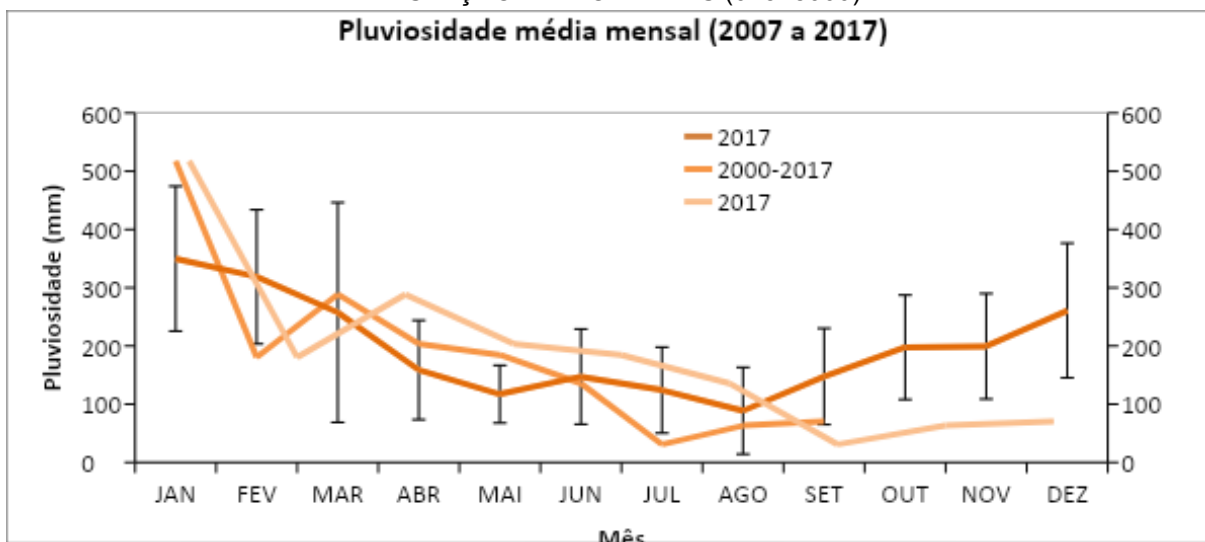
FIGURA 4 – PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA ANUAL EM ESTAÇÕES SITUADAS NAS TRÊS FAIXAS DE CLIMA DA REGIÃO LITORÂNEA DO PARANÁ.



FONTE: Instituto das Águas do Paraná (2017).

Existe ainda a sazonalidade das chuvas no litoral, onde se destaca a considerável abundância de chuvas nos meses de verão, época do ano em que a atuação da Massa Tropical Atlântica (MTA) é predominante. Nos meses de inverno os episódios de chuva diminuem, mas as frentes frias ainda provocam precipitações neste período (PAULA, 2010) como mostra a Figura 5.

FIGURA 5 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NO PERÍODO DE 2007 A 2017, E DO ANO DE 2017 NA ESTAÇÃO DE MORRETES (02548000).



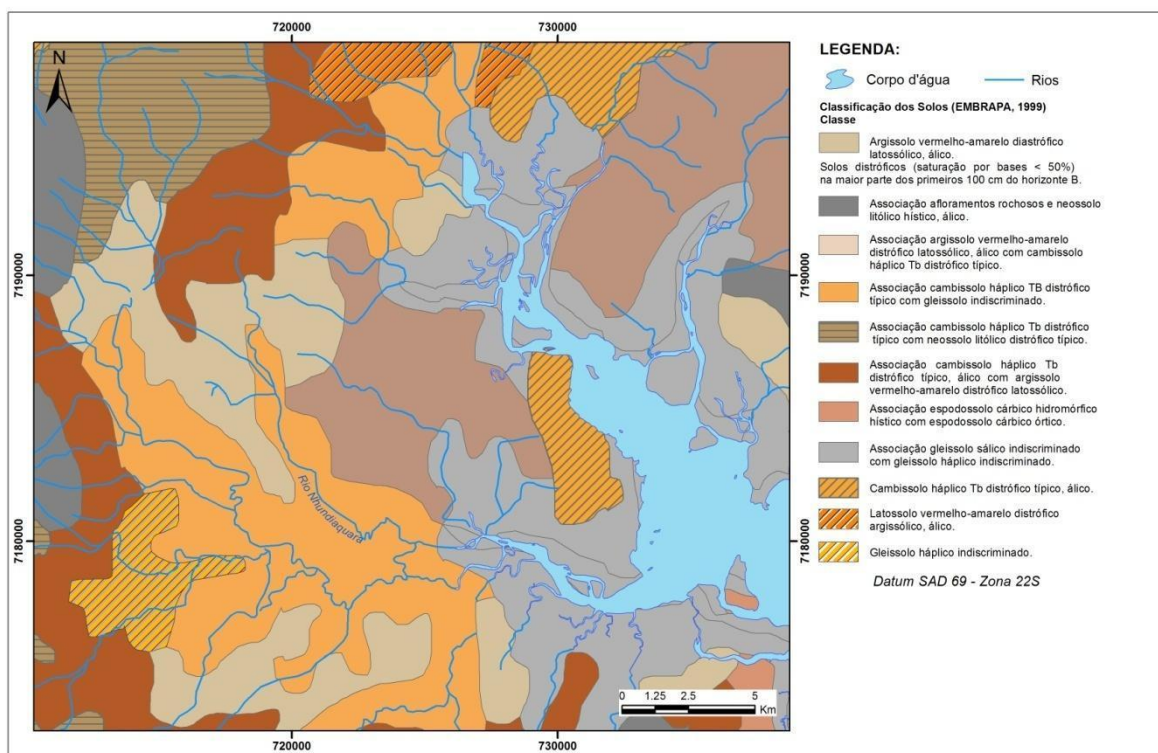
FONTE: Instituto das Águas do Paraná (2017).

3.4 SOLOS

Os solos que apresentam predominância na bacia do rio Nhundiaquara são o Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho – Amarelos (CX + PVA), que corresponde a 23,7% da área total e uma subordem de Cambissolos Háplicos (CX) somando 18,4% do total. Em seguida, a associação entre o Neossolo Litólico e Afloramentos Rochosos (RL) aparece com 11,8% da área total (PAULA, 2010).

Na sequência, em termos de área, ocorre a associação Cambissolo Háplico com Neossolo Litólico (CX + RL) com 11,7% e Gleissolos Háplicos (GX) com 10,5% de área. A associação de Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico (GX + RY) configura 5,3% e a associação Cambissolo Háplico com Latossolo Vermelho – Amarelo (CX + LVA) soma 5,1%. As demais unidades pedológicas possuem valores inferiores a 5% da área de drenagem, como mostra a Figura 6 (PAULA, 2010).

FIGURA 6 - TIPOS DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NHUNDIAQUARA



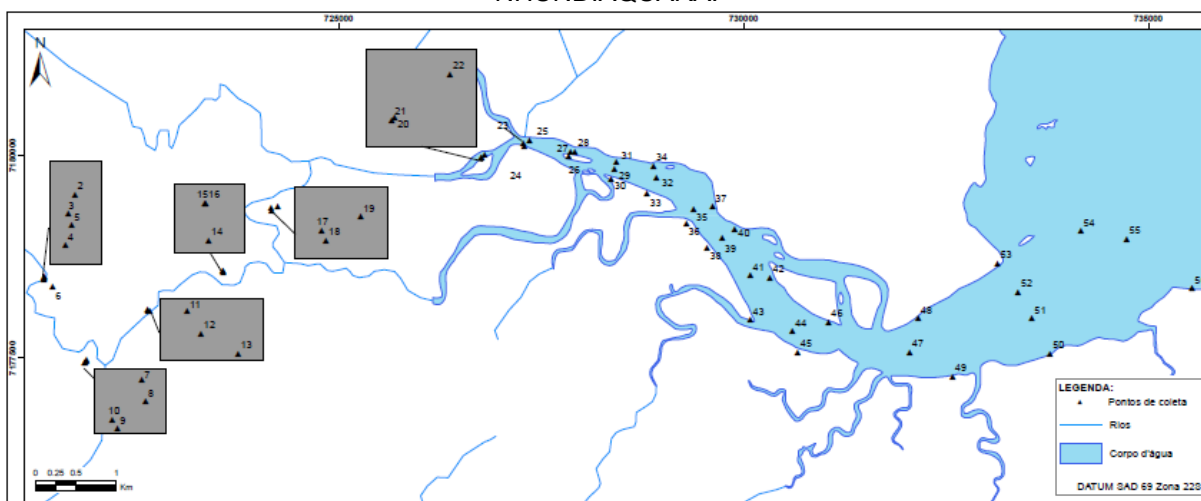
FONTE: a autora (2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS DE FUNDO

A campanha de campo ocorreu em outubro de 2017, no fim do período de estiagem da região, ao longo do baixo curso do rio Nhundiaquara. Para caracterizar os sedimentos de fundo do rio, foram coletadas 52 amostras de sedimentos. Estas amostras foram distribuídas em perfis transversais na seção fluvial que contemplavam as laterais e a porção central do rio, feitos a cada 1km (Figura 9).

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA AO LONGO DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017).

