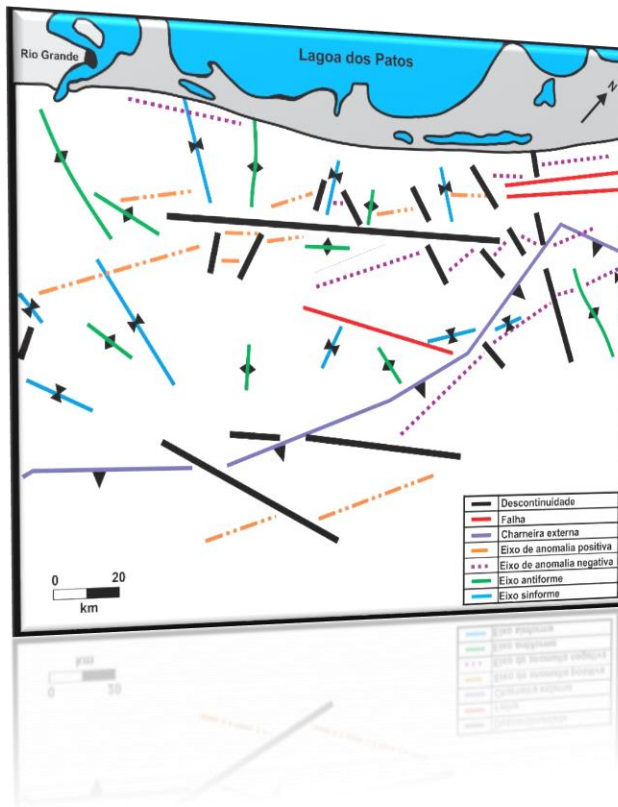


METODOLOGIA PARA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DE ÁREAS CONTINENTAIS E MARINHAS



Iran Carlos Stalliviere Corrêa
CECO/PGGM/IGEO/UFRGS

Capa: Carta de Síntese Morfoestrutural da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, Brasil (*Corrêa, 1994*).

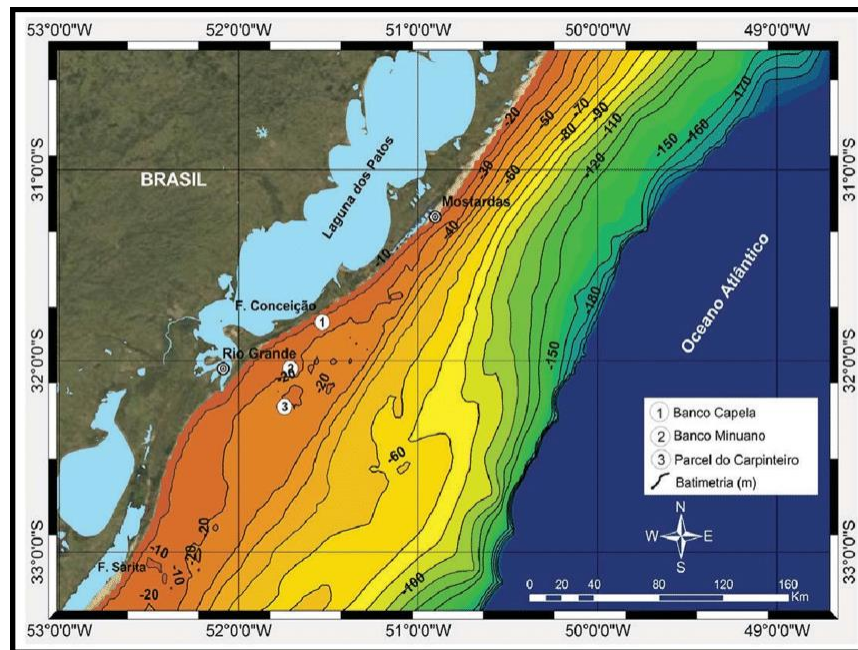


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA

PROGRAMA DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA



Carta batimétrica da porção central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Pimenta, 1999 in apud Corrêa et al. 2019).

METODOLOGIA PARA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DE ÁREAS CONTINENTAIS E MARINHAS

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

2022



Prof. Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
Departamento de Geodésia
Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

C824m Corrêa, Iran Carlos Stalliviere

Metodologia para Análise Morfoestrutural de Áreas Continentais e Marinhas/Iran Carlos Stalliviere
Corrêa, E-Book. Porto Alegre: CECO/PGGM/IGEO/UFRGS.

Edição do autor, 2022

[76 f.] il.

ISBN: 978-65-00-53961-5

1. Análise Morfoestrutural. 2. Morfometria. 3. Rede de Entalhes. 4. Magnitude. I. Título.

CDD:551

CDU:551.1

Catálogo da Publicação

Biblioteca Geociências – UFRGS

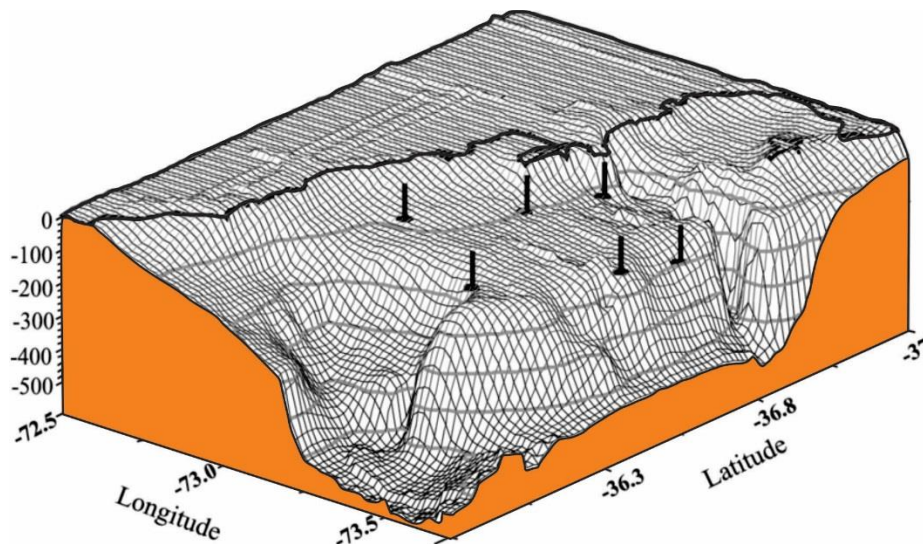
Renata Cristina Grun CRB 10/1113



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Programa de Geologia e Geofísica Marinha



Modelo Digital do Terreno (MDT) da Plataforma e Talude Continental de uma parte da costa do Chile.
(modificado de Saborzo, 2004).

METODOLOGIA PARA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DE ÁREAS CONTINENTAIS E MARINHAS

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

2022





Reitor
Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora
Patrícia Helena Lucas Pranke

Diretor do Instituto de Geociências
Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vice-Diretora do Instituto de Geociências
Tatiana Silva da Silva

Projeto Livro Didático

Projetado e elaborado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Diretor: Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Vice-Diretora: María Alejandra Gomez Pivel

Participação e apoio do Programa de Geologia e Geofísica Marinha
Coordenador: Alex Cardoso Bastos
Vice-coordenador: Marcelo Sperle Dias

2022

**Segundo a lei nº 9610/98 e o Código Penal no Artigo 184, é vedada a reprodução, por qualquer meio, desta livro didática, sendo somente permitida com autorização do professor-autor.
A cópia não autorizada é punível com sanções administrativas e penais.**



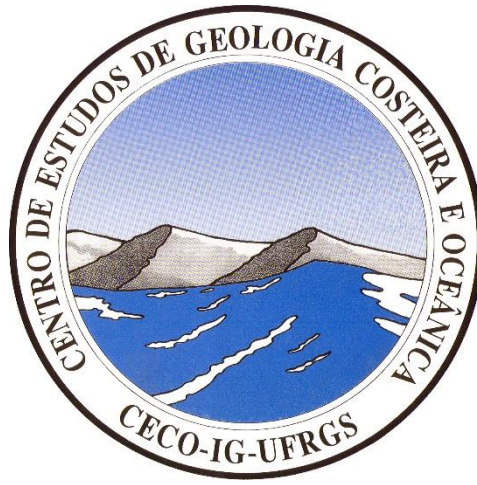
SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
I. INTRODUÇÃO	10
II. MÉTODOS DE ANÁLISE MORFOESTRUTURAL	11
III. ANÁLISE DE RELEVO	14
3.1 Superfície teórica	15
3.2 Superfície envelopada	19
3.3 Análise das variações de pendentes	22
3.3.1 Medida de pendente sobre relevo pouco acidentado	23
3.3.2 Medida de pendente sobre relevo acidentado	24
3.3.3 Rugosidade ou vigor do relevo	27
IV. ANÁLISE DE VALES	29
4.1 Conceito de ordem de hierarquização	30
4.2 Morfometria dos comprimentos dos vales	33
4.3 Magnitude da rede de entalhes	38
4.4 Lineamentos estruturais	41
4.5 Zonas de juntas	42
4.6 Lineamentos e zonas de juntas	43
4.7 Características gráficas da rede de entalhes	44
4.7.1 Tipo dendrítico	44
4.7.2 Tipo paralelo	45
4.7.3 Tipo treliça	45
4.7.4 Tipo retangular	45
4.7.5 Tipo radial	46
4.7.6 Tipo anelar	46
4.8 Anomalias de drenagem	48
4.8.1 Retilinearidade	48
4.8.2 Aparecimento brusco e localização de meandros	48
4.8.3 Meandros comprimidos	48
4.8.4 Aparecimento brusco e localização de meandros anastomosados	48



4.8.5	Estreitamento ou alargamento irregular de vales	49
4.8.6	Pântanos, turfeiras ou cones aluviais anormais	49
4.8.7	Curvas e mudanças de direções irregulares	49
4.8.8	Diferença no comprimento das drenagens	50
4.8.8.1	Comprimentos relativos dos tributários	50
4.8.8.2	Orientação dos cursos subsequentes	51
4.8.8.3	Alinhamento e ângulo de confluência	51
4.8.8.4	Ordenamento da variação do traçado e da densidade da drenagem	51
V.	CURVAS ESTRUTURAIS	54
VI.	LIMITES DA METODOLOGIA	55
6.1	Dificuldades técnicas	55
6.1.1	Escala do documento	56
6.1.2	Hierarquização da rede	57
VII.	GRADE DE MEDIDAS	59
7.1	Coeficiente de erro acidental do operador	60
7.2	Limites de interpretação	60
7.2.1	Limite ligado ao domínio de estudo	60
7.2.2	Limite imposto a precisão da carta base	61
7.2.3	Limite ligado ao tipo de análise	61
7.2.4	Limite ligado a profundidade de investigação	62
VIII.	SÍNTESE GERAL	62
IX.	GLOSSÁRIO	64
X.	BIBLIOGRAFIA	68
XI.	LISTA DE FIGURAS	74
XII.	LISTA DE TABELAS	77





APRESENTAÇÃO

Com a finalidade de atender às necessidades dos alunos da **Área de Concentração em Geologia Marinha, do Programa de Pós-Graduação em Geociências**, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), é que foi organizada esta coletânea de informações referentes a metodologia a ser empregada na obtenção da análise morfoestrutural de áreas continentais ou marinhas.

A elaboração deste trabalho não tem o intuito de compará-lo a um livro didático e nem a descrição da utilização de programas computacionais usados no auxílio da elaboração das diversas cartas que possibilitarão, através de suas correlações, efetuar a análise morfoestrutural de uma área, mas sim, apenas demonstrar as técnicas que possibilitam estes levantamentos e sua interpretação.

A obtenção de informações através desta metodologia, pode ser obtida manualmente ou através de inúmeros softwares existentes na internet ou a venda no mercado da informática.

A análise morfoestrutural possibilita a interpretação e compreensão da evolução paleogeográfica de áreas oceânicas e continentais onde não se tem dados de sísmica ou mesmo de multibeam.

Neste trabalho pretende-se demonstrar as técnicas empregadas na obtenção das cartas de superfície teórica regional, de análise morfométrica, de pendentes, de rugosidade, de magnitude, da rede de entalhes e da morfometria da rede, que a partir da interpretação destas possibilitam obter a análise morfoestrutural de uma determinada área de estudo.

Quero expressar aqui o meu mais profundo agradecimento ao Prof. Dr. Luiz Roberto Silva Martins (*in memoriam*), meu Mestre e Professor, o qual me ensinou os primeiros passos na área da Geologia Marinha e que me fez gostar desta ciência tornando-me, mais tarde, professor da mesma. Agradeço a ele também, pelas inúmeras oportunidades que me deu em participar de inúmeras Operações Oceanográficas, tanto no Brasil como fora dela, e o de coordenar algumas delas. Me incentivou e me apoio quando recebi convite da Universidade de Concepción, no Chile, para ministrar, durante 10 anos, a disciplina de Morfologia e Sedimentologia Marinha, com ênfase na Evolução Morfoestrutural. Foi meu maior incentivador para que eu desenvolvesse meu doutorado fora do Brasil, pois sempre dizia que temos que experimentar novas linhas de pensamento e novos ares científicos.

Igualmente expressei meus profundos agradecimentos ao Prof. Dr. Robert Prud'Homme e ao Prof. Dr. André Klingibiel, ambos do Departamento de Geologia e Oceanografia da Universidade de Bordeaux I, França, que me ensinaram e orientaram na realização de meu Doutorado na área da Análise Morfoestrutural.

A todos meus respeito e gratidão.

O Autor.



METODOLOGIA PARA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DE ÁREAS CONTINENTAIS E MARINHAS

I. INTRODUÇÃO

Etimologicamente, a geomorfologia pode ser definida como a ciência que se ocupa do estudo da superfície terrestre e de suas modificações ocasionadas pela ação dos agentes de erosão (Penteado, 1983).

A ação contínua da erosão sobre uma área ocasiona o aparecimento de novas características que podem colocar em evidência ou alterar as formas pré-existentes. Esta evolução progressiva da erosão possibilita a elaboração de inúmeras formas complexas e variadas, sendo cada uma delas representada por uma fase particular desta evolução.

Existe uma relação indelével entre as formas do relevo e o meio circundante a estas, como a litologia, as feições estruturais, os ravinamentos, os vales, as drenagens, os terraços, entre outras.

O conhecimento das formas da superfície terrestre ou marinha tem uma grande importância, pois estas permitem caracterizar diferentes ambientes. É de fundamental importância o conhecimento da evolução do relevo a partir das formas que ele apresenta, as quais permitem retroceder as suas origens. Dessa forma é importante saber quais as informações do relevo que permitem retratar sua história evolutiva; ou seja, encontrar os vestígios de uma neotectônica, de uma paleodrenagem, de uma erosão, de um falhamento, de um escarpamento etc.

A Geomorfologia não estuda somente o relevo de maneira estática, mas todo o conjunto de processos que levam à sua transformação nas mais diversas escalas temporais. Assim, levam-se em consideração os estudos sobre os fatores endógenos e os fatores exógenos de transformação do relevo, isto é, os elementos naturais que atuam internamente (tectonismo, terremotos etc.) e os que atuam externamente (erosão, intemperismo etc.). Com isso, pode-se entender melhor a formação dos tipos de relevo.

A concepção teórico-metodológica empregada em pesquisas de geomorfologia na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) e em parte da Europa Oriental tem raiz na produção do conhecimento científico da Alemanha nos séculos XIX e XX, apoiada na cartografia geomorfológica e fundamentada nas ideias de Penck (1924).