Em cada ponto foram obtidas as coordenadas geográficas utilizando GPS autônomo (*Global Positioning System*) e uma amostra de sedimento de fundo com draga busca-fundo do tipo Petit Ponar. Os sedimentos coletados passaram por uma análise macroscópica preliminar, onde foi observada a cor, consistência, presença de cascalhos, fragmentos vegetais ou carapaças biogênicas, homogeneidade e ocorrência ou não de flocos de lama (silte e argila). Após esta avaliação, uma parcela da amostra foi colocada em frascos plásticos de 100 ml e armazenada em isopor com gelo, para manter a umidade natural da amostra e minimizar processos de decomposição da matéria orgânica. Estas amostras foram identificadas de forma crescente, da montante do rio para a sua foz, seguindo a direção do fluxo. Além da amostra de sedimentos, fotos auxiliares das margens do rio foram tiradas (Figura 10).

FIGURA 10 – FOTOS DAS MARGENS DO RIO NHUNDIAQUARA: (A) PONTO 13 (25°29'S/48°47'O); E(B) PONTO 14 (25°29'S/48°46'O).



(A)



(B)

FONTE: A autora (2017).

4.2 ANÁLISE LABORATORIAL

No laboratório as amostras foram homogeneizadas e secas em estufa a 60°C. Uma pequena fração desta amostra foi tratada com dois reagentes químicos: a) com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) na concentração de 30 Vol., para diminuir a possível formação de agregados (floculação); b) Ácido Clorídrico (HCl), diluído a 10%, para a retirada de carbonatos. Após as reações, a amostra foi lavada com água destilada e seca novamente.

Amostras que apresentavam frações muito grossas, com presença de grânulos e areias grossas, passaram por um peneiramento a seco, em malha de 1 mm. Os sedimentos que ficaram retidos na malha foram pesados e separados das

frações que passaram da malha. Apenas a última fração teve destinação ao processo de granulometria.

A determinação granulométrica foi efetuada com a utilização do método de difração a laser em um equipamento Bluewave (Microtrac). Neste equipamento, o grão de sedimento passa por três feixes de laser vermelho ($\lambda = 780 \text{ nm}$) que determinam a distribuição do tamanho da partícula. Através dessa interação partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos (em relação ao do feixe de laser) e as partículas pequenas farão o contrário. Para calcular cada classe de tamanho das partículas foi utilizado o software Microtrac FLEX, que emprega a teoria de difusão de luz de Mie, determinando este volume com base no modelo de uma esfera e volume equivalente (GUILHERME *et al.*, 2015).

Em paralelo ao processamento granulométrico foram quantificados os teores de carbonatos (CO_3) e matéria orgânica (M.O.). Para tanto, parcelas de 10 g de sedimentos secos foram submetidos ao ataque químico com ácido clorídrico (HCl) com concentração de 10% para os carbonatos, e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30 Vol. para matéria orgânica. A quantificação destes teores se dá através da comparação dos pesos antes e depois das reações químicas, como descrito por Gross (1971).

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para obtenção dos parâmetros estatísticos granulométricos foi utilizado o método de Folk & Ward (1957) que considera pontos na curva de frequência acumulada para definir o diâmetro médio, desvio padrão (grau de seleção), assimetria e curtose da amostra.

Estas análises estatísticas granulométricas são embasadas na curva de distribuição de frequências (normal ou gaussiana), pois se trata de um método simples e eficiente para uma avaliação desse tipo de dados (DIAS, 2004).

5 RESULTADOS

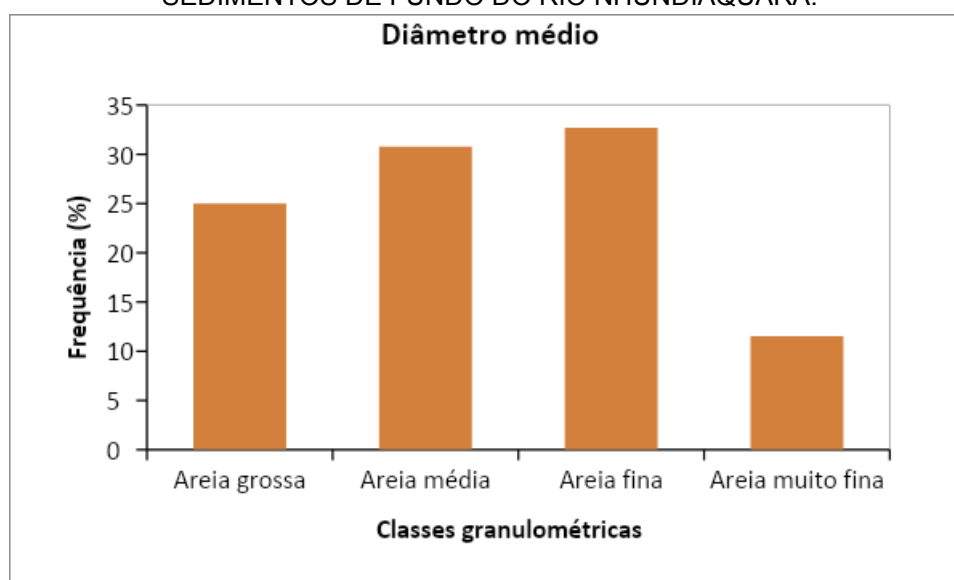
Para a descrição dos resultados optou-se por dividir o trecho do rio em setores com diferentes características. O Setor 1 abrange amostras dos pontos 1 ao 19; Setor 2, dos pontos 20 ao 47; e Setor 3 dos pontos 48 a 56. As margens

obedecem a direção do fluxo, sendo a margem direita o lado Leste do rio e a margem esquerda o lado Oeste.

5.1 DIÂMETRO MÉDIO

O diâmetro médio das amostras do rio Nhundiaquara evidencia uma variação granulométrica entre as classes de areia grossa (0,500 mm) e areia muito fina (0,0625 mm). Do total de amostras, as areias finas correspondem a 32%, areia média 30% e as demais classes foram areia grossa com 25% e areia muito fina com 11% do (Figura 11).

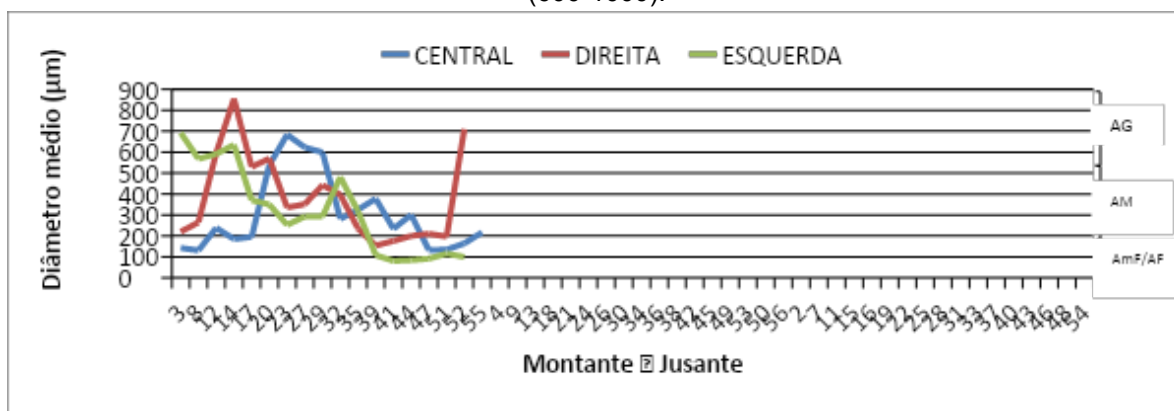
FIGURA 11 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DO DIÂMETRO MÉDIO DAS 52 AMOSTRAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017).

No geral, a margem direita (lado Leste) e esquerda (lado Oeste) apresentaram sedimentos médios e grossos, sendo que a classe de areia fina ocorreu somente na foz do rio. A porção central do rio apresentou areia muito fina dentro do Setor 1, e nos demais setores a distribuição se iguala às margens, apresentando areia grossa, média e fina na foz do rio. Exceto para o centro do canal, a distribuição dos sedimentos se comportou de acordo com a tendência de diminuição do tamanho dos sedimentos ao longo de seu curso.

FIGURA 12 – VARIAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO AO LONGO DO RIO NHUNDIAQUARA. “AmF/AF” = AREIA MUITO FINA A FINA (0-200); “AM” = AREIA MÉDIA (200-600); E “AG” = AREIA GROSSA (600-1000).

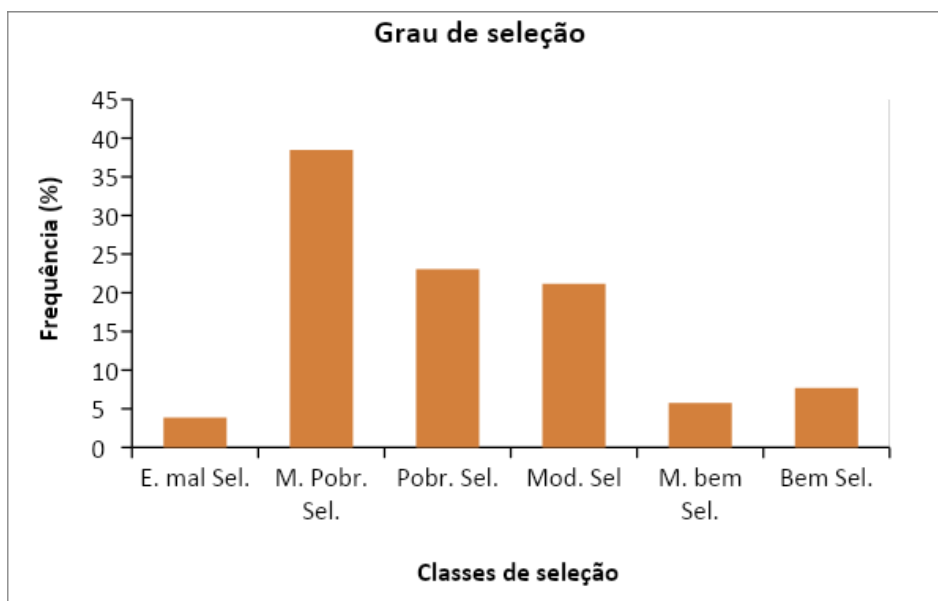


FONTE: A Autora (2017).