Assim, o conceito de morfoestrutura fundamenta-se nos postulados de Penck (1924) que tratam da relação das forças internas e externas atuantes na gênese do modelado da superfície terrestre.

É dessa forma que a análise morfoestrutural, seja através de dados da litologia ou através da tectônica, se baseia para explicar esta ou aquela forma da superfície do globo.

Para isso várias técnicas de análise podem ser utilizadas tais como as técnicas de análise morfoestrutural, que foram aplicadas com sucesso em ambientes continentais, que foram estendidas para os ambientes marinhos a partir dos trabalhos de Prud'Homme (1970, 1972) e Naudin (1971).

Para esses autores, a evolução das técnicas de estudo ao domínio marinho pode ser aplicada, se forem observados quatro princípios básicos:

1. As superfícies terrestres e marinhas são representadas sobre cartas a grande escala, com um grau comparável de otimização;
2. As redes de vales ativos ou inativos continentais e as redes de entalhes marinhos são o produto de fenômenos de natureza semelhante, sendo assim justificável a utilização dos mesmos métodos de análises;
3. As estruturas tectônicas e litológicas, em outras palavras o quadro geológico, têm um papel primordial na gênese da morfologia da superfície terrestre ou marinha;
4. Não há nem proporcionalidade, nem registro previsível entre estes elementos e a importância de seus efeitos sobre a topografia ou batimetria. Não há também, correspondência obrigatória sobre sua localização (Prud'Homme, 1970).

II. MÉTODOS DE ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

O termo morfoestrutura é definido por Bates & Jackson (1987), como uma *“feição topográfica maior que coincide com ou é uma expressão de estrutura geológica ou que é formada diretamente por movimentos tectônicos. É produzida pela interação de forças endógenas e exógenas, sendo predominante a forma”*.

Segundo Mattos *et al.* (1982), o termo morfoestrutura define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações basicamente de



relevo e drenagem, caracterizada por zonas anômalas dentro de um padrão geral de distribuição dos elementos de relevo e drenagem.

Segundo Gontijo (1999), o termo morfoestrutura deve ser empregado quando a elaboração das formas de relevo se processa sob controle tectônico passivo, ou seja, as formas de relevo não estão necessariamente relacionadas à tectônica ativa (neotectônica).

Segundo Araújo *et al.* (2003), o mapeamento morfoestrutural procura, a partir dos padrões de drenagem (assimetria e tropia) e dos lineamentos estruturais, traçar as flexuras do terreno derivadas de processos geológicos.

O traçado, a partir da geometria de drenagem, permite visualizar a conformação estrutural da área e indicar as regiões de alto e baixo estrutural. As linhas traçadas podem ser cotadas com valores arbitrários ou reais, que podem ser usados para construir um modelo numérico de terreno, o qual permite uma melhor visualização da conformação estrutural interpretada. É importante ressaltar que o detalhe morfoestrutural depende da escala de trabalho adotada (Araújo *et al.*, 2003).

Uma etapa importante na interpretação morfoestrutural, em bacias sedimentares, é reconhecer as formas anômalas de drenagem. Segundo Crepani (1987), a interpretação das formas anômalas da rede de drenagem e dos arranjos formados por diferentes combinações entre elas, permite que se infira o seu significado geológico, uma vez que a intensidade de estruturação dessas formas, representa o grau de controle estrutural a que estão submetidas.

A análise morfoestrutural foi desenvolvida, inicialmente no final do século XIX e início do século XX, para o estudo de regiões petrolíferas em áreas continentais e posteriormente adaptadas para superfícies marinhas, por Prud'Homme (1972).

Este é um método que permite, a partir do modelo da paisagem, isolar e quantificar os parâmetros elementares, a partir do estudo de uma superfície, a fim de se obter a evolução da área.

A gênese dos elementos de uma superfície (homogeneidade, organização, regularidade) está longe de ser um fenômeno aleatório. Cada morfologia é a resultante da interação de processos geodinâmicos externos e internos agindo sobre um suporte geológico estruturado, como descreve Naudin & Prud'Homme (1973).

Parece nítido que as características estudadas, em particular a litologia e a estrutura tectônica, determinam, em parte, o modo de ação dos fatores de erosão e a direção desta



erosão. É possível assim, deduzir sua distribuição espacial e sua importância relativa à tendência geral.

As cartas batimétricas, representativas da superfície marinha, ou topográficas, representativas da superfície continental, fornecem uma imagem na qual, a maior parte das relações entre a forma do relevo e a estrutura do subsolo, é conservada. Para se obter essas relações é necessário distinguir, sobre estes documentos, dois grandes conjuntos na distribuição espacial, os quais dependem da heterogeneidade do substrato, ou seja, a anisotropia do depósito que corresponde à presença de variações litológicas, faciológicas ou de planos de descontinuidade no interior de uma mesma série geológica, a qual pode ser uma anisotropia estrutural ou tectônica, acidente pós-deposicional ou rejeito recente de antigas estruturas tais como: falhas, diaclases ou dobramentos, que caracterizam direções de fases orogênicas locais ou regionais. Estes dois grandes conjuntos são (Figura 1):

1. Os interflúvios ou partes altas que definem as superfícies;
2. Os vales ou entalhes que caracterizam as partes baixas das superfícies.

Podem ser obtidos resultados interessantes se for seguida uma metodologia precisa.

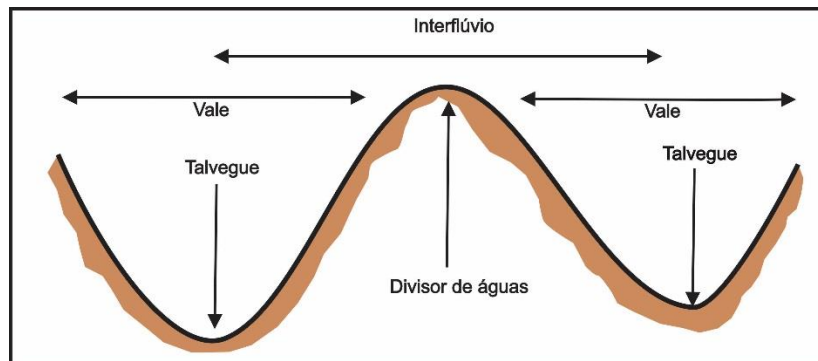


Figura 1 - Perfil mostrando os talvegues, vales, divisor de águas e interflúvio.

A análise morfoestrutural apresenta um caráter pluridisciplinar, ela é pouco onerosa e visa, através do estudo de certos parâmetros característicos do relevo, colocar em evidência os indicadores aptos a traduzir os diferentes meios da organização estrutural e geológica que condicionam a evolução morfogenética de uma região. É evidente que o quadro geológico das estruturas tectônicas e os caracteres litológicos apresentem um papel determinante na formação dos diferentes elementos de uma superfície, seja esta marinha ou continental.



Para início do estudo de uma área continental ou marinha, em relação a evolução morfoestrutural, é necessário se ter uma carta topográfica ou batimétrica de grande detalhe (Figura 2). Quanto menor for o espaçamento entre as curvas de isovalor da carta, melhor será o resultado a ser obtida através da análise morfoestrutural.

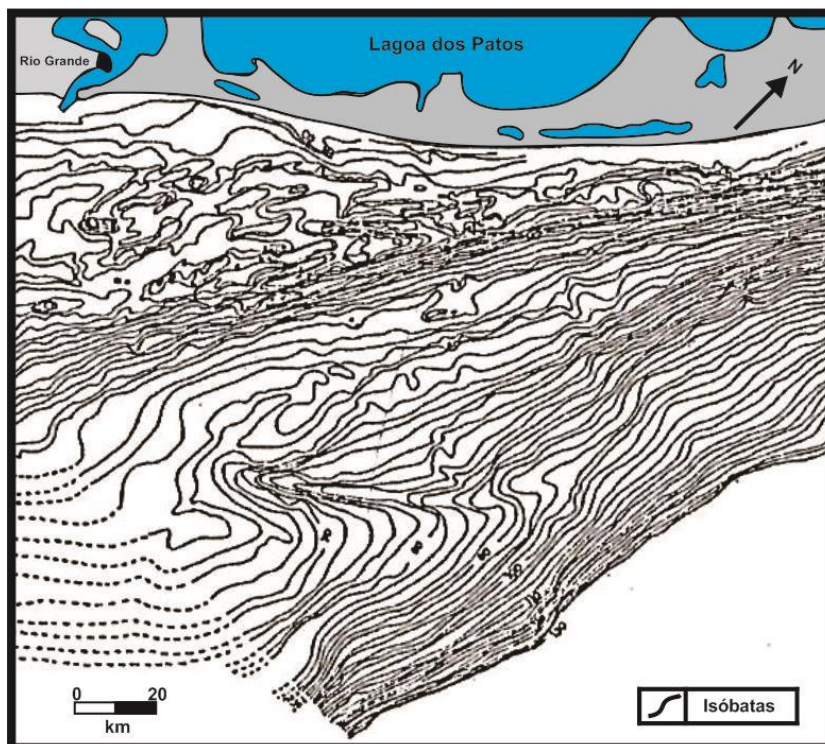


Figura 2 – Mapa batimétrico de detalhe da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (curvas de nível de 2 em 2 m).
(modificado de Corrêa, 1990).

III. ANÁLISE DE RELEVO

As principais técnicas utilizadas na análise de relevo são:

1. Elaboração da superfície teórica;
2. Elaboração da superfície envelopada;
3. Estudo da variação de pendente (declividade);
4. Estudo das características de rugosidade ou de vigor do relevo.

3.1. SUPERFÍCIE TEÓRICA



A superfície teórica representa uma superfície simples, modelada por uma atividade erosiva qualquer que exerce sua ação, segundo a linha de maior pendente, sobre um material homogêneo e isótropo (Griboulard, 1980).

A partir desta superfície pode aparecer tudo o que diferencia a realidade destas condições ideais que foram definidas anteriormente e notoriamente, tal como a heterogeneidade e anisotropia do material que tem por origem as causas tectônicas, litológicas ou gliptogenéticas.

A escolha da superfície teórica, que deve corresponder à melhor representação geral da região estudada, pode parecer simples, entretanto, a possibilidade de criar uma infinidade dessas superfícies constitui, em definitivo, uma escolha. Devido a isso é conveniente realizar investigações sucessivas a partir de superfícies deduzidas uma das outras.

Para isso se constrói uma superfície teórica regional, mais simples possível, a qual se denominará “Superfície Regional de 1ª Ordem”, cujo traçado é obtido a partir dos contornos lisos e homogeneizados ou suavizados de duas curvas topográficas ou batimétricas contínuas e representativas da superfície real da área estudada, uma de topo e outra de base.

No ambiente marinho é desaconselhado escolher a isóbata de zero metro como linha de topo ou inicial da superfície teórica, devido esta estar relacionada a fenômenos atuais ligados a dinâmica litorânea e as acumulações sedimentares que lhe são peculiares.

Entre as duas curvas extremas escolhidas e homogeneizadas, traçam-se as curvas intermediárias equidistantes de tal maneira que elas determinem uma pendente constante (Figura 3 e 4). Quanto menor for esta equidistância melhor serão os resultados obtidos.

A comparação por superposição dessa superfície teórica com a superfície real (carta batimétrica ou carta topográfica) permite diferenciar a realidade das condições ideais, em particular as heterogeneidades e as anisotropias do substrato, definindo zonas de anomalias (Figura 5).

As anomalias serão ditas “positivas” ou “negativas” segundo o resultado obtido entre a diferença dos valores das curvas da superfície real e os valores das curvas da superfície teórica regional, no ponto onde estas se cruzam, fornecendo os valores positivos ou negativos. Estes valores deverão ser demarcados sobre a carta no ponto de cruzamento



das linhas das duas superfícies. Com os valores obtidos e demarcados sobre a carta, traçam-se as curvas de igual diferença entre os dois tipos de formas (Figura 5 e 6).

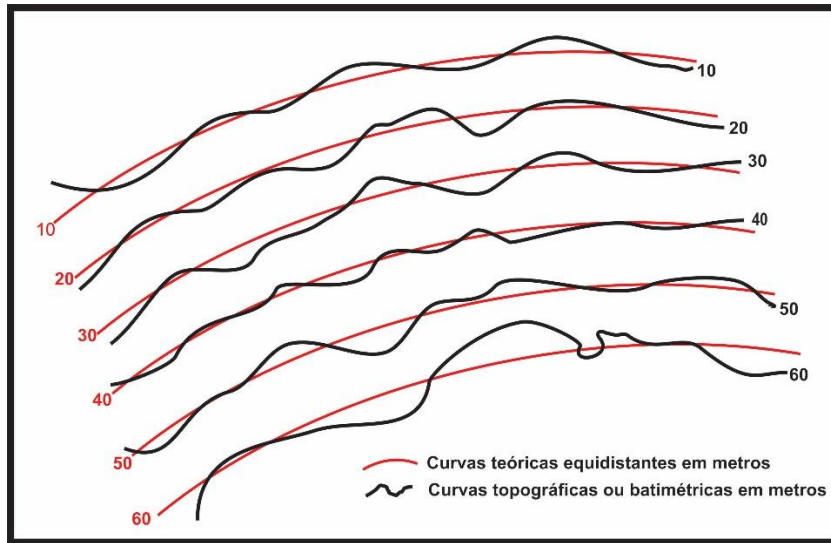


Figura 3 – Princípio da elaboração da superfície teórica regional.

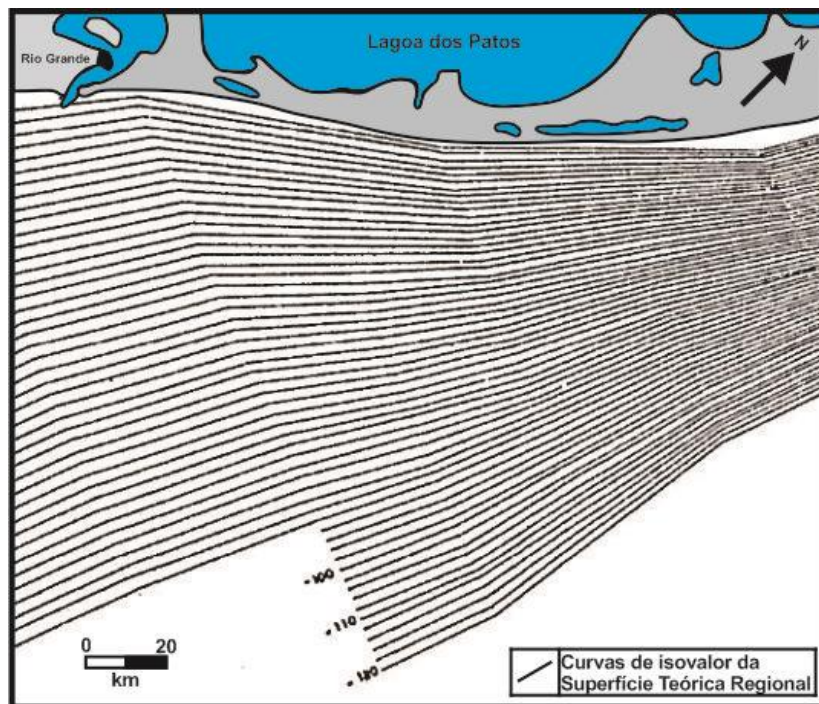


Figura 4 – Mapa da Superfície Teórica Regional da área central de Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (curvas de 2 em 2 m).
(modificado de Corrêa, 1990).