5.2 GRAU DE SELEÇÃO

Quanto ao grau de seleção, os sedimentos do rio Nhundiaquara apresentam predominantemente sedimentos muito pobremente selecionados, ocorrendo em 40% do total de amostras, seguidos de sedimentos pobremente selecionados (23%) e moderadamente selecionados (21%). As demais classes aparecem em menor frequência, como os sedimentos bem selecionados com 7%, os muito bem selecionados com 5% e os sedimentos extremamente mal selecionados ocorrendo em aproximadamente 4% das amostras (Figura 13).

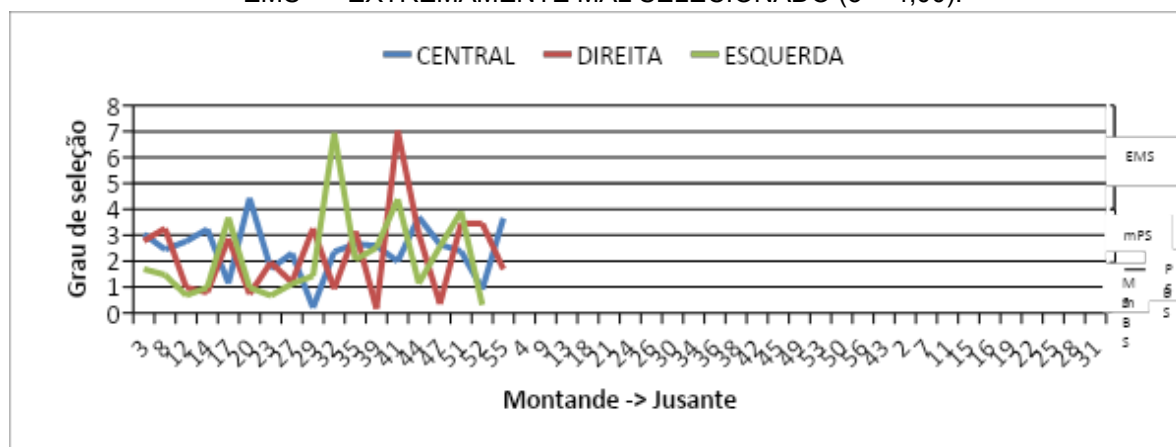
FIGURA 13 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DO GRAU DE SELEÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA. “E. mal Sel.” = EXTREMAMENTE MAL SELECIONADO; “M. Pobr. Sel.” = MUITO POBREMENTE SELECIONADO; “Pobr. Sel.” = POBREMENTE SELECIONADO; “Mod. Sel.” = MODERADAMENTE SELECIONADO; “M. bem Sel.” = MUITO BEM SELECIONADO; E “Bem Sel.” = BEM SELECIONADO.



FONTE: A autora (2017).

O grau de seleção ao longo do rio Nhundiaquara apresenta variação entre sedimentos pobremente selecionados e muito pobremente selecionados ao longo de todo o trecho. Apenas em pontos isolados ocorreram sedimentos extremamente mal selecionados, como foram os casos dos pontos 20, 28 e 45, no Setor 2. Todos esses pontos estão próximos a ilhas. Eles também apresentaram granulometria maior, onde nos pontos 20 e 28 ocorrem areias grossas e no ponto 45 areia média. A região da desembocadura é, em sua maioria, composta por sedimentos muito pobremente selecionados e predominantemente de areias finas (Figura 14).

FIGURA 14 - VARIAÇÃO DO GRAU DE SELEÇÃO (σ) AO LONGO DO RIO NHUNDIAQUARA. VALORES: "mBS" = MUITO BEM SELECIONADO ($\sigma < 0,35$); "BS" = BEM SELECIONADO ($0,35 - 0,50$); "MS" = MODERADAMENTE SELECIONADO ($0,50 - 1,00$); "PS" = POBREMENTE SELECIONADO ($1,00 - 2,00$); "MPs" = MUITO POBREMENTE SELECIONADO ($2,00 - 4,00$); E "EMS" = EXTREMAMENTE MAL SELECIONADO ($\sigma > 4,00$).

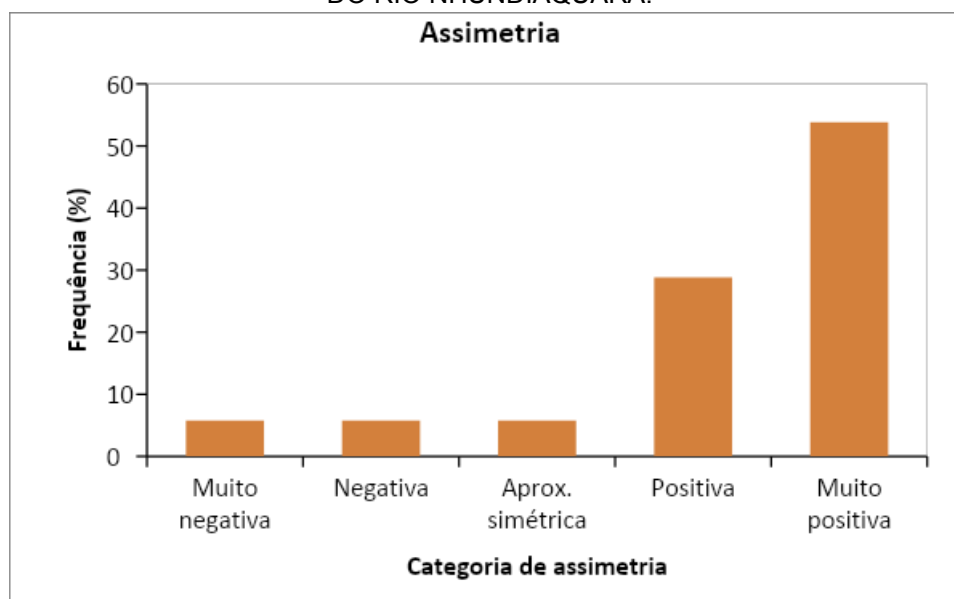


FONTE: A Autora (2017).

5.3 ASSIMETRIA

A assimetria dos sedimentos ao longo do rio Nhundiaquara mostra que a classe predominante foi a assimetria muito positiva, caracterizando 53% das amostras, e em seguida a assimetria positiva (28%). Sedimentos com assimetria aproximadamente simétrica, negativa e muito negativa ocorreram em 6% das amostras totais (Figura 15).

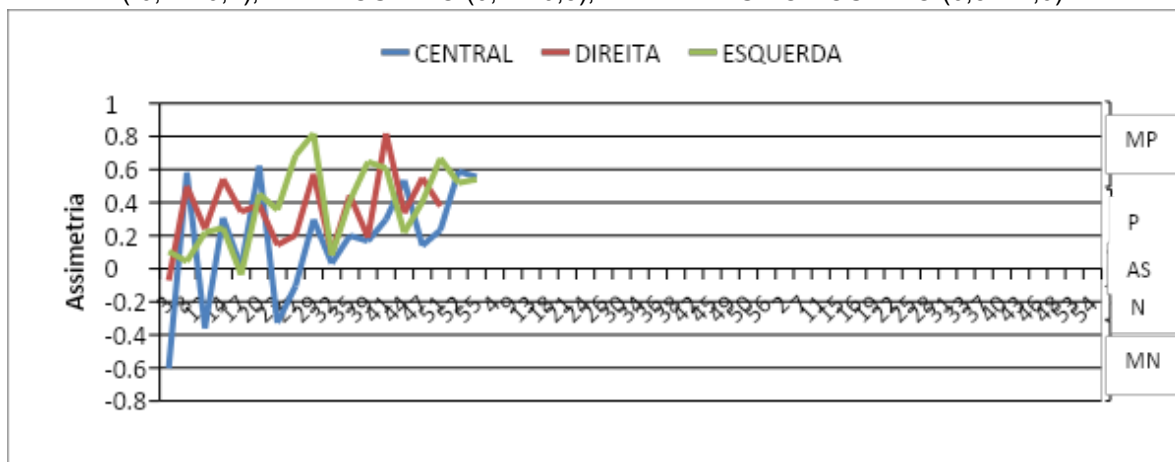
FIGURA 15 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DA ASSIMETRIA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017).

Observa-se que a tendência da assimetria é negativa no Setor 1 e início do Setor 2. A partir do ponto 27 (Setor 2) passa a ser positiva, chegando a ser muito positiva na desembocadura do rio. Quanto às margens, a assimetria variou de positiva para muito positiva, mantendo esta tendência para todo o perfil longitudinal do rio Nhundiaquara. Os valores de assimetria tendem a uma leve diminuição, de muito positivo para positivo, próximo à foz do afluente rio Sagrado, rio Saquarema e rio Jacareí (Figura 16).

FIGURA 16 – VARIAÇÃO DA ASSIMETRIA AO LONGO DO RIO NHUNDIAQUARA. “MN” = MUITO NEGATIVO (-1,0 A -0,3); “N” = NEGATIVO (-0,3 A -0,1); “AS” = APROXIMADAMENTE SIMÉTRICO (-0,1 A 0,1); “P” = POSITIVO (0,1 A 0,3); E “MP” = MUITO POSITIVO (0,3 A 1,0)

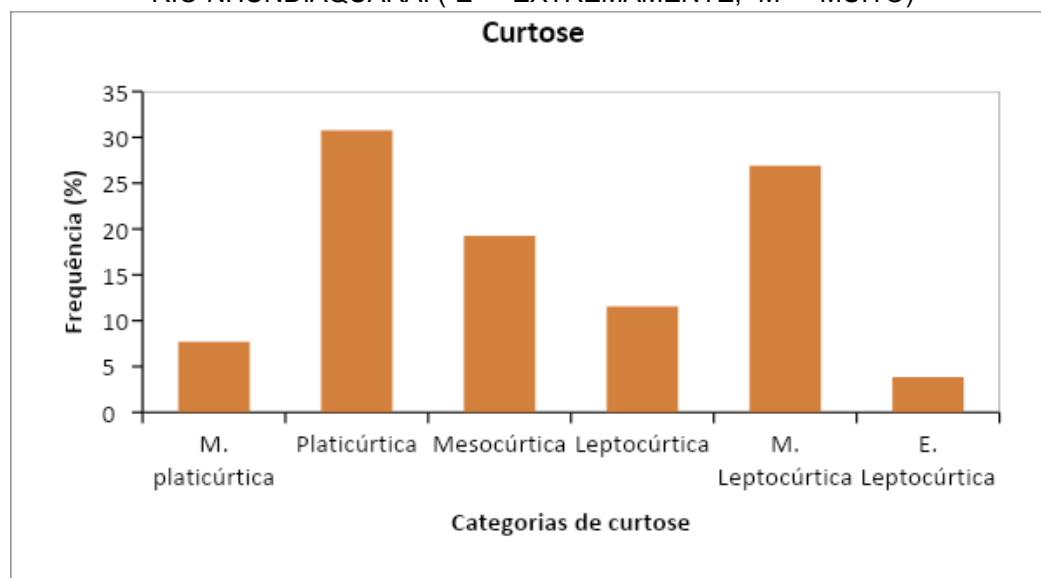


FONTE: A autora (2017).

5.4 CURTOSE

Os sedimentos de fundo do rio Nhundiaquara são predominantemente platicúrticos (30%) e muito leptocúrticos (27%). As demais classes foram mesocúrticos (19%), leptocúrticos (11%), muito platicúrticos (7%) e extremamente leptocúrticos (3%) (Figura 17).

FIGURA 17 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DE CURTOSE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA. (“E” = EXTREMAMENTE; “M” = MUITO)

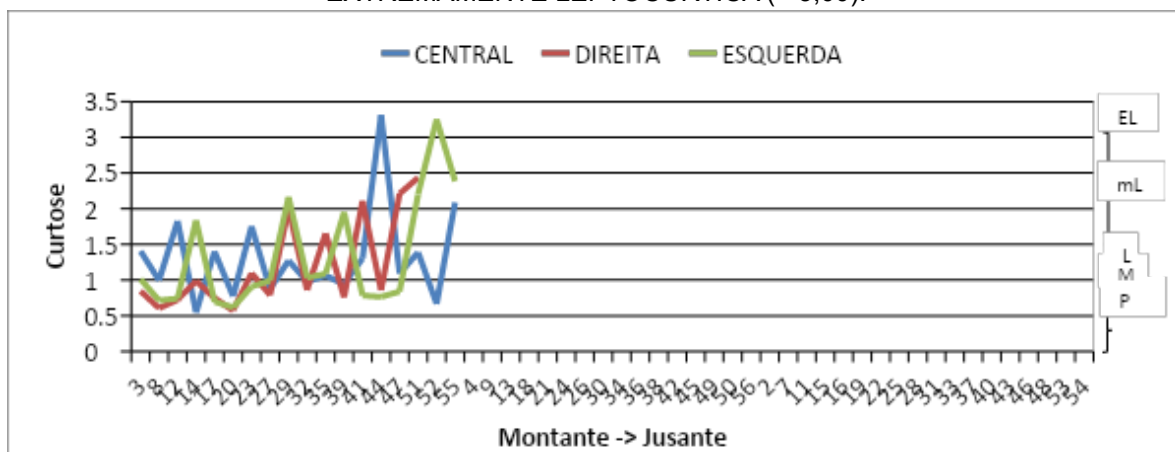


FONTE: A autora (2017)

A variação longitudinal da curtose no rio Nhundiaquara exibe uma tendência de valores platicúrticos para muito leptocúrticos. Esta variação se mantém ao longo

do rio até a proximidade com a desembocadura do rio, onde ocorrem sedimentos extremamente leptocúrticos (Figura 18).

FIGURA 18 - VARIÇÃO DA CURTOSE AO LONGO DO RIO NHUNDIAQUARA. “mP” = MUITO PLATICÚRTICA (< 0,67); “P” = PLATICÚRTICA (0,67-0,90); “M” = MESOCÚRTICA (0,90-1,11); “L” = LEPTOCÚRTICA (1,11-1,50); “mL” = MUITO LEPTOCÚRTICA (1,50-3,00); E “EL” = EXTREMAMENTE LEPTOCÚRTICA (> 3,00).

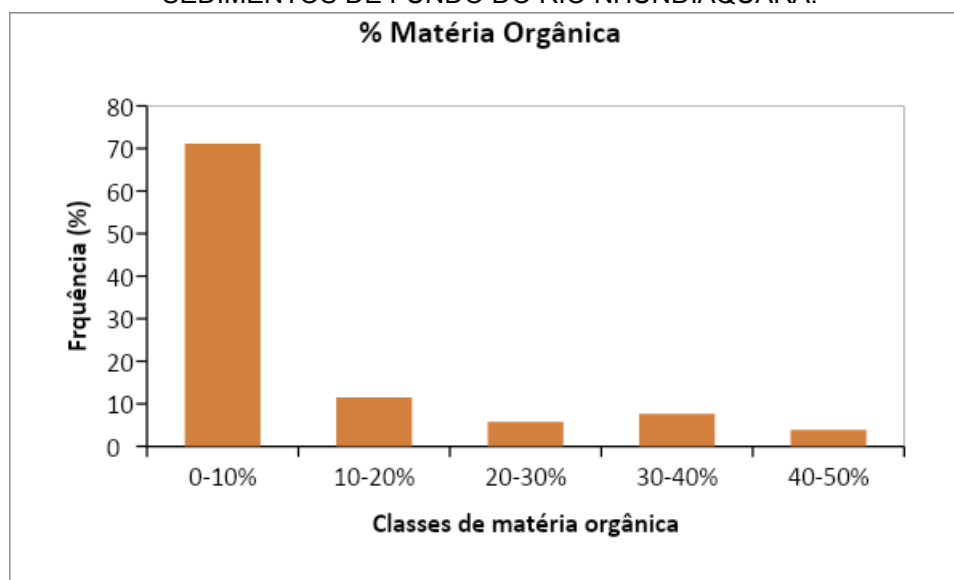


FONTE: A autora (2017).

5.5 MATÉRIA ORGÂNICA

A maioria das amostras do rio Nhundiaquara (71%) apresentou teores de 0% a 10% de matéria orgânica, seguida da classe entre 10-20%, que representou 11%. A classe de teores entre 30-40% representou 5% e o teor próximo a 50% representou 3% (Figura 19).

FIGURA 19 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017).

Ao longo do perfil longitudinal do rio Nhundiaquara o teor de matéria orgânica manteve-se baixo devido ao fato de que os sedimentos de fundo são compostos

predominantemente por areias. Essa tendência é interrompida no ponto 37 (Setor 2) onde ocorre areia média, extremamente mal selecionada (Figura 20).

As variações do teor de M.O entre as margens direita e esquerda estão relacionadas a dois tipos de feições geomorfológicas ao longo do rio. Quando o teor de matéria orgânica esteve relacionado com sedimentos finos, constatou-se que estes pontos coincidem com curvas do rio convexas. Estas curvas se formam através da escavação da margem côncava (maior velocidade da corrente) e deposição na margem convexa (menor velocidade de corrente), o que explica os resultados obtidos. Quando ocorreram em sedimentos mais grossos, os pontos coincidiram com bancos arenosos, também relacionados com sedimentos extremamente mal selecionados.

Nas proximidades da foz do rio Nhundiaquara (Setor 3) existe um aumento do teor de matéria orgânica nos sedimentos de fundo, devido a influência do estuário, havendo neste local mistura de sedimentos fluviais e estuarinos.

FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE MATÉRIA ORGÂNICA AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO NHUNDIAQUARA.