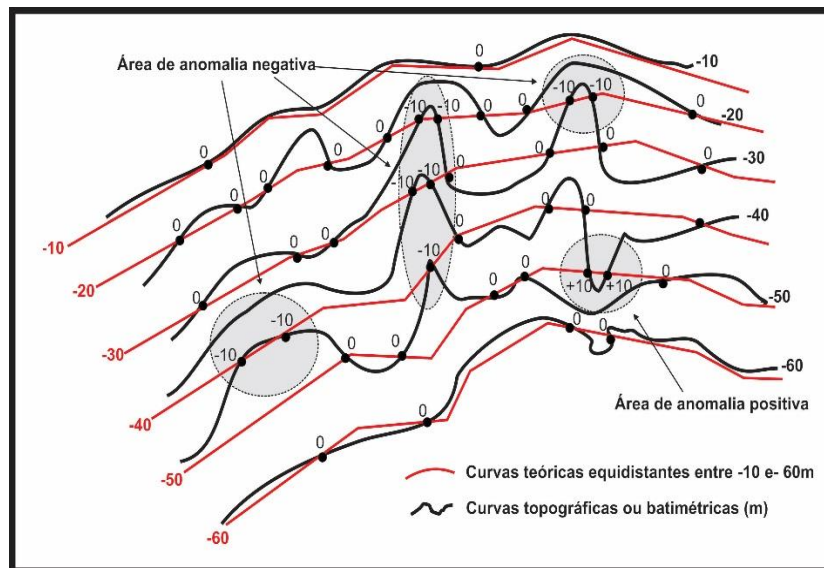


Figura 5 – Superposição da superfície real com a superfície teórica regional.

As anomalias, tanto positivas como negativas, podem ser relacionadas com processos tectônicos, com fenômenos de erosão/deposição ou ainda com a litologia (Griboulard, 1980).

Em certos casos, a elaboração da Primeira Superfície Teórica Regional (Superfície Regional de 1ª Ordem) pode se apresentar ainda complexa. É conveniente se elaborar uma nova superfície teórica regional, que será denominada “Superfície Regional de 2ª Ordem”. Esta, também é constituída de elementos de superfícies simples se articulando entre elas e representando um modelo interpretativo das anomalias postas em evidência anteriormente. Pode-se, da mesma maneira, construir superfícies teóricas e residuais de 3ª, 4ª, 5ª, etc... ordem.

À medida que se aumenta o número de ordens, vai-se reduzindo as anomalias, o que quer dizer que as cartas regionais de ordens elevadas são próximas da superfície real, mas construídas a partir de elementos de superfície conhecidos, bem individualizados.

A partir da carta de Anomalia Regional (Figura 6) são traçados os eixos das anomalias positivas e das anomalias negativas e a direção das discordâncias sofridas entre elas, conforme figura 7.



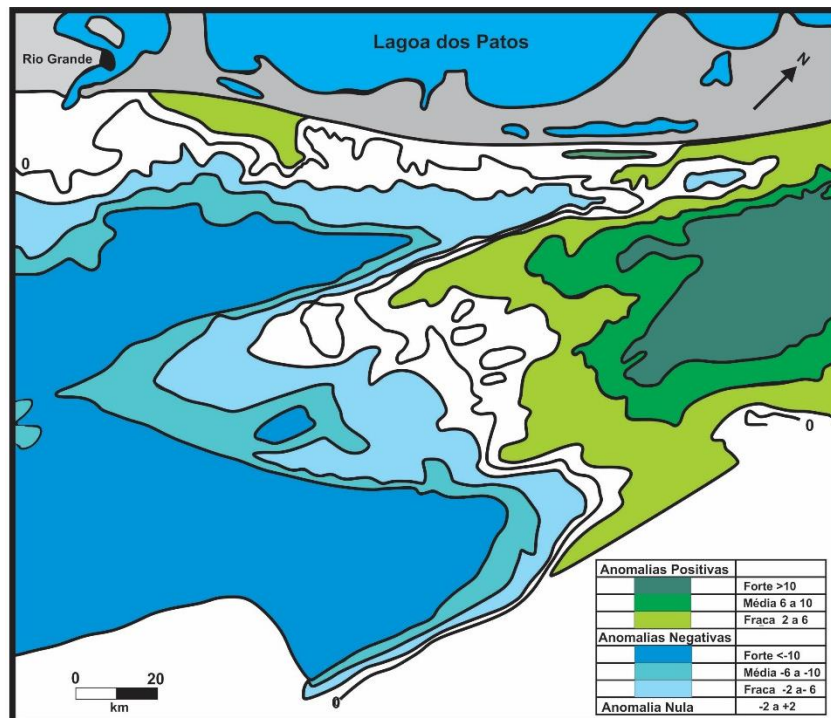


Figura 6 – Carta de anomalia regional da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

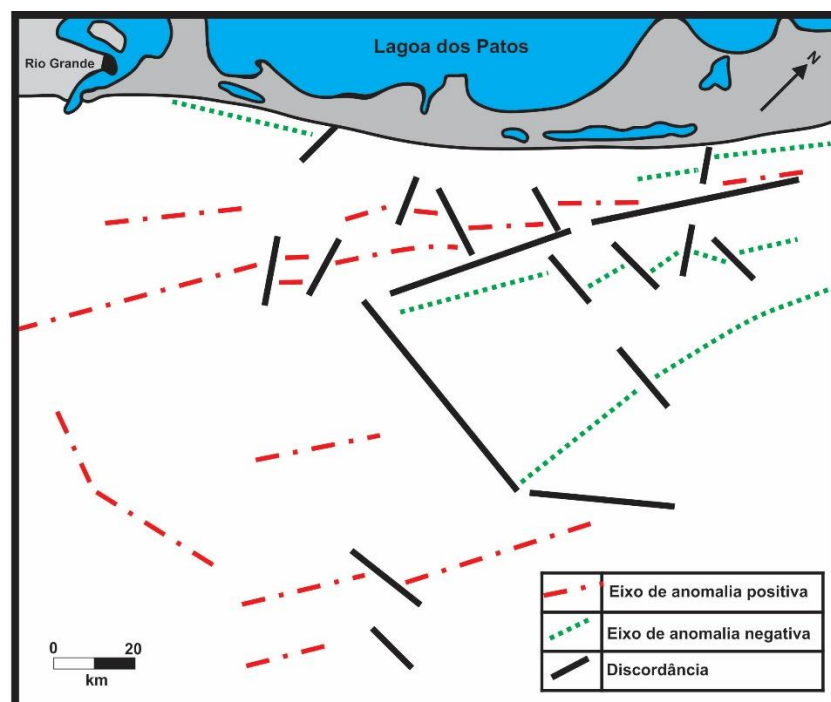


Figura 7 – Carta de eixos das Anomalias Regionais da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul
(modificado de Corrêa, 1990)



3.2. SUPERFÍCIE ENVELOPADA

A noção de superfície envelopada é citada no trabalho de La Noé & Margerie (1888) In: Baulig (1928). Demangeon (1910) conceituou superfície envelopada como: “...*Em uma bacia hidrográfica, se considerarmos o topo de todas as elevações (cristas), como um plano ideal, obtém-se uma superfície uniforme, ligeiramente inclinada na direção da hidrografia...*”

A construção e utilização da superfície envelopada é fundamental nas zonas onde a elaboração das superfícies teóricas regionais é de difícil execução; esse é o caso das regiões que apresentam relevo acentuado e muito contrastante.

Estas superfícies envelopadas se prestam ao estudo desse tipo de ambiente e se compõe de curvas de isovalor cujos contornos são determinados a partir de elementos próprios do relevo a ser analisado.

Para se obter uma superfície envelopada, efetua-se uma malha da zona de estudo, que pode ter a forma de quadrículas regulares ou de círculos superpostos. Com a superposição da malha escolhida sobre a carta topográfica ou batimétrica, localizam-se todos os pontos altos da carta utilizada, que deverão ser marcados no centro de cada malha (Figura 8). Em seguida, unem-se todos os pontos de mesmo valor, obtendo-se assim o traçado das curvas de isovalor da superfície envelopada. Estas curvas representativas, que ligam geometricamente pontos de mesmo valor, apresentam um traçado otimizado. Ao inverso da superfície regional, os parâmetros que constituem esta superfície, são diretamente extraídos do relevo real (Figura 9).

Uma análise global das superfícies envelopadas pode diferenciar os grandes conjuntos homogêneos em vista da frequência e da orientação das curvas de isovalor, as quais se encontram relacionadas com a frequência. O produto desta análise é uma carta de descontinuidade.

Todas as descontinuidades postas em evidência devem ter uma interpretação. Para isso, a carta de descontinuidade deve ser comparada com documentos cartográficos regionais.



Uma descontinuidade pode admitir várias interpretações, por exemplo, uma descontinuidade correspondente a um filão de quartzo será um indicador da estrutura e da litologia (Deffontaines, 1985).

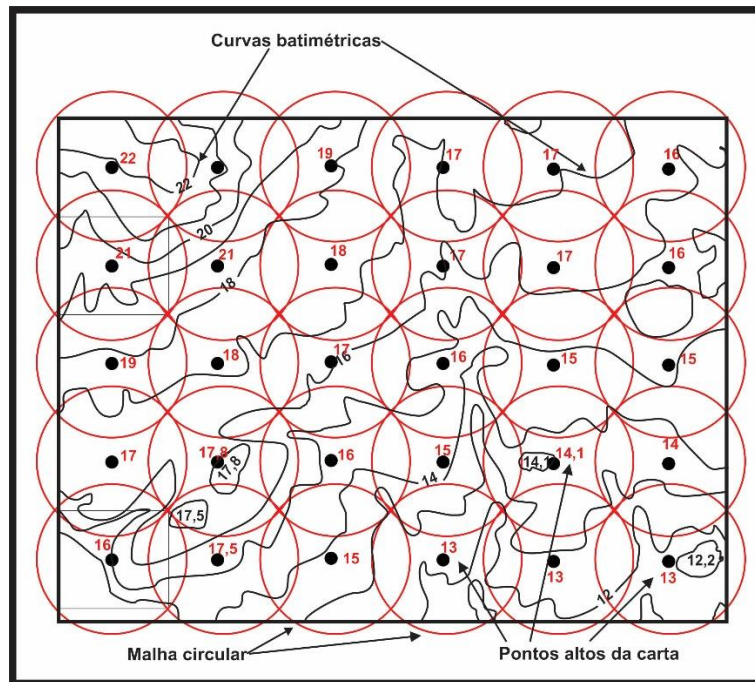


Figura 8 – Locação dos Pontos Altos da Carta para o traçado da superfície envelopada.
(modificado de Corrêa, 1990)

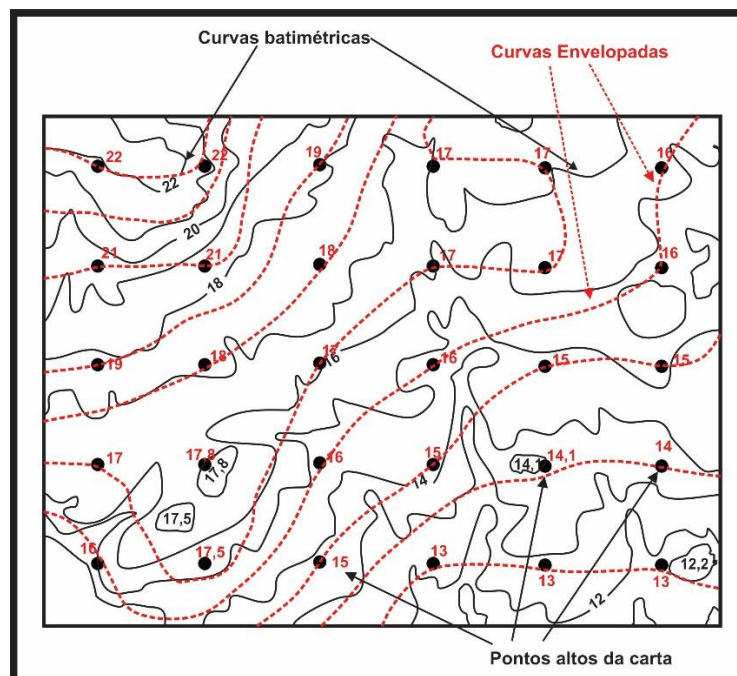


Figura 9 - Traçado da superfície envelopada de uma região de topografia acidentada.
(modificado de Maychou, 2009).



A confrontação destas cartas com outros dados (testemunhos, perfis sísmicos, gravimetria, magnetometria etc.), ou os resultados de estudos sobre o terreno, confirmam ou não a existência de deformações e determinam seu significado, sua amplitude e eventualmente sua idade.

Este método permite definir zonas de grandes movimentos e de grabens, os quais se manifestam pela presença de zonas baixas. Podem também, serem determinadas zonas sobrelevadas, do tipo *horst*, as quais são representadas por zonas altas (Figura 10).

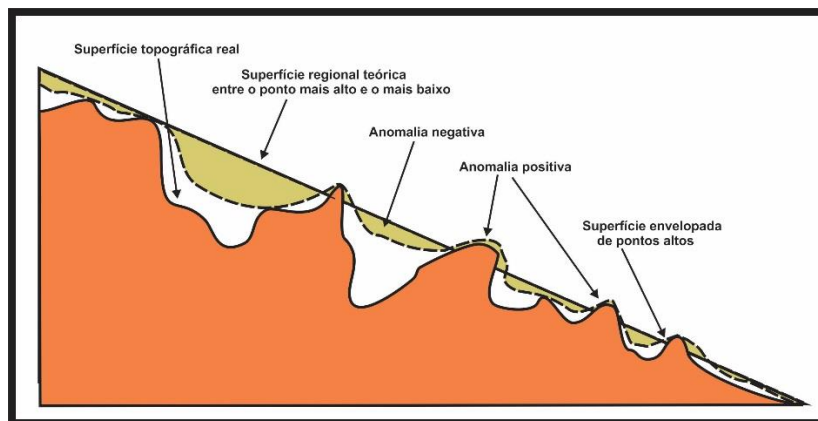


Figura 10 - Superfícies residuais de uma região de topografia acidentada.
(modificado de Drago, 1989).

O método de análise, a partir da superfície envelopada, apresenta alguns limites em sua utilização e interpretação. Certas técnicas proveem da precisão das cartas batimétricas ou topográficas utilizadas, para a seleção dos pontos altos, da rede de talwegues e da qualidade das cartas geológicas, para sua interpretação.

As deformações existentes não marcam forçosamente a superfície batimétrica ou topográfica. De fato, certos acidentes como falhas transcorrentes, não são geradoras de desníveis. Entretanto estas são às vezes acompanhadas de fenômenos secundários, os quais permitem colocá-las em evidência. Entretanto algumas falhas presentes nas cartas geológicas não aparecem sobre as cartas morfoestruturais, isto sugere que as falhas apresentam rejeitos nulos ou fracos.

Não é possível propor uma cronologia relativa da deformação por meio deste método, devido que os movimentos postos em evidência pela morfologia são acumulativos.

A escolha do número de curvas, necessárias para identificar um forte gradiente e a equidistância entre elas, selecionam apenas os acidentes de forte rejeito (mínimo >10 m).