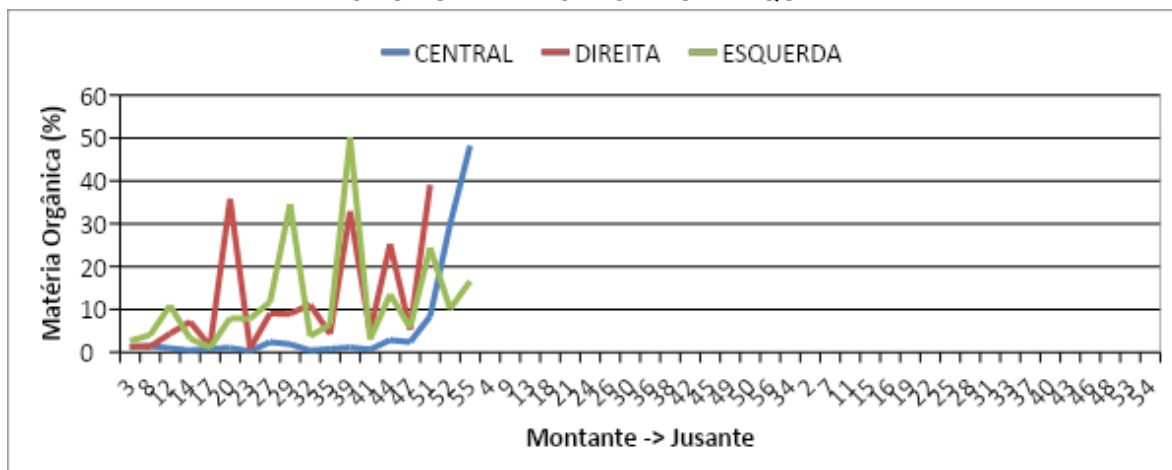
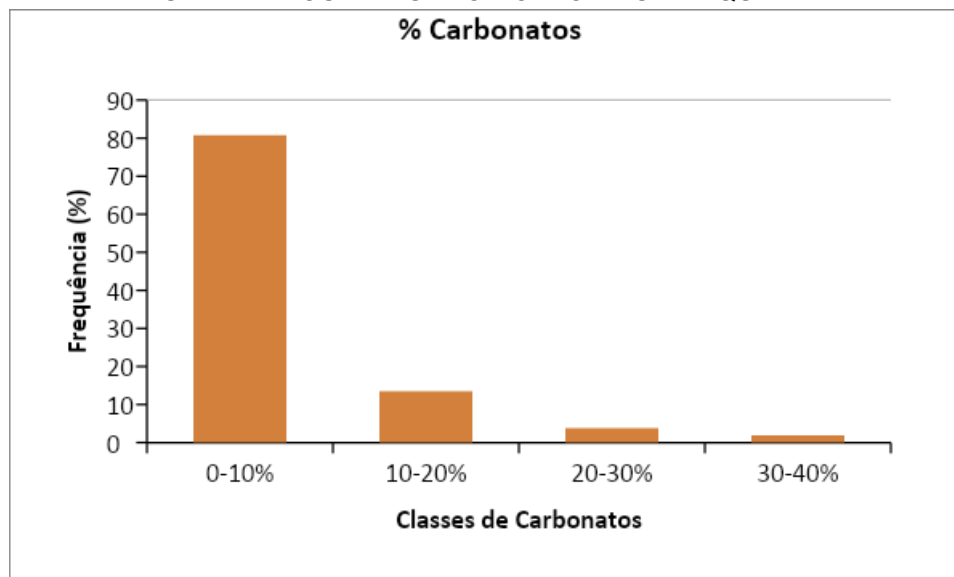


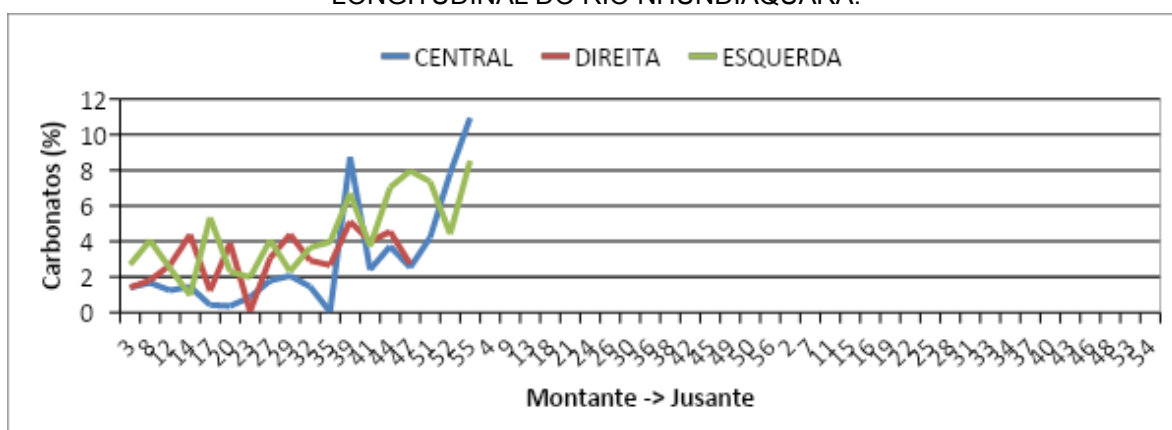
FIGURA 22 - HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CARBONATOS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A autora (2017).

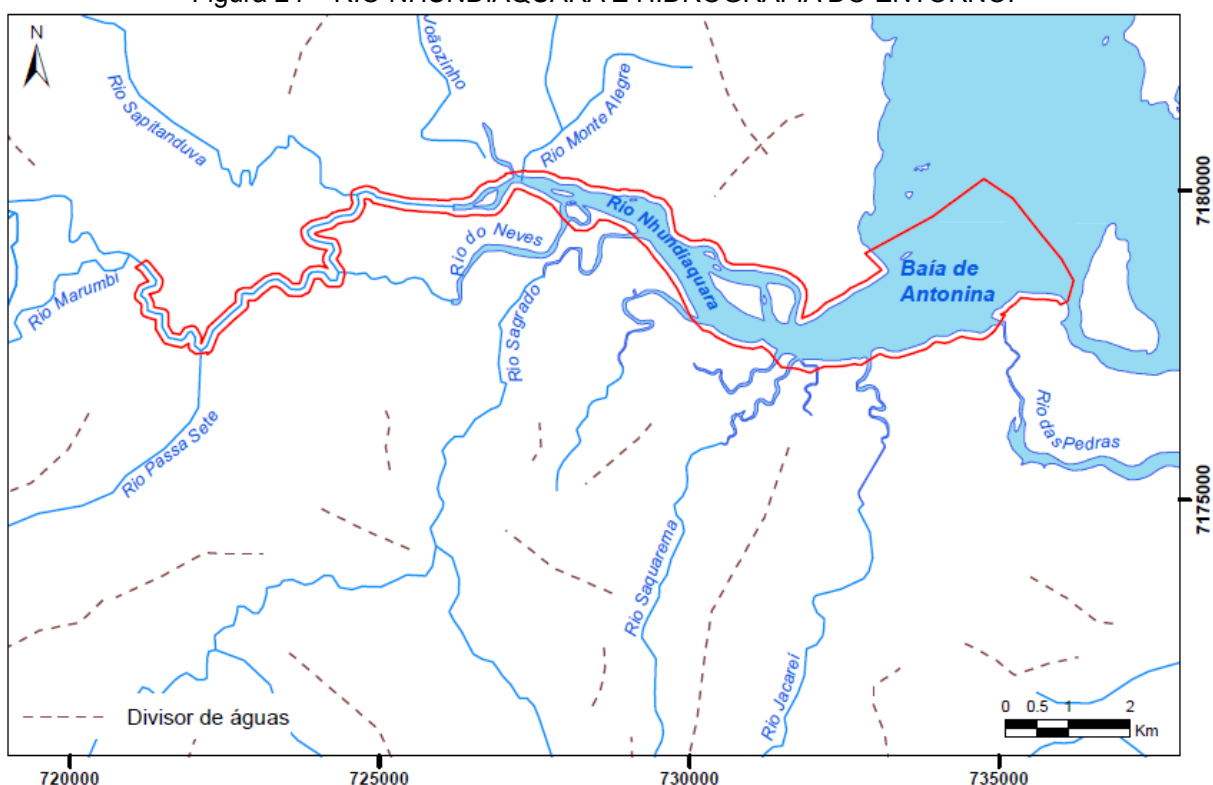
Entre a margem direita e esquerda, ao longo de todo o perfil longitudinal do rio, o teor de carbonatos manteve-se abaixo dos 10%, com a tendência ao aumento apenas na desembocadura. Este aumento está relacionado com a influência da zona estuarina e a mistura com sedimentos marinhos (Figura 23).

FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DO TEOR DE CARBONATOS AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL DO RIO NHUNDIAQUARA.



De acordo com Suguio (1973) o diâmetro médio das partículas reflete a média geral de tamanho dos sedimentos e que pode ser afetada pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente. A distribuição destes valores para o rio Nhundiaquara evidencia a nítida tendência de redução do tamanho das partículas em direção à sua foz no estuário (ou jusante). Contudo, este processo é interrompido com a entrada dos afluentes Rio Sapetanduva, São Joãozinho Feliz e Rio Monte Alegre ao final do Setor 1, onde ocorre o aumento do tamanho do grão (Figura 24). A jusante da entrada destes tributários, o trabalho seletivo do fluxo e a abrasão das partículas atuam novamente e promovem o reinício do processo de diminuição do tamanho das partículas. A interrupção da granodecrescência ao longo do perfil longitudinal é um assunto estudado em várias partes do mundo (NORDIN *et al.*, 1979; MERTES E MEADE, 1985; SIMONS E SENTÜRK, 1992; STRASSER, 2008) e no Brasil pode ser comparado com o estudo realizado por Luz *et al.* (2014).

Figura 24 – RIO NHUNDIAQUARA E HIDROGRAFIA DO ENTORNO.



Fonte: A autora (2017)

A variação do grau de seleção dos sedimentos de fundo ao longo do rio Nhundiaquara não evidenciou uma tendência, variando pouco entre pobremente selecionado a muito pobremente selecionado. Apesar da ausência de tendência

longitudinal no grau de seleção, a proximidade com ilhas e a entrada de afluentes ocasionou uma diminuição local do grau de seleção. Para a margem direita, a qual possui maior número de afluentes, não foi observada alteração na tendência dos sedimentos de serem pobremente selecionados. Entretanto, a margem esquerda parece responder às entradas de afluentes, como nos pontos 28 e 37, que estão localizados na margem oposta do rio do Monte e do rio Sagrado. Essa tendência pode ser resultado de pulsos de maior vazão destes tributários que, com maior energia, que depositam os sedimentos na margem oposta.

Os valores de assimetria, assim como os de diâmetro médio, mostram tendência contrária ao que se espera de um perfil longitudinal fluvial. No Setor 1 a assimetria tem a tendência a ser negativa, passando para valores positivos a muito positivos na jusante do rio Nhundiaquara. Essa tendência conjunta ocorre onde, no Setor 1, os sedimentos possuem granulometria menor, indicando que no local ocorre erosão seletiva dos sedimentos. Dentro do Setor 2 e 3 a assimetria passa a ser positiva e isto indica que na região os sedimentos tendem a se depositar. Esta é a região com maior número de afluentes dentro do rio Nhundiaquara.

A variação longitudinal da curtose exhibe tendência dos valores platicúrticos para muito leptocúrticos, processo que evolui ao longo do perfil chegando a valores extremamente leptocúrticos em sua foz. A tendência dos sedimentos serem platicúrticos na porção a montante do rio Nhundiaquara indica que neste ponto os sedimentos sofrem mistura entre os sedimentos oriundos da bacia de drenagem com os já presentes no leito do rio. Quando a tendência passa a ser muito leptocúrtica, na foz, os sedimentos ainda possuem suas características primárias, indicando que foram transportados com alta energia. A alteração da tendência de platicúrticos para muito leptocúrtico ocorre após a entrada do afluente Rio Sapetanduva, São Joãozinho e Rio Monte Alegre.

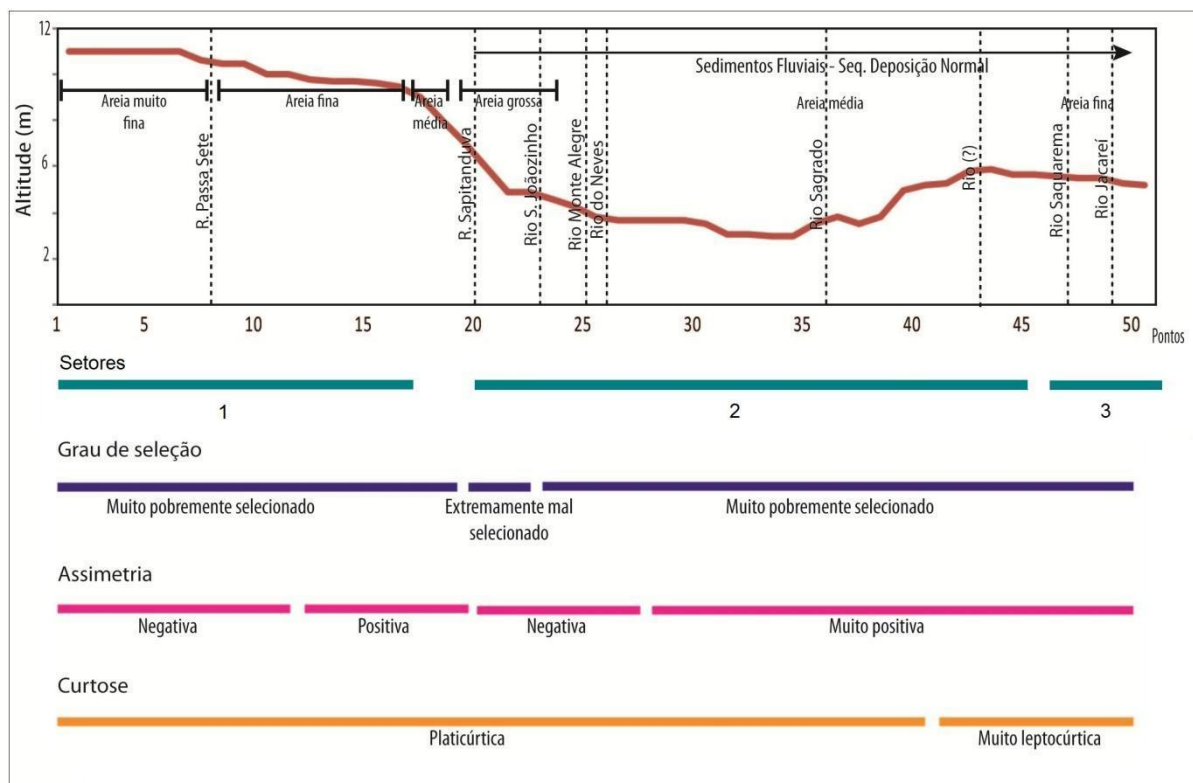
De modo geral, as características sedimentares do rio Nhundiaquara se comportam de três formas distintas (Figura 25). O Setor 1 foi o que apresentou as maiores diferenças entre os demais. Em sua totalidade é composto por areias muito finas, muito pobremente selecionadas, de assimetria negativa e curtose platicúrtica. Por estes parâmetros, podemos inferir que esta é uma região de baixa correnteza onde o fluxo é capaz de selecionar os sedimentos dentro de uma zona distal do rio Nhundiaquara. Entretanto, este pacote sedimentar também é característico de regiões de pontal de barra, feição formada na margem convexa das curvas de rios, e

no caso, uma curva meândrica, que coincide com a localização dos pontos. Nestas regiões a velocidade da corrente é menor, então os sedimentos se depositam e se acumulam podendo estreitar o canal do rio até a formação de um meandro abandonado.

O Setor 2 apresentou areias grossas e médias, grau de seleção que variou de muito pobremente selecionado a extremamente selecionado, curtose e assimetria constantes entre leptocúrticas e muito positivas, respectivamente. Esta região apresentou tendência de diminuição do tamanho da partícula e melhora no grau de seleção. É neste setor que temos a entrada de diversos afluentes no corpo do rio Nhundiaquara, principalmente os responsáveis pela mudança abrupta nas características sedimentológicas do Setor 1 para o Setor 2. Estes afluentes percorrem caminhos diferentes dentro da bacia do rio Nhundiaquara e as características que trazem alteram localmente o rio de maior ordem tanto em aspectos sedimentológicos como também hidrodinâmicos.

Por fim, o Setor 3, possui areias finas, muito pobremente selecionadas, curtose e assimetria similares ao Setor 2. Esta região responde a processos estuarinos e é nela que os teores de matéria orgânica e carbonatos ocorrem com valores mais expressivos. Dentro desta região constatou-se a mistura de flocos de lama (siltes + argilas) com as areias finas. Estes flocos são formados em zonas de transição e são característicos de sedimentos estuarinos. Esta mistura ocorreu a partir do ponto 45 indicando que existe a influência dos sedimentos estuarinos em torno desta localização.

FIGURA 25 – PERFIL LONGITUDINAL DO CURSO PRINCIPAL RIO NHUNDIAQUARA E A ENTRADA DOS PRINCIPAIS AFLUENTES.



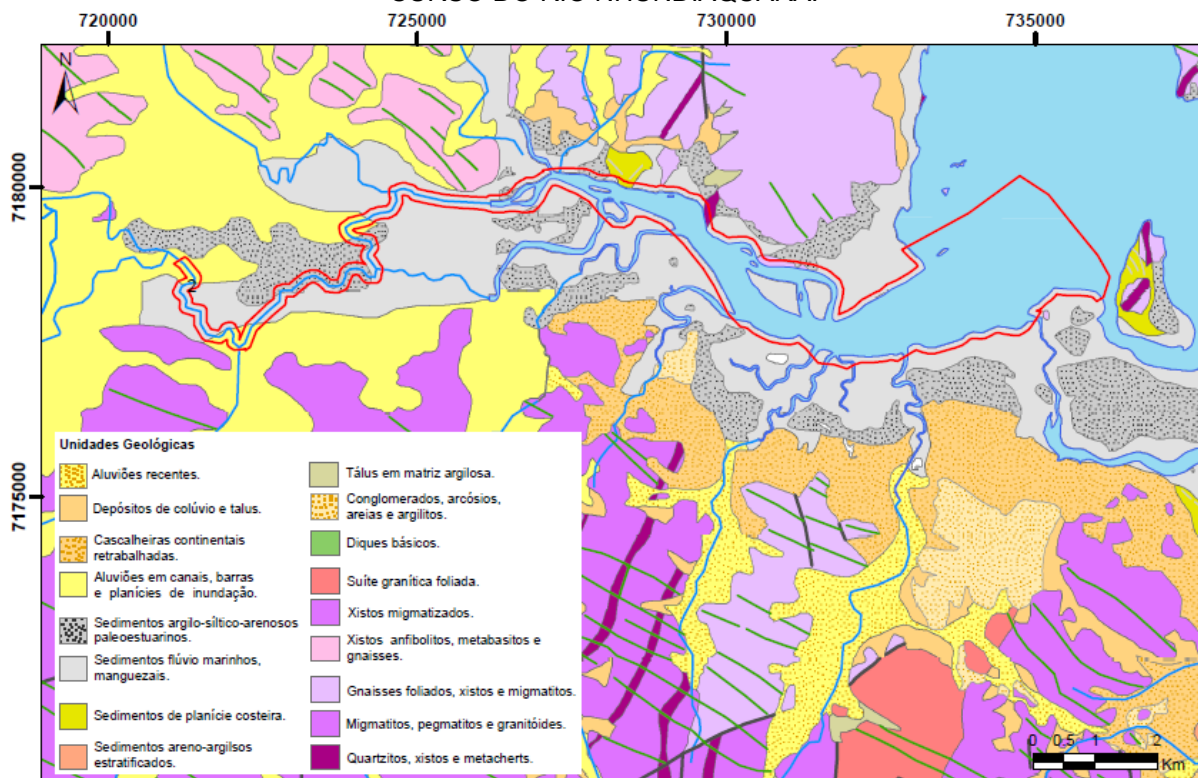
FONTE: A Autora (2017)

A análise do comportamento espacial dos sedimentos de fundo do rio Nhundiaquara pode identificar tendências granulométricas resultantes da atuação de processos de transporte e da mescla de sedimentos de diversas fontes. Estas tendências ocorrem devido às variações de energia do ambiente, as quais são controladas por fatores como a litologia dos sedimentos disponíveis, geomorfologia, distância percorrida, entre outros fatores.