Assim as deformações que afetam pouco ou não afetam a superfície batimétrica ou topográfica, passam despercebidas.

Após a identificação de uma descontinuidade correspondente a uma deformação, um estudo de detalhe do terreno sobre as áreas selecionadas, quando possível é aconselhado, para a caracterização e a quantificação.

Para se obter informações complementares, superpõe-se a carta de superfície envelopada com a carta da rede de drenagem (Deffontaines *et al.* 1992). Se considerarmos que um curso de água deve escoar de um ponto mais alto em direção a um ponto mais baixo seguindo a linha de maior pendente, todas as drenagens que se afastam mais de 45° ou que escoam contra a pendente da superfície envelopada, constituem anomalias que devem ser investigadas.

As drenagens que não escoam segundo a pendente regional são guiadas, principalmente, pelas estruturas ou litologias.

3.3. ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE PENDENTES

As pendentes, ou de uma maneira mais geral as vertentes, apresentam uma grande variedade de formas. Uma classificação geométrica homogênea foi apresentada por Savigear (1956) e Young (1964). Estes autores decompõem as vertentes em partes geometricamente simples e fazem menção sobre as eventuais rupturas de declividade observadas nas mudanças de curvas com formas complexas.

Um perfil teórico consiste em uma crista convexa, uma parte mediana retilínea e uma parte terminal côncava. Entretanto isso não é o que se observa na maior parte das vezes. Frequentemente as vertentes apresentam formas ligadas a estruturas geológicas, a litologias, a processos de erosão, ou mesmo de ação comum desses três fatores.

A pendente de uma superfície é o ângulo que esta superfície faz com um plano horizontal. Ela é expressa, sobre as cartas, pelo espaçamento das curvas de isovalor (isóbatas), sendo que quanto maior o afastamento entre duas curvas, mais suave será a pendente. Curvas bem próximas ou com espaçamento pequeno refletem áreas de forte pendente. Os valores de pendentes estão associados com as características físicas dos materiais que compõe o perfil. Para materiais resistentes, a pendente apresentará valores



altos, enquanto para materiais menos resistente o valor da pendente será baixo. Uma pendente de forte valor pode materializar uma falha.

O estudo de pendentes pode ser realizado sobre regiões pouco ou altamente acidentadas.

3.3.1 MEDIDA DE PENDENTE SOBRE RELEVO POUCO ACIDENTADO

Para a obtenção do valor de pendente de uma carta a ser analisada, deve-se traçar perfis transversais que deverão sobrepor o mais perpendicularmente possível as curvas de nível ou as curvas batimétricas.

No caso onde as curvas batimétricas ou as curvas de nível são sinuosas, os perfis transversais devem ser traçados o mais próximo um do outro para se obter uma melhor análise morfológica.

Sobre cada *transect* (perfil), as distâncias entre os pontos de intersecção sucessivos AB, BC, CD, etc..., são medidos com uma régua e o valor obtido deverá ser anotado em milímetros no meio de cada *transect* (perfil), e transformado em distância real correspondente a escala do mapa (Figura 11).

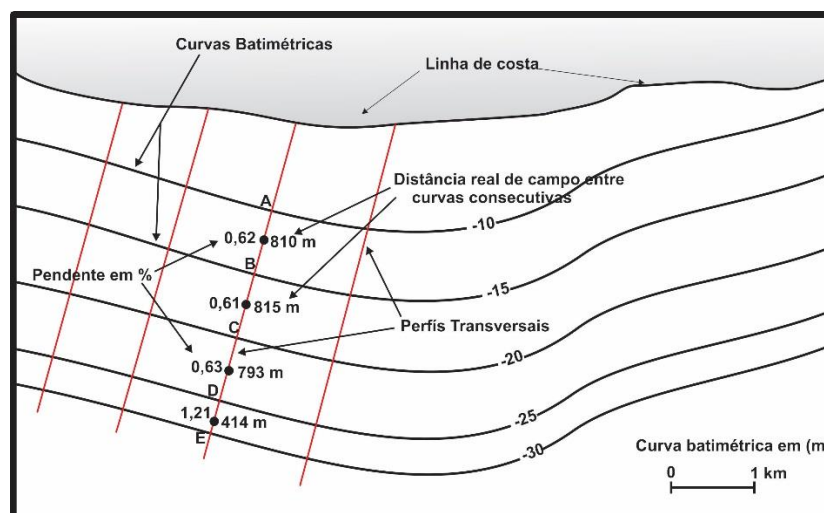


Figura 11 – Medida de pendente sobre relevo pouco acidentado.
(modificado de Corrêa, 1990).

A pendente é obtida através da divisão da equidistância entre duas curvas batimétricas ou topográficas consecutivas e o valor medido entre dois pontos de intersecção sucessivos (exemplo *transect* BC - Figura 12) sobre a carta e convertido em



valor sobre o terreno. O resultado obtido desta maneira é em seguida multiplicado por 100 para se ter a pendente em porcentagem.

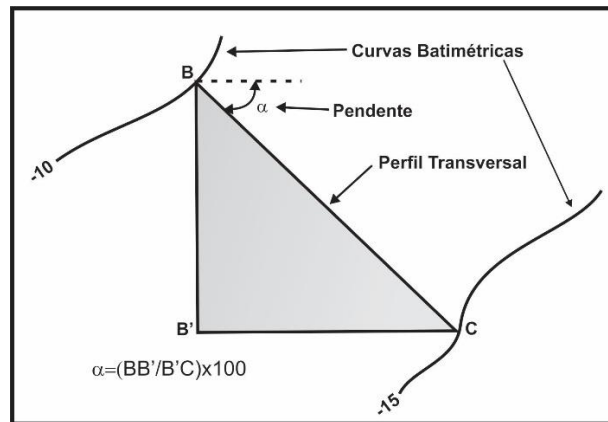


Figura 12 – Representação esquemática da medida de pendente.
(modificado de Corrêa, 1990).

3.3.2 MEDIDA DA PENDENTE SOBRE RELEVO ACIDENTADO

Em caso de relevo acidentado, os segmentos de retas devem ser traçados a cada variação do afastamento ou aproximação entre duas curvas consecutivas (Figura 13). Estes segmentos devem ser traçados seguindo as linhas de maior pendente do terreno e tentando ser o mais perpendicular possível entre as duas isóbatas.

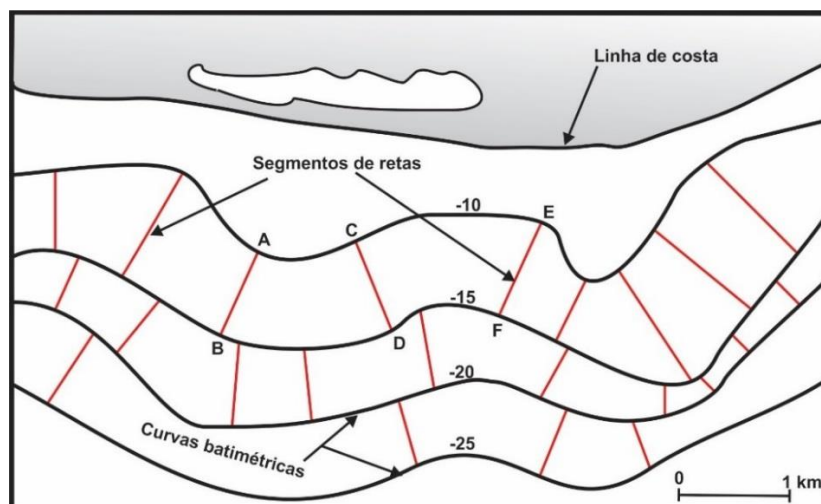


Figura 13 – Medida de pendente sobre relevo acidentado.
(modificado de Corrêa, 1990).



As distâncias AB, CD, EF etc. (Figura 13), são medidas com uma régua e seus valores, em milímetros, deverão ser anotados no meio do segmento. A sequência de operações para o cálculo de pendente se faz exatamente como no caso anteriormente descrito (Item 3.3.1).

Um tratamento automático para a obtenção das pendentes e dos valores de pendente de uma superfície foi elaborado por Froidefond (1982) e muitos já existem em *software* vendidos no mercado (Figura 14).

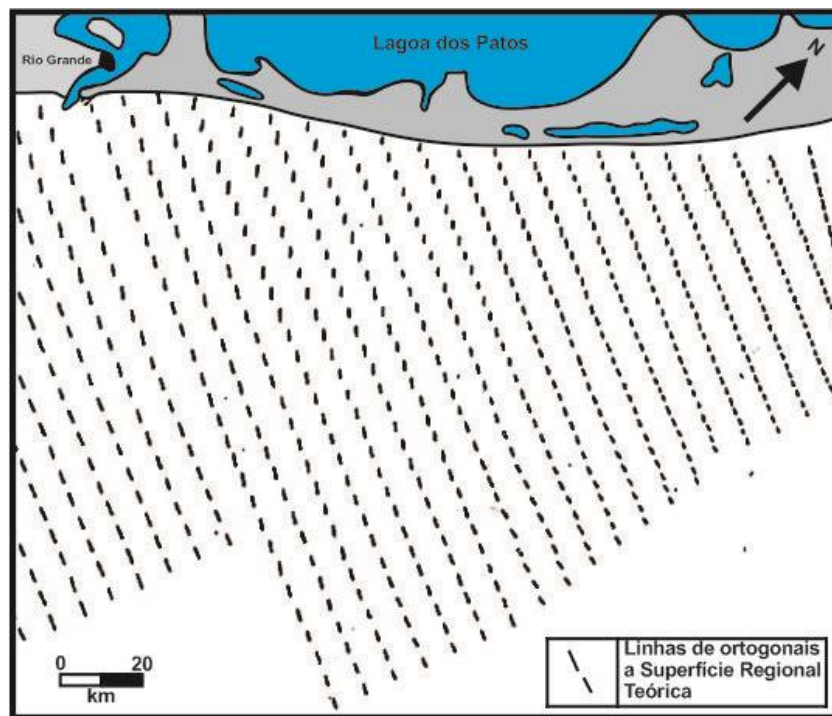


Figura 14 – Carta de ortogonais a superfície regional teórica da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (modificado de Corrêa, 1990).

Com os dados de pendentes demarcados sobre a carta traçam-se as linhas de igual pendente (isopendentes), da mesma maneira que são traçadas as curvas batimétricas ou topográficas, pelo processo da interpolação.

Desta maneira obtém-se a carta de pendente da área estudada, que dependendo dos valores obtidos de pendentes, pode-se agrupá-las em intervalos pré-estabelecidos, tentando ressaltar as áreas com maiores e menores pendentes (Figura 15).

A figura 16 mostra o traçado dos eixos de pendentes, obtidos a partir da carta de pendentes. Procura-se traçar os eixos das áreas de maior pendente.



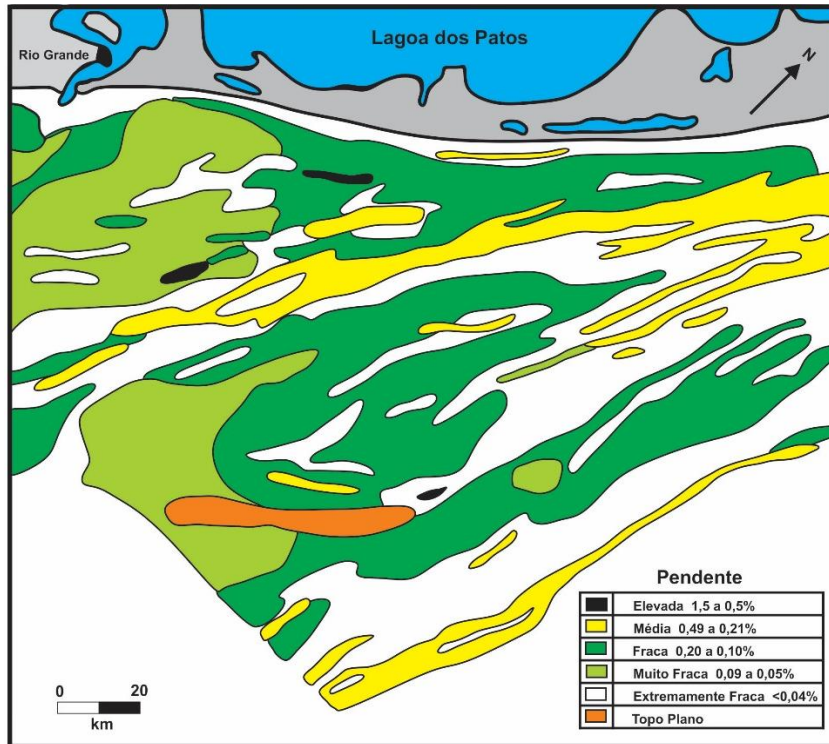
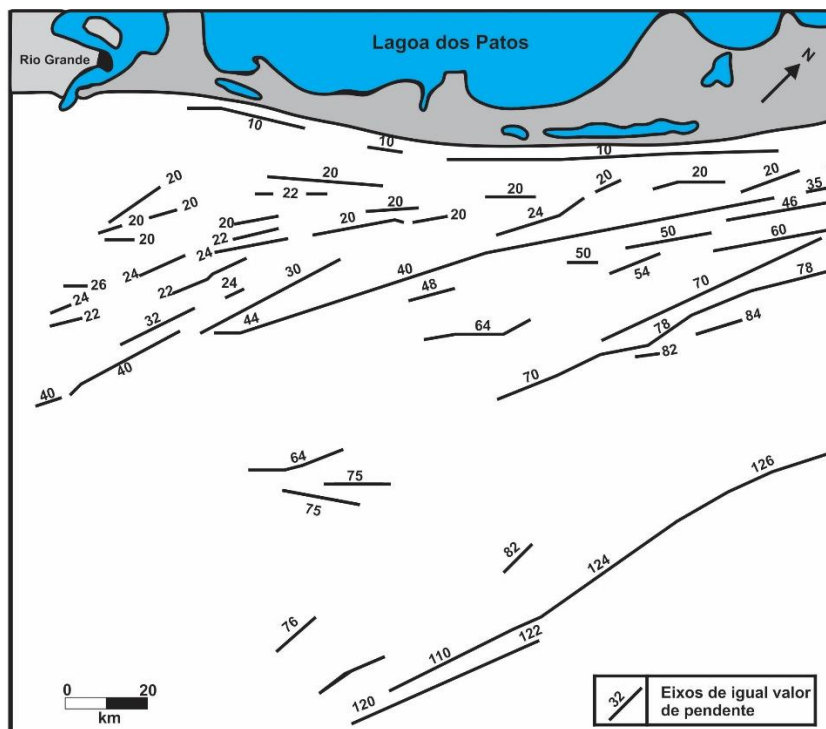


Figura 15 – Carta de classificação de pendente da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).



Figuras 16 - Carta dos eixos de igual valor de pendentes (fortes e médias) da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).



3.3.3 RUGOSIDADE OU VIGOR DO RELEVO

O parâmetro de rugosidade ou vigor do relevo nos dá informações sobre o enrugamento ou denteamento da região analisada. É um importante parâmetro geomorfológico pois esse pode estar relacionado a um caráter geológico particular tal como a natureza litológica do substrato (Hobson, 1972).