Quanto à geologia regional, os sedimentos são resultantes de três formações geológicas diferentes, a Serra do Mar que possui rochas duras, o Complexo Cachoeira, formação antiga do período Proterozóico, que possui sedimentos antigos e argilosos, em contraponto com os sedimentos recentes do Quaternário que são compostos por areias. Estes terrenos também respondem de forma diferente à erosão, gerando tipos de solos distintos. Quando se considera os resultados obtidos com a curtose dos sedimentos, identificamos que existe uma mistura entre dois tipos de partículas, e estas, transportadas com alta energia até o local da deposição. Inferindo por esses resultados, a Serra do Mar pode ser a fonte destes sedimentos tanto para os sedimentos pouco trabalhados e de granulometria maior, como da fração fina que pode ser proveniente dos diques de rochas básicas

presentes na Serra do Mar. Entretanto, vale ressaltar que grande parte dos sedimentos mais grossos chegou ao rio trazido por tributários que percorreram um caminho ainda menor entre a Serra do Mar e o rio Nhundiaquara, como é o caso dos rios Sapitanduva, São Joãzinho e rio Monte Alegre.

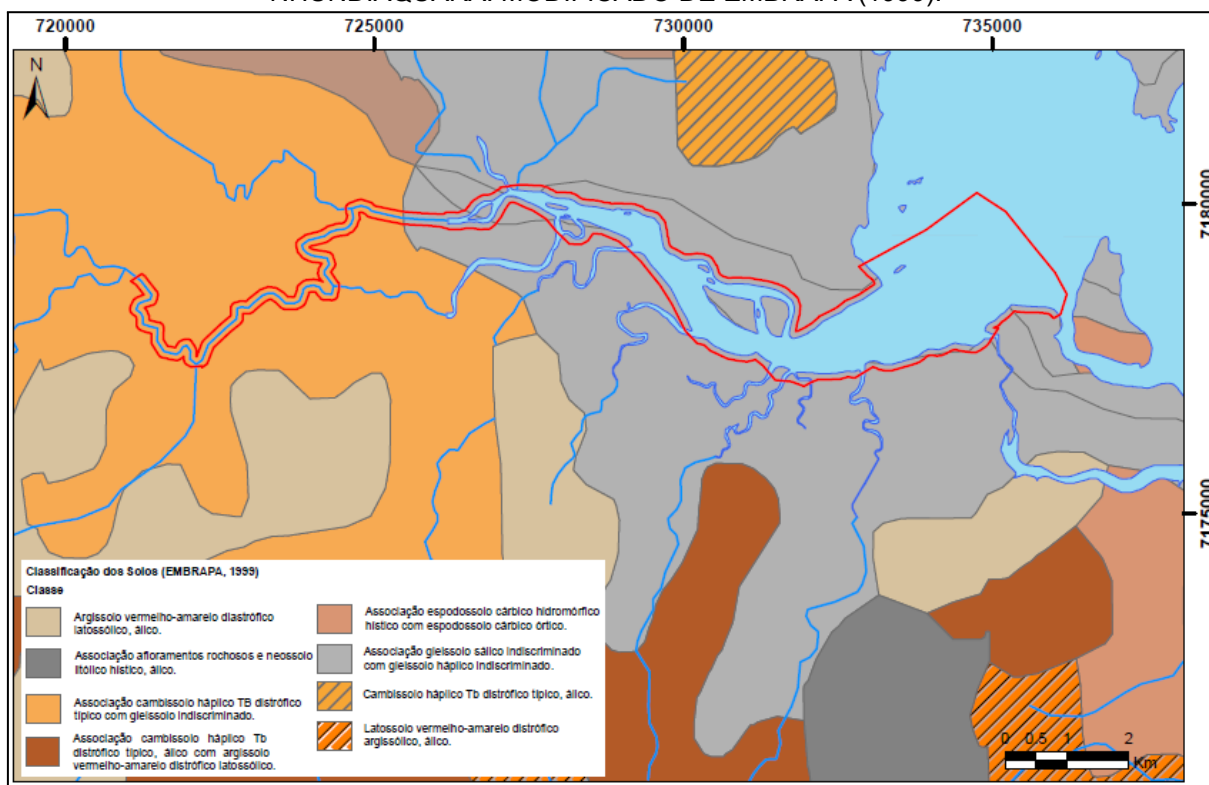
FIGURA 25 – INFLUÊNCIAS GEOLÓGICAS NA DISTRIBUIÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A Autora (2017).

As duas principais porções de solo do baixo curso do rio Nhundiaquara são o Cambissolo Háplico que é típico de relevo montanhoso associado com o Gleissolo Háplico que possui textura argilosa, típico de várzeas de relevo plano (Figura 26). O primeiro tipo de solo, em sua maioria, é proveniente da bacia de drenagem, resultado do padrão dentrítico do rio Nhundiaquara quando ele corre pela Serra do Mar. Quando o rio Nhundiaquara passa a ser meandrante, Setor 2 e 3, ele passa também a erodir suas margens que são formadas por terraços marinhos do Quaternário e então o segundo tipo de solo é formado.

FIGURA 26 – PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS AO LONGO DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA. MODIFICADO DE EMBRAPA (1999).

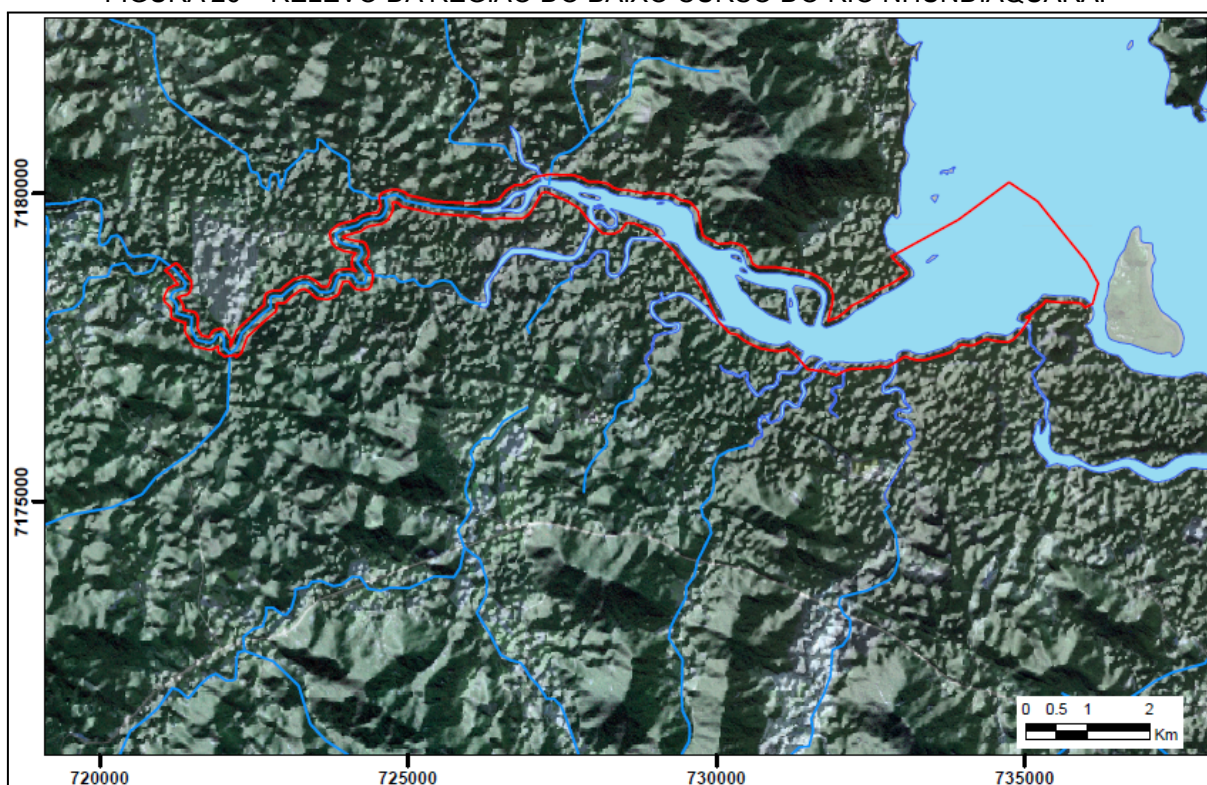


FONTE: A Autora (2017).

O relevo regional influenciou na chegada de sedimentos ao curso do rio Nhundiaquara de diferentes formas. Pelo relevo é possível observar que o Setor 1 possui areia fina, condição que não era esperada para este trecho do rio. Este trecho também é a foz do rio Marumbi que pode ter trazido este tipo de sedimento ao corpo do rio Nhundiaquara. Ambos os rios estão em zonas distais de sua montante, fato que pode interferir na velocidade de fluxos dos rios e na competência de transporte de sedimentos.

No Setor 2, ocorre a entrada de três rios (Sapitanduva, São Joãzinho e Monte Alegre) que correm em drenagem encaixada e estão mais próximo de sua montante, estes afluentes possuem melhor competência de transporte de partículas, o que também indica que as velocidades de fluxo são maiores (Figura 27). No Setor 3 ocorre padrão semelhante, o rio Sagrado possui competência de transporte de sedimentos e disponibiliza ao Nhundiaquara areia média.

FIGURA 26 – RELEVO DA REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO NHUNDIAQUARA.



FONTE: A Autora (2017).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação dos parâmetros granulométricos dos sedimentos do rio Nhundiaquara possibilitou compreender as características texturais dos sedimentos ao longo de seu perfil longitudinal e contribuiu para a identificação de subambientes de deposição possibilitando a correlação com as características regionais. Os dados de diâmetro médio, assimetria e curtose mostraram bons indicadores com relação aos padrões de deposição dos sedimentos.

A geologia mostrou-se muito influente na contribuição de sedimentos para o rio Nhundiaquara, possibilitando o entendimento das fontes do material depositado ao longo do rio. O relevo agiu como condicionante da força de transporte dessas partículas, contribuiu com a entrada de novos sedimentos e interrupção na tendência de diminuição do diâmetro médio no Setor 2. Em resposta a esses aspectos regionais a hidrografia contribuiu com a tendência de diminuição das partículas ao longo do perfil longitudinal e com os pulsos de maior vazão para a chegada de sedimentos ao corpo do rio, como na deposição de areias médias que ocorre na margem direita do Setor 2 do rio Nhundiaquara. Como resposta também, a

pedologia alterou-se devido à passagem do rio por solos que se alteram em condições de alagamento constante, o exemplo são os solos lamosos da região de mangue.

Sendo assim, os aspectos regionais que mais contribuem com a disponibilidade de sedimentos ao rio Nhundiaquara é a Geologia e Relevo. Com relação à tendência granulométrica, a Hidrografia e Relevo foram determinantes na granodecrescência dos sedimentos e na interrupção desta tendência após a entrada dos tributários, deixando nítida esta influência ao longo do rio Nhundiaquara.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA F. F. M., CARNEIRO C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p.-135-150, 1998.

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 334, 1992.

ANGULO, R. J. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 55, p.-25-42, 2004.

ANGULO, R. J. Morphological Characterization of the Tidal Deltas on the Coast of the State of Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 1999.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J. de; WERNER, A. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: Governo do Paraná/SEPL/ADEA, p.-249, 1978.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES F. P. L. **Ocorrência de Depósitos sedimentares continentais no Litoral do Estado do Paraná**. Curitiba, Not. Prel. Est. Inst. Biol. Pesq. v. 1, 1959.

CALLIARI, L. J. **Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.190, 1980.

CARNEIRO, J. C. & LAMOUR, M. R. Identification of relicts sediments in the Superagüi Channel (Paraná, Brazil): preliminary results. **18th International Sedimentological Congress** - Mendoza, Argentina, 2010.

CATTANI, P. E. **Caracterização geomorfológica e sedimentológica do eixo E-W do complexo estuarino de Paranaguá.** Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 2012.

CORDANI, V.G. & GIRARDI, V. A. V. - **Geologia da Folha de Morretes.** Curitiba: Boletim da UFPR, n. ° 26, p. 40, 1967.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 353, 2013.

FERGUSON, R.; HOEY, T.; WATHEN, S.; WERRITTY, A. **Field evidence for rapid downstream fining of river gravels through selective transport.** *Geology*, v. 24(2), p. 179–182, 1996.

FIERS, M. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: Contribuição à Geomorfologia das planícies costeiras.** Tese (Doutorado Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, p. 410, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 219-246, 2008.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FRINGS, R.M. **Downstream fining – a literature review.** PHD thesis-Departement Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, p. 59, 2004.

FUCK, R. A., MARINI, O. J., TREIN, E. **A Formação Guaratubinha.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 23-25, p. 337-255, 19673-25.

GASPARINI, N.M.; TUCKER, G.E.; BRAS, R.L. **Network-scale dynamics of grain-size sorting: implications for downstream fining, stream-profile concavity and drainage basin morphology.** *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 29, p. 401–532, 2004.

GOMEZ, B.; ROSSER, B.J.; PEACOCK, D.H.; HICKS, D.M.; PALMER, J.A.. **Downstream fining in a rapidly aggrading gravel bed river.** *Water Resources Research*, v. 37(6), p 1813-1823, 2001.

GROSS, M. G. **Carbon determination**. In: Carver, R. E. (Ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, New York, p. 49-94, 1971.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed., p. 439. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, PNAD 1995: Síntese de Indicadores**. Departamento de Emprego e Rendimento, Rio de Janeiro, p. 176, 1995.

ICHIM, I.; RĂDOANE, M. **Channel sediment variability along a river: a case study of the Siret River** *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 15, p. 211–225, Romania, 1990.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Cadastro Estadual de Unidades de Conservação**. Curitiba, p. 140, 1995.

IPARDES, **Zoneamento do Litoral Paranaense**. Fundação Edson Vieira. Convênio Secretaria de estado do Planejamento e Coordenação Geral, Curitiba, Julho, p. 175, 1998.

IPARDES. **Diagnóstico físico ambiental da Serra do Mar área sul. Avaliação da Estratégia Global do Paraná Rural**. Programa de manejo e conservação do solo em microbacias hidrográficas. Curitiba, . 2, p. 107, 1991.

IPARDES. **Diagnóstico físico ambiental da Serra do Mar área sul. Avaliação da Estratégia Global do Paraná Rural**. Programa de manejo e conservação do solo em microbacias hidrográficas. Curitiba, v. 02, p. 107, 1991.

IPARDES. **Zoneamento do Litoral Paranaense**. Curitiba, Julho, 1989. Fundação Edson Vieira. Convênio Secretaria de estado do Planejamento e Coordenação Geral. - Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba. Curitiba, v. 02, p. 257, 1990.

KNIGHTON, A.D. **Longitudinal changes in the size and shape of stream bed material: evidence of variable transport conditions**, *Catena*, v. 9, p. 25-34, 1982.

KOBIYAMA, M.; FRUET, D.; BUENO, J.; SANTOS, I. **Estudo de erosividade na região litorânea do estado do Paraná**. Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Santa Catarina, 2002.

KODAMA, Y. **Effect of abrasion on downstream gravel-size reduction in the Watarase River, Japan; field work and laboratory experiment**. Environmental Research Center Papers, v. 15, p. 88, 1992.

KOZCIAK, S. **Análise da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 151, 2005.

LAUTERT, L. F. de C. **Análise morfodinâmica e das águas nas bacias costeiras dos rios Nhundiaquara e Marumbi, no litoral do Paraná**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 190, 2010.

LESSA, C. G., ANGULO, R., GIANNINI, P. C.; ARAÚJO, A. D. **Stratigraphy and Holocene Evolution of a Regressive Barrier in South Brazil**. *Marine Geology*, v. 165, p. 87-108, 2000.

LUZ, C. E., FERNANDEZ, O. V. Q. **Variação Longitudinal Dos Parâmetros Estatísticos Granulométricos Nos Sedimentos De Fundo No Rio Marrecas, Região Sudoeste Do Paraná**. *Revista Geografia Acadêmica*, v. 8, n. 2, p. 20–32, 2014.

LUZ, C.E. **Tendências granulométricas dos sedimentos de fundo no rio Marrecas, região Sudoeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), p. 71, 2011.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Banco de desenvolvimento do Paraná. Universidade do Texas, p. 350, 1968.

McLAREN, P. **An interpretation of trends in grain size measures**. *Journal of Sedimentary Research*, p. 611 – 624, 1981.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, p. 25-36, 2001.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima In: A Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, Tomo 1, v.4, p.14-166, 1968.

PARKER, G. **Selective sorting and abrasion of river gravel. I. Theory.** Journal of Hydraulic Engineering, v. 117, p. 131–149, 1991.

PAULA, E.V. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR uma abordagem geopedológica.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 168, 2010.

POPP, J. H. **Geologia geral.** LTC-Livros Técnicos e Científicos, v. 5, p. 376, 1998.

RĂDOANE, M.; RADOAN N.; DUMITRIU, D.; MICLAUS, C. **Downstream variation in bed sediment size along the East Carpathian rivers: evidence of the role of sediment sources.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 27(12), p. 1079-1082, 2007.

RICE, S. **The nature and controls on downstream fining within sedimentary link.** Journal of Sedimentary Research, v. 69A, p. 32–39, 1999.

RICE, S.; CHURCH, M. **Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial patterns and sedimentary links.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 23, p. 345–36, 1998.

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. **Morfotectônica da bacia sedimentar de Curitiba.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 469-478, 2004.

SALAMUNI, E.; SALAMUNI, R.; EBERT, H. D. **Contribuição à geologia da bacia sedimentar de Curitiba (PR).** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v. 47, p. 123-142, 1999.

SALAMUNI, R.; ROCHA, A. L. **Geologia da região do rio Cachoeira. Antonina/PR.** Relatório inédito. Curitiba, 2002.

SEAL, R.; PAOLA, C.; PARKER, G.; SOUTHARD, J.B.; WILCOCK, P.R. **Experiments on downstream fining of gravel: I. Narrow-channel runs.** Journal of Hydraulic Engineering Division, American Society of Chemical Engineering, v. 123, p. 874–884, Shen, 1997.

SUAREZ DE CASTRO, F. **Conservación de suelos.** Madrid: Salvat, p. 298, 1956.

SUGUIO, K. **Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral Brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira.** Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v. 15 p. 273-286, 1985.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?)** São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, p. 366, 2001.

TELLES D. A. **Água na agricultura. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (coord.) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, p. 305-338, 1999.

VIEIRA, C. V.; FILHO HORN, N. O.; BONETTI, C. V. D. H. C.; BONETTI, J. Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Babitonga/ SC. **Boletim Paranense de Geociências**, Editora UFPR, n. 62-63, p. 85-105, 2008.