É através do aspecto mais ou menos recortado do relevo que se obtém zonas com rugosidades diferentes. O traçado sinuoso das curvas batimétricas ou das curvas topográficas depende, em grande parte, da diferenciação litológica. Esse traçado, que pode se apresentar simples ou complexo, traduz pequenas asperezas das superfícies. Essas irregularidades vão depender da interação entre as litologias e os fatores externos que as modelam.

Esse método é principalmente utilizado no estudo das variações da frequência dos topos e depressões de uma carta batimétrica ou topográfica. Esse consiste em medir sistematicamente, no interior de uma malha, um índice particular, denominado de “rugosidade” (Figura 17). Entre os diferentes meios de se estimar a rugosidade, o mais simples é o a seguir descrito.

Efetua-se a superposição de uma malha circular sobre a carta topográfica ou batimétrica de detalhe e conta-se o número de vezes que uma curva batimétrica ou topográfica qualquer venha a interceptar o círculo circunscrito a malha da grade escolhida, sem se preocupar em saber se a mesma curva intercepta várias vezes o mesmo círculo.

Os valores assim obtidos são transportados ao centro de cada círculo da malha escolhida (Figura 17). Após é traçado, pelos pontos de mesmo valor, as curvas de isovalor observando as mesmas leis que governam o traçado de curvas batimétricas ou topográficas (Figura 18). Para não favorecer certas direções é necessário que os círculos que determinam a malha apresentem recobrimento entre si.

Esse índice fornece informações sobre a intensidade relativa do relevo e se for utilizado conjuntamente com a análise de pendentes, esse pode dar informações mais precisas sobre a litologia do terreno.

As zonas de fraca rugosidade correspondem a regiões onde o relevo é homogêneo e recoberto por rochas ou sedimentos grossos ou finos enquanto as zonas de forte



rugosidade são encontradas em locais com rochas mais desgastadas, sedimentação mais grossa e as influências estruturais mais visíveis (Prud'Homme, 1972).

A figura 19 apresenta a carta de rugosidade para a área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

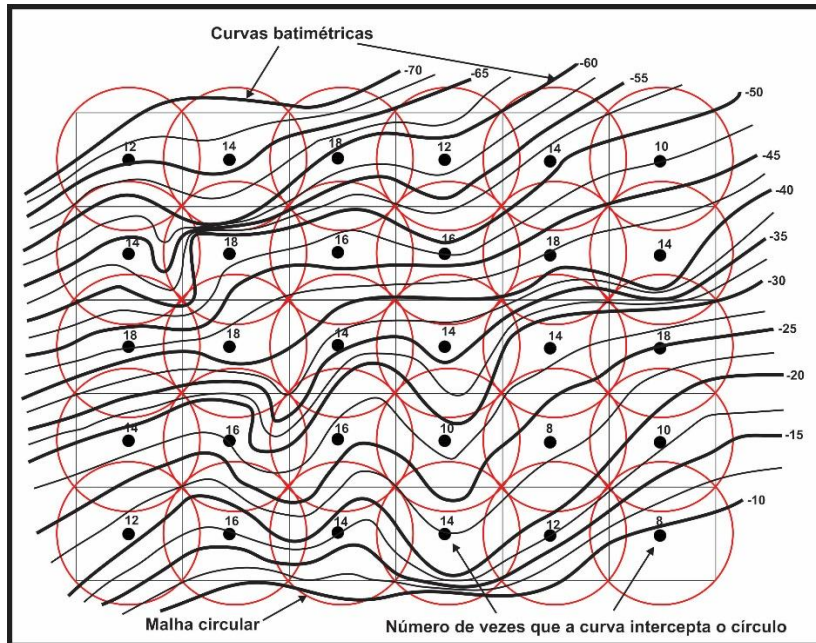


Figura 17 - Cálculo do índice de rugosidade.
(modificado de Corrêa, 1990).

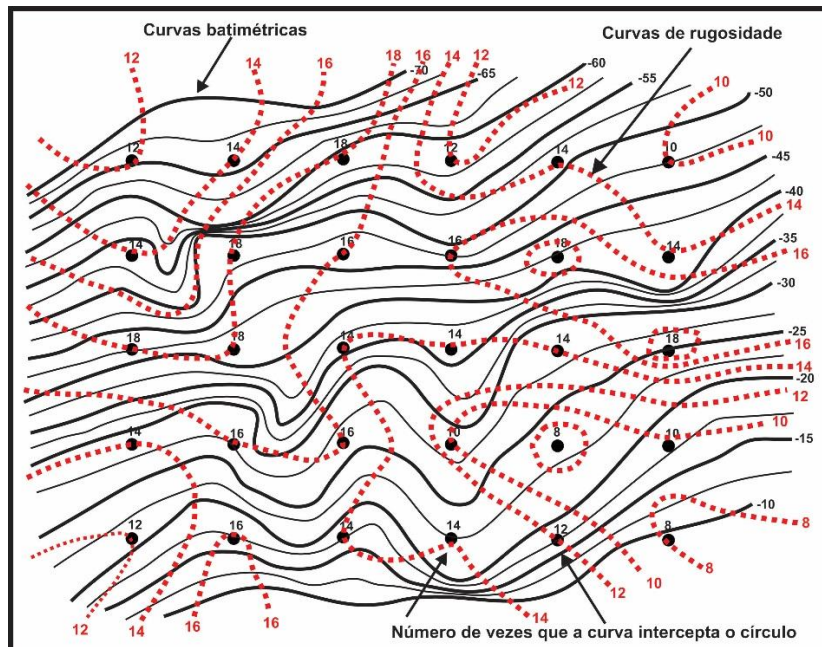


Figura 18 – Traçado do índice de rugosidade.
(modificado de Corrêa, 1990).



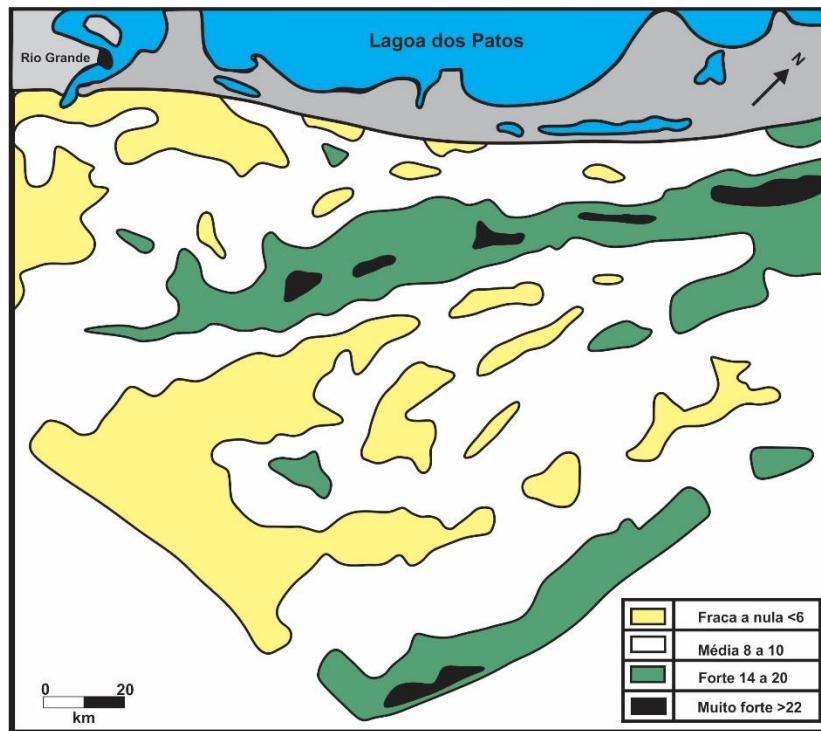


Figura 19 – Carta de Rugosidade da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

IV. ANÁLISE DE VALES

A rede de entalhes da batimetria submarina que corresponde aos vales ou talvegues, podem fazer parte da análise especializada, da mesma maneira que a rede hidrográfica continental. As relações existentes entre o número e o comprimento das seções de drenagem, de um lado, e sua hierarquização, do outro, são perfeitamente comparáveis entre os dois tipos de redes. (Prud'Homme, 1972).

Pode-se dizer que a instalação de uma rede de drenagem sobre uma superfície é a resultante de vários fenômenos. A rede de drenagem pode ser definida como um sistema perpetuamente em evolução, na procura de um equilíbrio, conciliando os diversos fatores de erosão, de sedimentação e do ambiente geológico (Naudin, 1971).

No estudo da rede de entalhe, os três parâmetros cujas variações parecem ser as mais importantes são: a topografia, as estruturas geológicas e a litologia. No quadro geral dado pelo relevo de uma área onde se instalará uma drenagem, é normal que certas direções desta drenagem sejam coincidentes com as linhas de maior pendente do relevo. Entretanto constata-se que devido à presença de obstáculos naturais (falhas, diaclases,



bancos, juntas, estruturas geológicas), a rede irá adquirir sua simetria, seu tipo e suas anomalias.

Da mesma maneira se observa que o número de elementos da rede de drenagem vai se ordenar conforme a permeabilidade das formações litológicas circundantes e subjacentes.

Os primeiros trabalhos sobre a rede de entalhes de áreas continentais são de Gravelius (1914) e Horton (1945). Esses foram seguidos pelos trabalhos de Strahler (1952); Schumm & Chorley (1966) e Scheidegger (1967) que desenvolveram várias técnicas de estudo. Estas foram ampliadas e estendidas ao domínio marinho pelos trabalhos de Naudin (1971), Prud'Homme (1972) e Corrêa (1990;1994).

A carta de drenagem pode ser produzida a partir da manipulação e ajuste das redes de drenagem presentes nas cartas topográficas ou batimétricas, disponibilizadas em formato vetorial e edições realizadas com base na análise visual do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para implementação da delimitação de bacias hidrográficas pode ser utilizada a técnica de extração automática de bacias a partir do MDE, utilizando a ferramenta ArcHydro do programa ArcGIS 9.2 (Maidment, 2002).

4.1. CONCEITO DE ORDEM DE HIERARQUIZAÇÃO

Os diferentes segmentos de um sistema fluvial apresentam, entre si, relações de hierarquia e têm caracteres morfométricos e hidrológicos particulares, que levaram os especialistas a tentar estabelecer uma classificação em função do nível de importância relativa (ou da ordem relativa) de cada segmento. Estas classificações (bastante numerosas) permitem, em particular, comparar entre elas as diferentes redes de drenagem e relacioná-las com os processos hidrológicos e erosionais (Prud'Homme, 1972).

Várias classificações foram propostas, dentre estas se destacam as de Horton (1945); Strahler (1952); Shreve (1967) e Scheidegger (1967) e que são representadas na figura 20.

As classificações de Horton (1945) e Strahler (1952) são as mais utilizadas em análises morfoestruturais. Estas duas classificações são embasadas nos mesmos princípios, os quais podem ser enunciados da seguinte maneira:



A confluência de duas drenagens de ordem idêntica dão origem a uma drenagem de ordem superior podendo receber afluentes de qualquer ordem inferior à sua.”

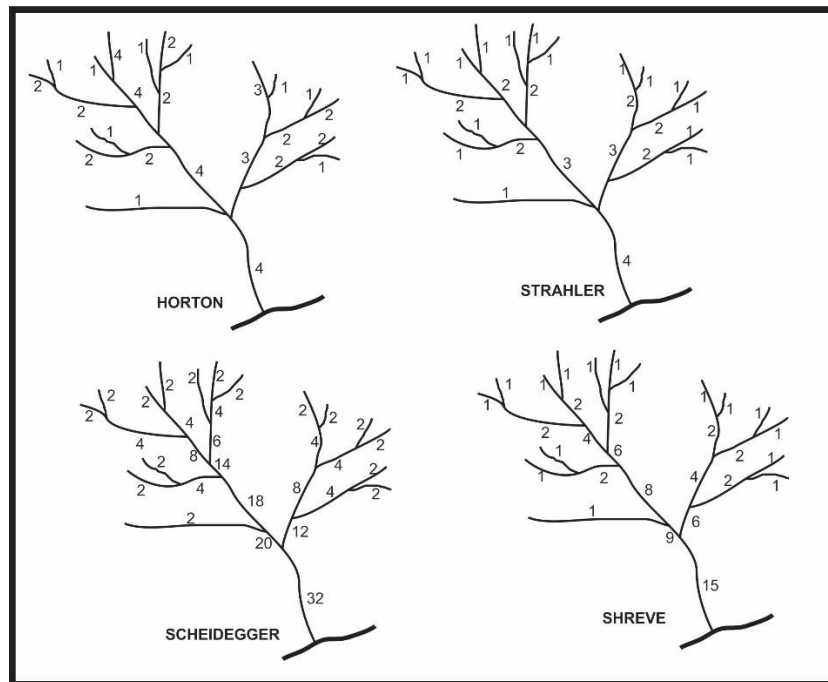


Figura 20 – Sistemas de hierarquização.
(modificado de Corrêa, 1990).

O princípio de hierarquização da rede de entalhes proposta por Horton (1945), se baseia em partir do topo da rede e classificar, como de 1ª Ordem, todos os entalhes que não apresentem tributários (Figura 21 A). Dois entalhes de 1ª Ordem que se interceptam formam um entalhe de 2ª Ordem. A classificação de 2ª Ordem é então estendida até o topo do mais longo tributário de 1ª Ordem (Figura 21 B). Dois entalhes de 2ª Ordem que se interceptam dão origem um entalhe de 3ª Ordem, que será traçado até o topo do entalhe de 2ª Ordem (Figura 21 C). Dois entalhes de 3ª Ordem que se interceptam formarão um entalhe de 4ª Ordem e assim sucessivamente (Figura 21 D).

Diferentemente da classificação de Strahler (1952), o sistema proposto por Horton (1945), após ter classificado todos os elementos desde a nascente até a desembocadura, efetua uma reclassificação dos mesmos segmentos do sistema de drenagem, desta vez partindo da desembocadura em direção a nascente de maneira que a drenagem de maior importância se encontre na ordem mais elevada.



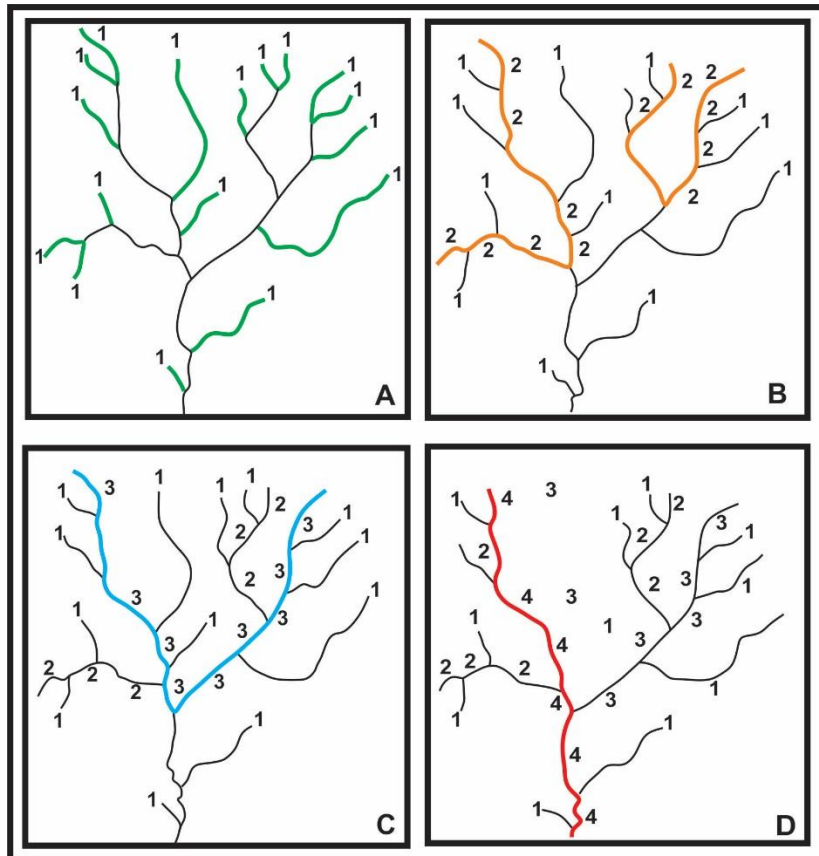


Figura 21 – Etapas de hierarquização da rede de entalhes segundo Horton (1945).
(modificado de Colina-Girard, 1989).

Quando em uma confluência houver uma hesitação na reclassificação do afluente, leva-se em consideração o comprimento da seção de drenagem ou sua direção que deverá ser paralela aquela da seção de classificação superior.

A locação de uma ordem a cada seção de vale, conduziu Horton a enunciar algumas leis empíricas relativas à distribuição dos números, dos comprimentos e das superfícies drenadas pelos rios de uma ordem dada. A primeira destas leis, a lei do “número de rios” pode ser assim enunciada:

O número de rios de diferentes ordens, em uma bacia, tende a se aproximar de uma série geométrica inversa, na qual o primeiro termo é a unidade e a razão da relação de bifurcação.

Esta lei permite ao operador verificar se a análise efetuada na classificação da drenagem foi uma boa classificação ou não. Um exemplo da aplicação da primeira lei (ordem/número de drenagem) foi realizado para a rede de drenagem da plataforma



continental do Rio Grande do Sul, por Corrêa (1990), e o resultado obtido se encontra na figura 22.

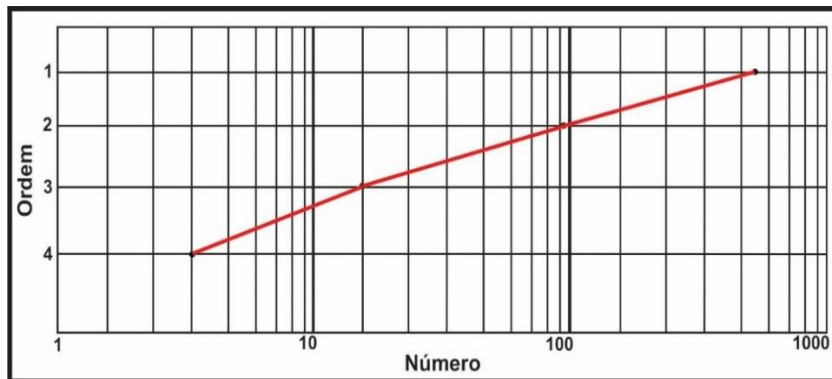


Figura 22 – Relação ordem/número de drenagens.
(modificado de Corrêa, 1990).

4.2 MORFOMETRIA DOS COMPRIMENTOS DOS VALES

Outra metodologia bastante diferente é aquela que analisa a distribuição espacial das seções de vales de uma determinada ordem, após sua hierarquização.

Gvin & Filosofov (1965) aplicaram esta metodologia em uma região petrolífera onde o substrato da mesma era bem conhecido, a partir dos métodos clássicos de geologia e geofísica. Segundo estes autores, as estruturas com tendência a sinclinais, coincidem, de uma maneira geral, com as drenagens mais longas de 2ª ordem, enquanto, inversamente, as estruturas com tendência a anticlinais apresentam um impacto sobre as drenagens de 2ª ordem que apresentam seus comprimentos mais curtos. Vários trabalhos efetuados provaram, na maior parte das vezes, que esta é a tendência geral, ligando os comprimentos das drenagens de certa ordem com a presença de estruturas profundas.

Prud'Homme (1972) e Delteil et al. (1974), consideram que somente dois fatores geológicos poderão explicar esses dados de observação:

- Taxas diferenciais de sedimentação mais recente, sobre substratos mais antigos, podem criar faixas de rompimento e de diaclase, cuja presença é decisiva para a classificação da drenagem superficial.

- Os movimentos de reajustamento que afetam uma anticlinal têm um impacto direto sobre o resultado da fragmentação e perturbação, os quais serão mascarados devido à concavidade da estrutura ser voltada para cima.



Isso permite explicar por que os elementos da drenagem, situados sobre uma sinclinal têm, em geral, comprimentos superiores aqueles das drenagens localizadas sobre uma anticlinal (Figura 23).

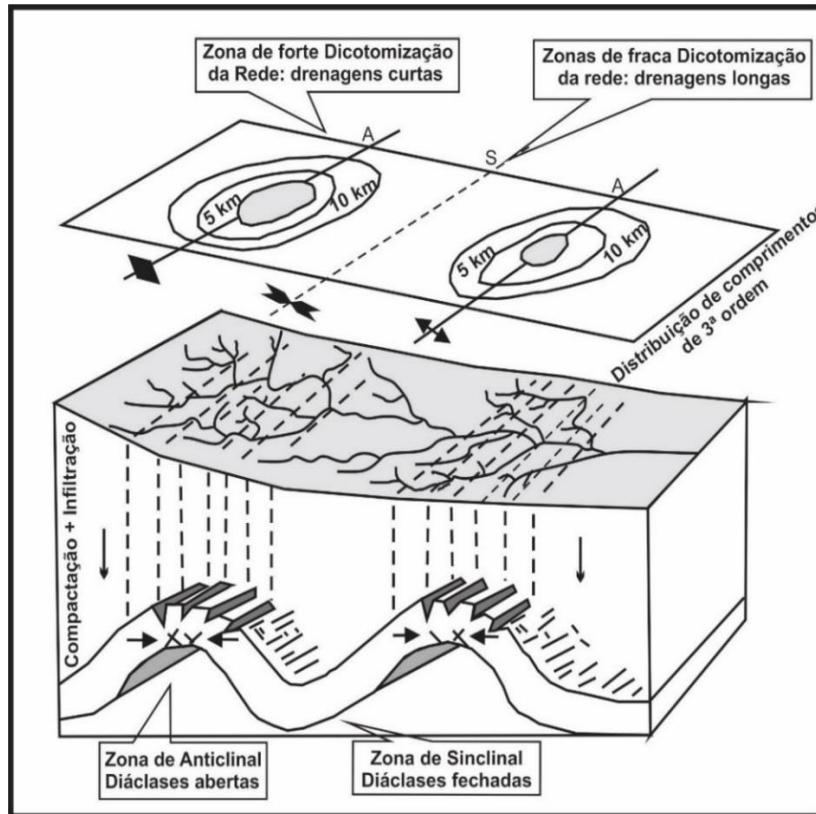


Figura 23 – Esquema interpretativo das relações observadas entre as estruturas de subsuperfície e a rede de entalhes.
(modificado de Collina-Girard & Griboulard, 1990).

A interpretação da distribuição das curvas de igual comprimento dos vales fornecerá linhas diretrizes com valores de eixos positivos e negativos da superfície modelada, os quais se orientarão paralelamente aos eixos das estruturas profundas e reais.

Verdadeiramente pode-se afirmar a existência de uma relação entre a morfologia de uma determinada ordem da drenagem e a profundidade das estruturas: quanto mais elevada for esta ordem mais profunda e ou maior é esta estrutura.

Esta técnica foi difundida e aplicada com sucesso em diversas regiões do mundo que apresentavam contatos geológicos variados. Pode-se citar, entre outros: Prud'Homme (1972) que aplicou esta técnica com sucesso no Golfo de Gascogne e na Bacia de Aquitaine; Naudin (1971) que estudo no domínio marinho, o plateau continental de



Aquitaine; Griboulard (1980), que graças a esta técnica pôs em evidência estruturas hercinianas da Meseta Marroquina; Fontas (1983) observou estruturas soterradas da placa Atlântica mergulhante sobre o prisma de acreção tectônica das Pequenas Antilhas na margem oriental Caribenha; Affian (1986) estudou a incidência de estruturas oceânicas e continentais da região do Golfo da Guiné e da Costa do Marfim meridional, Drago (1989) caracterizou a continuidade da organização estrutural entre os domínios continentais e submarinos da plataforma continental Portuguesa e Corrêa (1990, 1994) que caracterizou estruturas tectônicas e paleovales junto à plataforma continental do sul do Brasil (Figura 24 e 25).

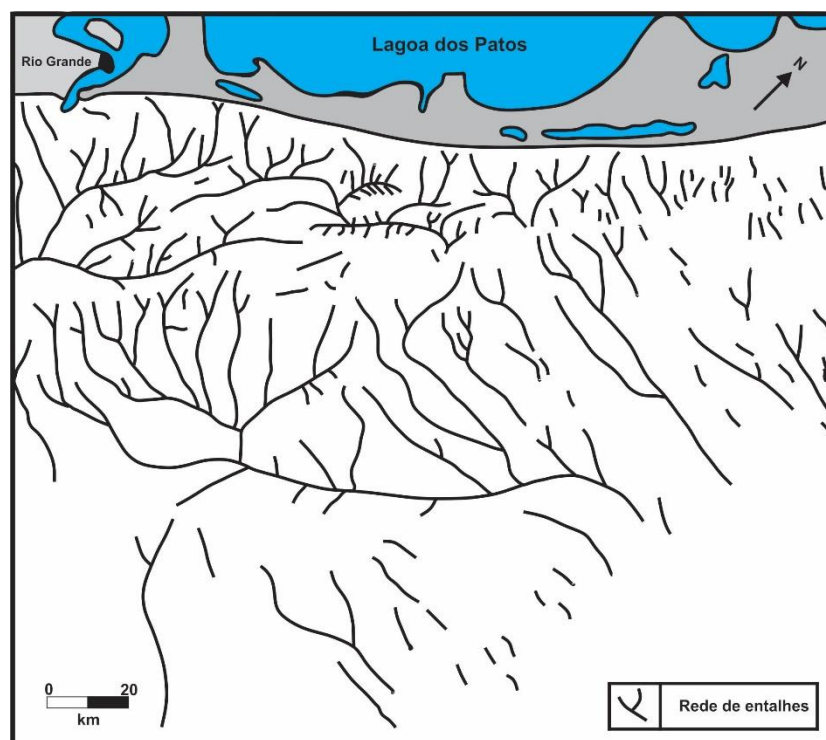


Figura 24- Carta da rede de entalhes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

Essa metodologia consiste em medir o comprimento de todas as seções da rede de drenagem de uma mesma ordem a partir da Carta de Hierarquização da rede. Cada valor obtido será anotado no meio da seção considerada. A partir de todos os valores obtidos e anotados sobre a carta é traçada as curvas de isovalor, obtendo-se assim, a carta de curvas de isovalor de comprimento dos vales de uma determinada ordem, sobre a qual ressaltarão os eixos de fraco ou forte valor que são correlacionáveis a estruturas antiformes e sinformes respectivamente (Figura 26 e 27).



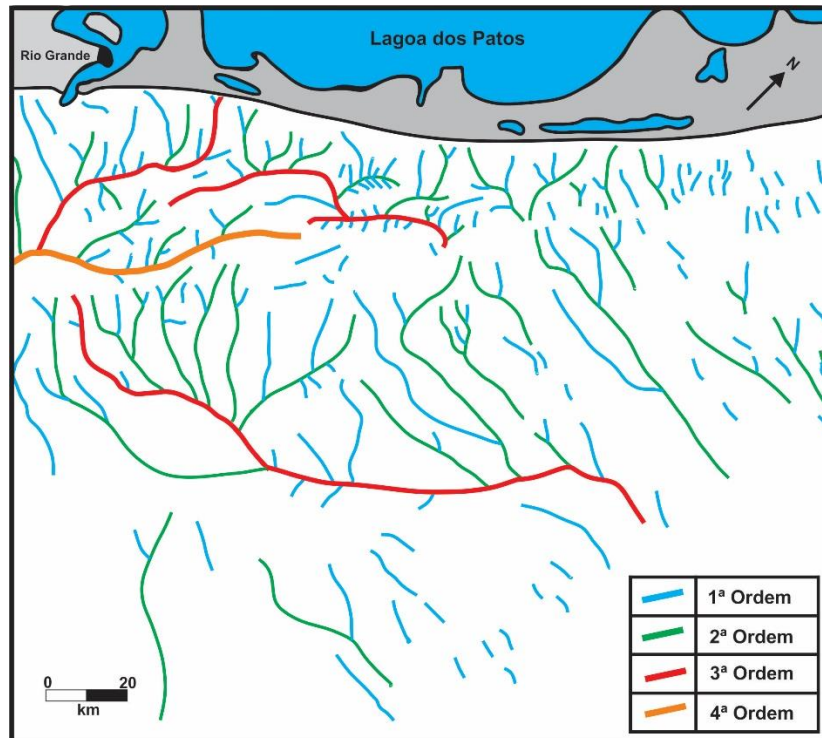


Figura 25 – Carta de hierarquização da rede de entalhes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

(modificado de Corrêa, 1990).

As medidas podem ser efetuadas sobre qualquer uma das ordens de drenagem. O estudo das drenagens de primeira ordem fornece informações mais específicas sobre direções subsuperficiais. Esta ordem apresenta, geralmente, um número mais elevado de seções e seu traçado depende da precisão da carta utilizada, o que faz deles um elemento de análise pouco cômodo. Quanto as ordens mais elevadas, estas assinalam bem as grandes orientações profundas a partir dos alinhamentos de forte ou fraco valor. Entretanto sua densidade diminui mais, conforme nos aproximamos de ordens superiores, conduzindo a resultados de difícil interpretação. Convêm, entretanto, considerar para o estudo da morfometria as seções de 2ª ou 3ª ordem.

Esta metodologia nos permite ter um primeiro registro da organização estrutural local a qual pode ter sua veracidade comprovada, quando confrontadas com resultados de outras análises.



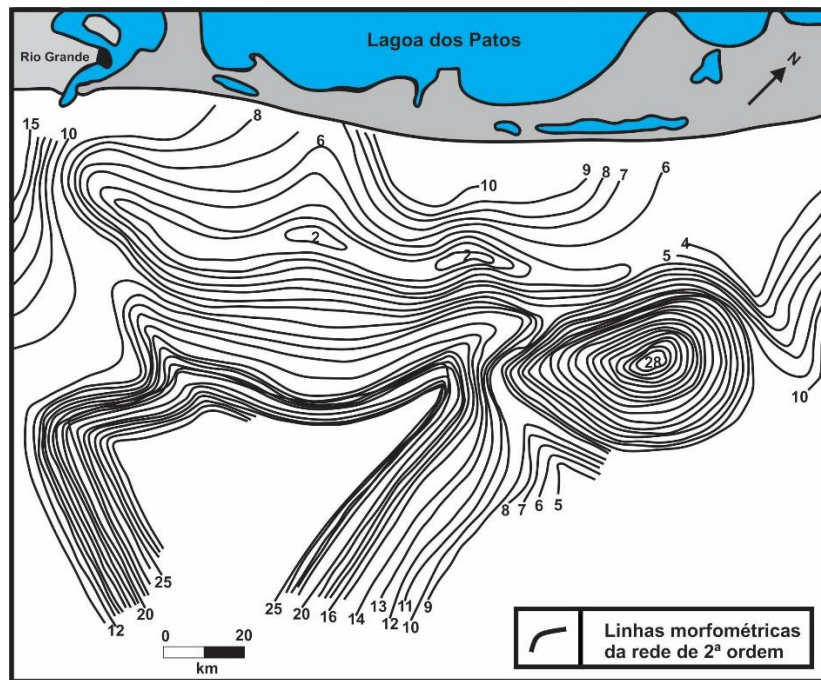


Figura 26 – Carta Morfométrica de entalhes de 2ª ordem da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

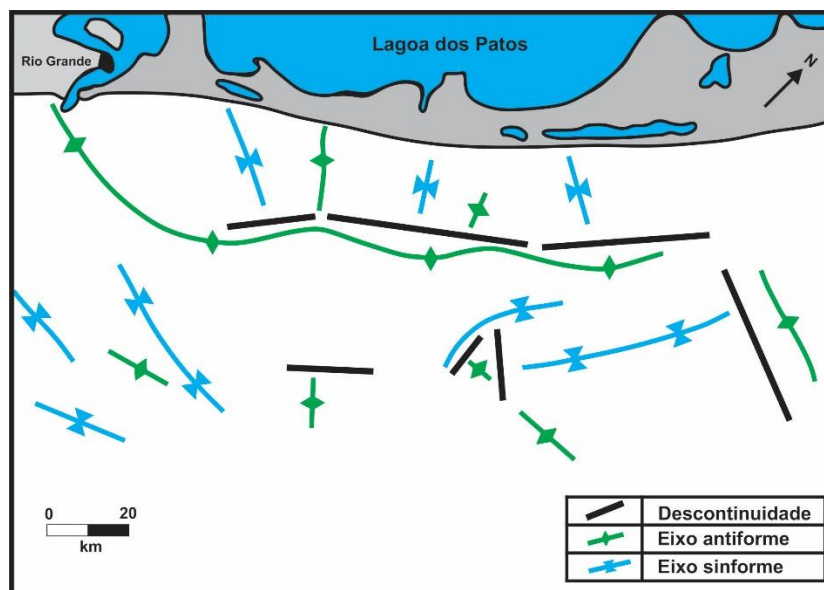


Figura 27 – Carta interpretativa da morfometria da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).



4.3 MAGNITUDE DA REDE DE ENTALHES

O método posto em prática por Shreve (1966), leva em consideração o número de fontes (nascentes) e de confluências de cada elemento da rede de drenagem, atribuído a essa seção, o qual denomina de “Magnitude”.

Parece evidente que a densidade da drenagem depende da permeabilidade do substrato subjacente, na qual, seguidamente, os obstáculos menores favorecem as confluências, enquanto as nascentes são geralmente localizadas na base dos níveis permeáveis.

Verifica-se que a partir de numerosos testes efetuados sobre áreas continentais, sem causar dano aos resultados, não se deve levar em consideração o papel desempenhado pelos afluentes de primeira ordem. Em contra, no domínio oceânico, devido à precisão cartográfica do documento base, foi constatado que os elementos de ordem inferior da drenagem, primeira ordem, correspondem às drenagens terrestres de segunda ou mesmo de terceira ordem. Em consequência é aconselhável efetuar a análise sobre a totalidade da rede de entalhe submarina, a fim de se obter resultados mais fidedignos (Naudin,1971).

A cartografia das magnitudes da rede de entalhes, compreende a numeração, na ordem crescente da base em direção ao topo, de todas as nascentes e confluências dos ramos da rede de drenagem. Define-se assim, a partir de uma origem ligada por uma linha contínua, diferentes nascentes e confluências de um mesmo nível, numa sequência ordenada de valores, indo do nível de base à nascente mais afastada e mais alta. De uma maneira prática, é conveniente partir da base ligando-se as primeiras confluências e nascentes entre si. Em continuação traça-se uma segunda linha, acima da precedente, ligando uma nova geração de nascentes e de confluências de tal maneira que entre as duas curvas de magnitude assim obtidas tenha-se somente sequências de vales sem a presença de outros elementos da drenagem (Figura 27).

Desta maneira elabora-se, pouco a pouco, uma série de curvas de igual magnitude em relação ao nível de base escolhido.

Esta técnica que não necessita da realização de medidas sobre a carta, permite obter rapidamente uma representação cartográfica sem a influência pessoal do operador, já que esta não necessita de nenhuma interpretação do operador na construção da carta.



A metodologia consiste em juntar todas as confluências de uma bacia à outra de tal maneira que entre duas curvas tenham-se somente seções de drenagem sucessivas definidas (Figura 27).

Em primeira aproximação pode-se pensar que o significado destas linhas de igual magnitude esteja ligado a superfícies estruturais e ou a natureza do subsolo.

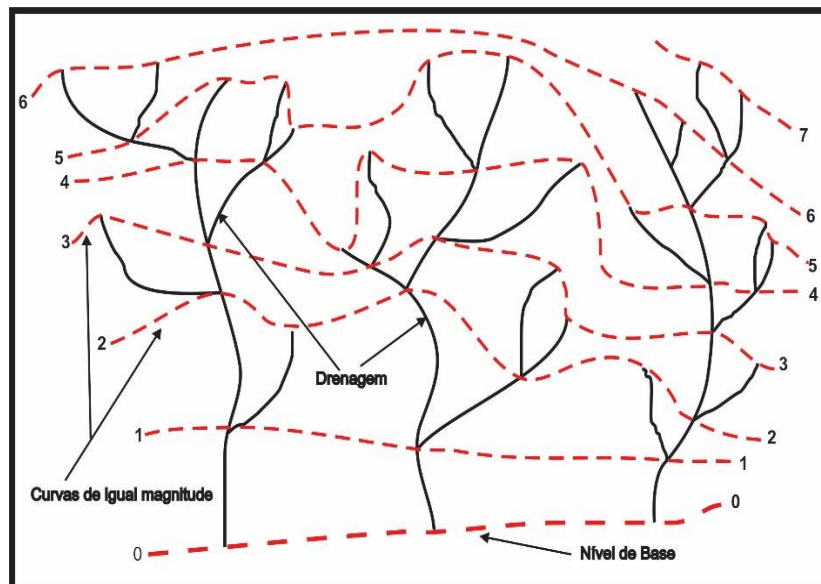


Figura 27 – Princípio da elaboração da carta de magnitude.
(modificado de Corrêa, 1990).

A forma das curvas de magnitude e a superfície dos espaços entre curvas parecem estarem ligadas ao número e a localização dos obstáculos naturais a drenagem e podem traduzir, cartograficamente, as variações dos comprimentos das seções de drenagem que unem as nascentes e as confluências, caracter seguidamente associado a um controle estrutural. Parece possível ligar as informações de ordem estrutural, as informações relativas as anomalias na divisão da densidade de drenagem.

O aparecimento de limites quase lineares e provavelmente de origem estrutural, pode representar a existência de bacias geológicas diferentes, na medida onde a aproximação das linhas de igual magnitude é tal que há justaposição de regiões a forte e a fraco coeficiente de drenagem. Tal observação conduz imediatamente a pensar em um contato estrutural ocasionado pela presença de falha ou a um limite de bloco tectônico (Figura 28 e 29).



Uma interpretação, em função da litologia, pode ser tentada. Em uma região onde as curvas de magnitude são pouco numerosas e muito espaçadas pode indicar uma zona litologicamente monótona e pouco perturbada pelos fenômenos tectônicos. Ao contrário, uma forte densidade de curvas sobre uma área restrita, assinala uma região muito tectônica ou a presença de uma estrutura litológica complexa e densa.

A utilização de tal metodologia abre acesso ao reconhecimento global das características litológicas e tectônicas do domínio estudado.

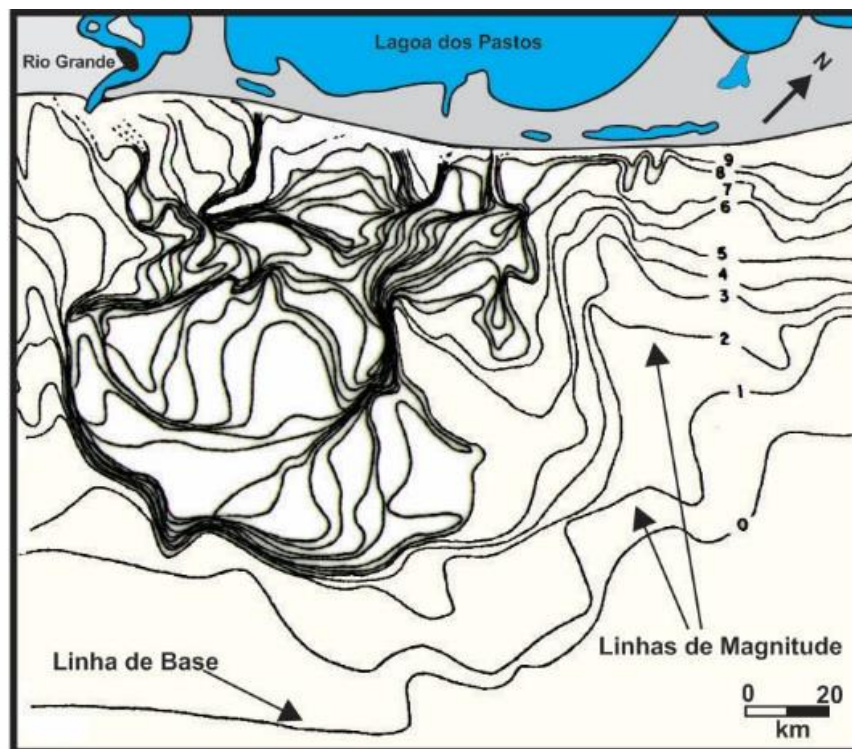


Figura 28 – Carta de magnitude da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (modificado de Corrêa, 1990).



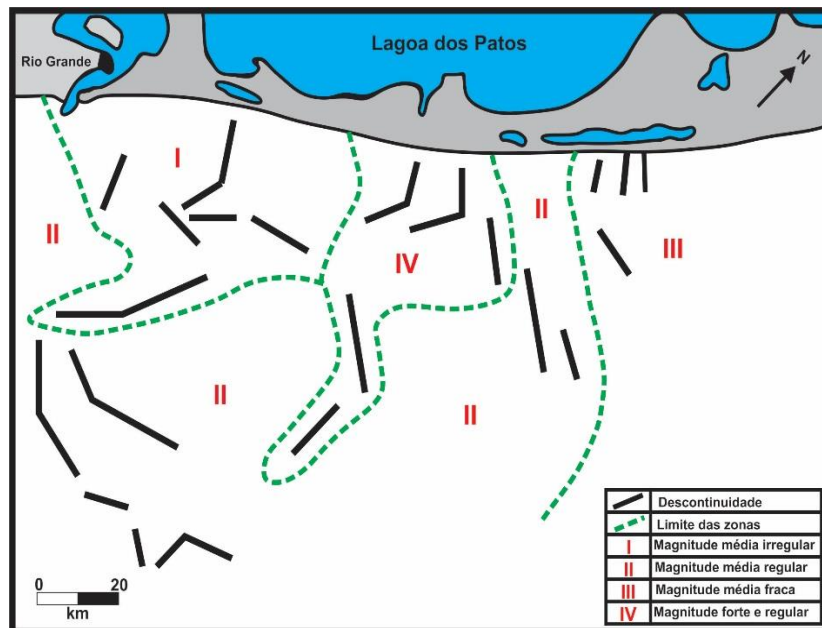


Figura 29 – Carta de tipos de magnitudes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

4.4 LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

O termo lineamento foi originalmente definido por Hobbs (1912, *apud* Veneziani 1987) para caracterizar as relações espaciais de feições, tais como cristas, bordas de áreas elevadas, alinhamentos de contatos geológicos ou tipos petrográficos, ravinas ou vales, e fraturas ou zonas de falhas visíveis como tais. Segundo Veneziani (1987), pode ser empregado como designativo de feições definidas por alinhamentos de relevo e drenagem, os quais englobam as formas definidas por Hobbs.

A distinção entre lineamentos estruturais e falhamentos, na interpretação dos produtos de sensoriamento remoto, é necessária devido aos seguintes fatores:

- os lineamentos não se restringem ao desenvolvimento de apenas um tipo de movimento tectônico ao longo de toda sua extensão ou durante o decorrer dos diferentes ciclos ou fases tectônicas que afetaram uma determinada área;
- uma zona de falha pode dar origem a diversos lineamentos paralelos a subparalelos, ou vice-versa, isto é, várias fraturas associadas a uma zona de falha podem dar origem a apenas um lineamento distinguível nos produtos de sensoriamento remoto.

O mapeamento de lineamentos morfoestruturais é realizado a partir de vetorização com uso dos dados topográficos ou batimétricos através do TOPODATA, utilizando a base



correspondente às variáveis geomorfométricas, orientação de vertentes e curvatura horizontal.

Estes produtos, trabalhados no aplicativo SPRING 4.3.3 (Câmara et al., 1996) e Global Mapper 9 (Global Mapper Software, 2009), podem ser combinados com dados de altimetria visualizados em diferentes padrões personalizados de paletas de cores e tons de cinza, o que possibilita a extração de traços retilíneos ou suavemente encurvados de relevo positivo e negativo.

Compartimentos morfoestruturais podem ser definidos com base em similaridades de relevo integradas às características morfoestruturais e às informações derivadas do mapa geológico. A disposição espacial dos lineamentos morfoestruturais é analisada com base na geração de mapas de densidade, bem como em informações quantitativas referentes ao número e comprimento das feições. Para a análise direcional, as informações estatísticas podem ser representadas em diagramas de roseta obtidas com intervalos de 10°, segundo frequência absoluta (i.e., número absoluto de lineamentos em determinada direção).

4.5 ZONAS DE JUNTAS

O termo fratura, segundo Ramsay & Huber (1987), é definido como um plano de ruptura onde a coesão da rocha foi perdida; este plano pode corresponder a juntas ou falhas.

Os elementos de drenagem fortemente estruturados (disposição regularmente ordenada), retilíneos ou em arco, denominam-se, segundo Soares & Fiori (1976), lineações de drenagem e são interpretados como traços de fratura. Os traços de fratura correspondem a zonas de concentração de juntas.

O termo “conjunto de zonas de juntas” é definido por Plicka (1974) como uma série de zonas de juntas paralelas entre si e com uma gênese comum. Características importantes das zonas de juntas podem ser utilizadas na prospecção mineral (Plicka 1974, Nickelsen 1974):

- os conjuntos de zonas de juntas podem emergir de rochas mais antigas e se estender verticalmente através de rochas subjacentes mais novas;
- os padrões de fraturamento são cumulativos e persistentes.



Segundo Veneziani (1987), os conjuntos de zonas de juntas são feições geológicas de significado regional, independentes de variações litoestratigráficas locais e da atitude dos estratos, embora estes dois últimos fatores exerçam controle sobre a frequência.

Baseando-se na metodologia de Veneziani (1987), a partir de um mapa com as curvas de isodensidade de fraturamento, pode-se interpretar um mapa de eixos de distribuição de fraturamentos na superfície. Segundo Aliyev (1979), estes eixos representam direções de fraquezas precedentes à instalação dos sistemas de fraturas generalizadamente observados e, conseqüentemente, influem e favorecem um acréscimo na densidade de fraturamentos de gerações posteriores, ao longo deles.

O método de cálculo desta frequência é baseado na contagem do número de traços em uma grade regular de amostragem, considerando-se como padrão traços de, aproximadamente, mesmo comprimento.

Segundo Beisl (1996), a grade regular de amostragem pode ser definida a partir do comprimento médio e desvio padrão das feições lineares extraídas das drenagens.

4.6 LINEAMENTOS E ZONAS DE JUNTAS

Conforme a metodologia apresentada por Crepani (1987), na análise dos mapas de isofrequência, consideram-se as seguintes observações:

- a quantidade de zonas de juntas aumenta em relação à proximidade de falhas, indicando uma associação genética e geométrica entre as falhas e os conjuntos de zonas de juntas;
- lineamentos antigos tendem a condicionar a frequência das zonas de juntas formadas em regiões submetidas a processos de reativação.

Segundo Veneziani (1987), ao analisar as relações entre lineamentos e zonas de juntas, pode-se observar os seguintes aspectos:

- os feixes de zonas de juntas associam-se aos lineamentos mais expressivos de acordo com a verificação de Plicka (1974);
- as direções dos feixes de zonas de juntas podem ser paralelas aos lineamentos, possivelmente indicando reflexos na superfície da propagação de falhamentos profundos com movimentação relativa vertical.



4.7. CARACTERÍSTICAS GRÁFICAS DA REDE DE ENTALHES

As características gráficas da rede de entalhes reúnem uma grande quantidade de informações, estando estas intimamente ligadas ao contexto geológico. Assim para completar as análises precedentes convém examinar as configurações das redes de drenagem.

Howard (1967) estabelece uma classificação para os diversos tipos de redes de drenagem reconhecidas na literatura e as classifica em: tipos de base, tipos de base modificada e tipos particulares, assinalando igualmente um certo número de tipos de escoamento fluvial.

A classificação proposta por Howard (1967) apresenta seis tipos principais para a rede fluvial, os quais são subdivididos em “espécies ou subtipos”, em número variável apresentando o significado de cada tipo em relação ao contexto estrutural ou litológico, das condições de escoamento ou dos fatores meteorológicos (Figuras 30 e 31).

4.7.1. Tipo Dendrítico.

Este padrão desenvolve-se em áreas cristalinas ou de sedimentos de resistência uniforme ou em áreas com estruturas sedimentares horizontais. Uma pendente regional fraca deve existir no momento da instalação da drenagem. A presença de confluências em ângulos retos, neste padrão, constitui anomalias que podem ser atribuídas, em geral, a origem tectônica. Este padrão pode se desenvolver sobre rochas sedimentares como sobre rochas cristalinas (Figura 30).

Subtipos dendríticos podem ser descritos como subdendrítico, penados, anastomosados e distributários. O subtipo subdendrítico é caracterizado por um controle estrutural secundário de pouca importância. O subtipo penado ocorre em superfícies com textura sedimentar muito fina onde os afluentes são numerosos e curtos, e frequentemente, sobre materiais facilmente erosionáveis. O subtipo anastomosado é característico das planícies de inundação, deltáicas e de marés. O subtipo distributário ocorre sobre cones aluviais e deltáicos (Figura 31).



4.7.2 Tipo Paralelo

Este padrão indica geralmente uma pendente média a forte, mas pode igualmente ser encontrado em regiões de estruturas topográficas alongadas e paralelas. Todas as transições são possíveis entre este tipo e os tipos dendrítico e de treliça (Figura 30)

4.7.3 Tipo Treliça

O padrão em treliça é característico de estruturas homoclinais, em estruturas falhadas e em cristas de anticlinais. Ocorrem sobre rochas sedimentares, vulcânicas ou fracamente metamórficas, em zonas de fraturas paralelas, de lagos ou de fundos marinhos com a presença de cordões litorâneos submesos estriados. Este padrão de drenagem é definido como um dos quais onde os pequenos afluentes têm essencialmente a mesma importância que os longos rios subsequentes (Figura 30).

Subtipos treliça podem ser descritos como: treliça direcional, treliça curvada, treliça de falha e treliça de juntas. O subtipo treliça direcional caracteriza monoclinais moderadas. O subtipo treliça curvada caracteriza um substrato dobrado ou plisado onde os eixos das dobras apresentam um prolongamento nítido. O subtipo treliça de falha caracteriza regiões afetadas por falhas grosseiramente paralelas, divergentes, convergentes ou ramificadas. O subtipo treliça de juntas caracteriza regiões onde as falhas são paralelas ou coloca em evidência as juntas das rochas (Figura 31).

4.7.4 Tipo Retangular

O padrão retangular caracteriza um substrato onde juntas ou falhas se cruzam em ângulo reto, sem um ordenamento regular como no caso do tipo treliça. A drenagem e as linhas do divisor de águas mascaram a continuidade regional. Em determinadas ocasiões, a presença deste padrão está relacionada as diferentes composições geológicas das camadas horizontais ou homoclinais (Figura 30).



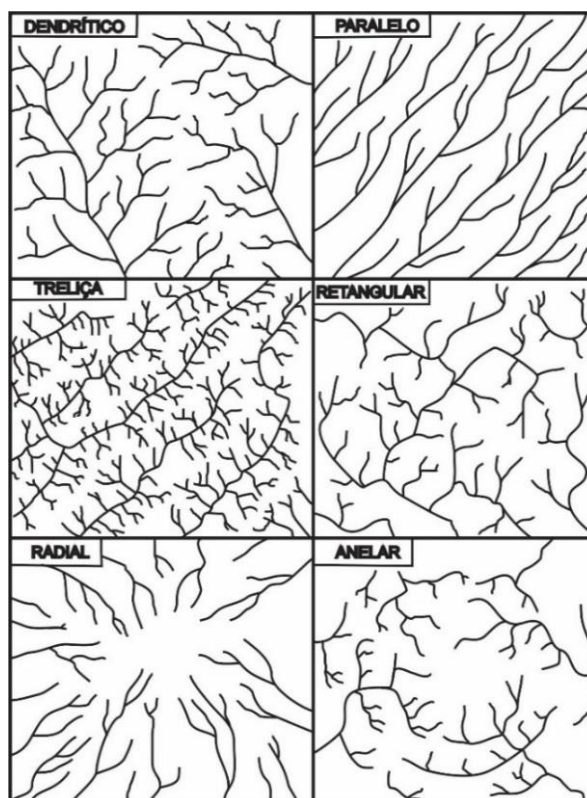


Figura 30 - Tipos fundamentais de drenagens.
(modificado de Howard, 1967).

4.7.5 Tipo Radial

O padrão radial caracteriza uma região de elevação ou depressão. Este pode desenvolver-se sobre os mais variados embasamentos ou estruturas geológicas (Figura 30). Dois sub-tipos podem se desenvolver: subtipo centrífugo e o subtipo centrípeto. O subtipo centrífugo caracteriza uma drenagem divergente a partir de um ponto ou uma área em posição mais elevada, como no caso de domos, cones vulcânicos, morros isolados e outros tipos de estruturas de forma dômica. O subtipo centrípeto caracteriza uma drenagem convergente para um ponto ou uma área central, localizada em uma posição mais baixa, como nos casos de bacias periclinais, crateras vulcânicas e depressões topográficas ou batimétricas (Figura 31).

4.7.6 Tipo Anelar

O padrão anelar é característico de drenagens de domos e de bacias estruturais. A drenagem longa dos rios subsequentes circulares indicam, geralmente, a direção da declividade dos afluentes e permitem distinguir os domos das bacias (Figura 30).



Convém notar que nessa classificação da rede de drenagem, a distinção não é claramente efetuada entre o que resulta da estrutura geológica e o que é de domínio das formas, a existência de uma rede de drenagem do tipo retangular assume, por exemplo, não somente uma rede de juntas ou diáclases, mas também a instalação desta mesma rede sobre uma superfície inicial que pode ser de origem estrutural ou mesmo erosional.

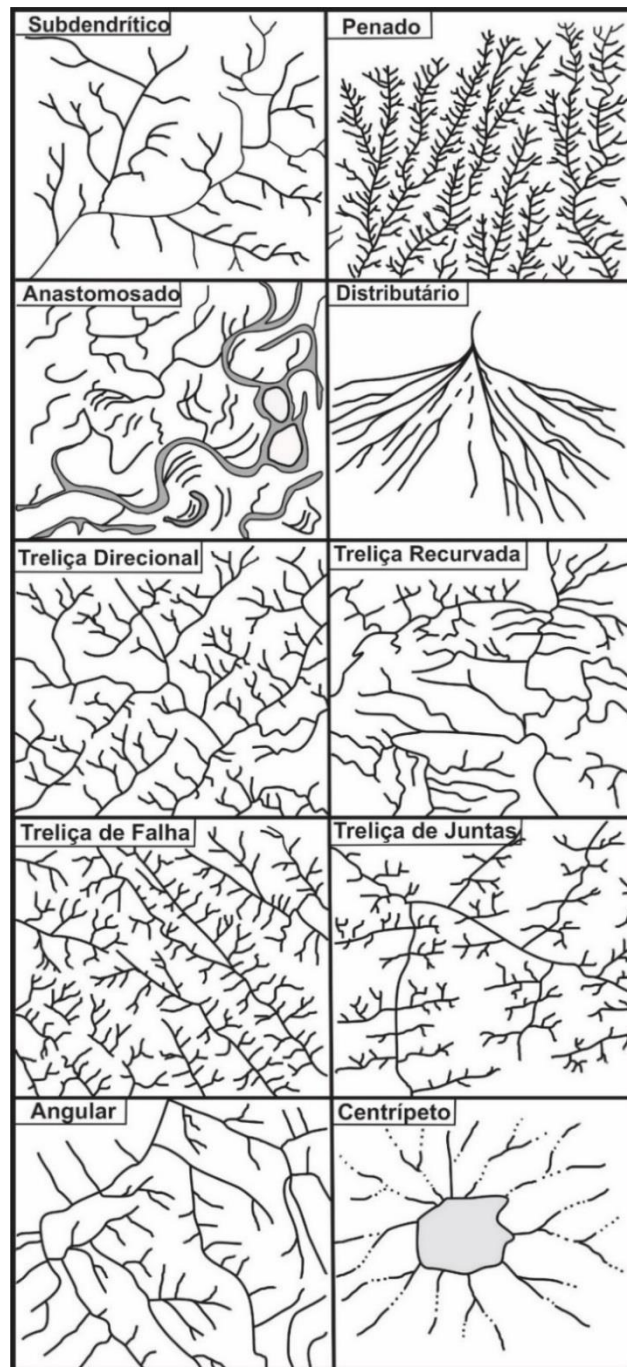


Figura 31 - Principais tipos de subdrenagem.
(modificado de Howard, 1967).



4.8 ANOMALIAS DE DRENAGEM

As anomalias de drenagem normalmente assinalam a existência de estruturas escondidas. Howard (1967) as define como desvios locais em relação a uma drenagem regional, a uma topografia ou a uma estrutura geológica. O autor estabelece uma lista bastante complexa:

4.8.1 Retilinearidade

Segmentos retilíneos que, de um lado ou de outro das linhas de divisão de águas, seguem direções paralelas, constituem uma anomalia, se o tipo de drenagem não for nem retangular, nem em trelisa de falhas e nem angular. Esta anomalia caracteriza uma fratura, um veio ou mesmo um dique (Figura 32–A).

4.8.2 Aparecimento brusco e localização de meandros

Este fenômeno é colocado em evidência com a presença de um acidente estrutural. É o caso descrito em observações feitas por Gottis & Prud'Homme (1962) sobre a frequência de meandros rio acima das anticlinais do Norte da Aquitane sobre l'Isle, Dordogne, Vézère e Lot (França) (Figura 32–B).

4.8.3 Meandros comprimidos

Este tipo de anomalia, que corresponde em parte ao tipo anterior, coloca em relevo, em um rio meandrante, uma zona onde esses são particularmente comprimidos. Esta anomalia está correlacionada a presença de um acidente estrutural brusco (domo) ou uma mudança de litologia (Figura 32–B).

4.8.4 Aparecimento brusco e localização de meandros anastomosados

Esse anomalia, da mesma forma que o aparecimento de meandros, traduz uma forte mudança no transporte de carga, competência do rio e pode assinalar uma anomalia estrutural.



4.8.5 Estreitamento ou alargamento irregulares de vales

O aparecimento de um estreitamento ou alargamento do vale, quando não são repetidos ao longo do curso, indicam a existência de um acidente estrutural brusco (Figura 32–C).

4.8.6 Pântanos, turfeiras ou cones aluviais anormais

Essas anomalias isoladas sobre um curso fluvial podem indicar uma mudança no nível de base e a formação de um dique, seja por subsidência, seja por sobrelevação estrutural.

4.8.7 Curvas e mudanças de direções irregulares

A presença de uma curva ou uma mudança de direção irregular parecem anormais em alguns tipos de drenagens. Elas são seguidamente acompanhadas por curvas irregulares de rios vizinhos e tomam frequentemente lugar sobre as antigas estruturas. Mudanças bruscas de direção podem assinalar uma mudança estrutural, litológica, presença de falha ou de uma anisotropia particular (Figura 32–D e E).

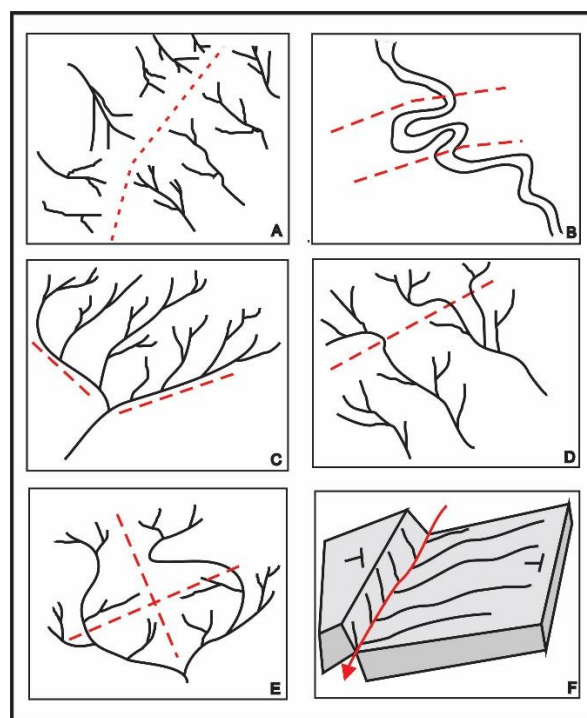


Figura 32 - Classificação das anomalias de drenagem.
(modificado de Maychou, 2009).



4.8.8 Diferença no comprimento das drenagens

Se de um lado e do outro do curso d'água, a drenagem confluyente apresentar características diferentes (ângulo, comprimento, declividade), esta assimetria de formas das confluências pode assinalar a presença de formações estruturais diferentes com declividades variáveis entre elas (Figura 32–F).

Esta classificação de tipos de drenagens, seguida da classificação de tipos de vales e de anomalias observadas e que foram dados valores relacionados a causas controladas, foram reconhecidas e constituem um catálogo de causas estruturais e de efeitos hidrográficos. Este catálogo é válido para todas as escalas de observação feitas em torno de diferentes ordens de análises apresentadas de uma maneira lógica a partir do geral: a rede, e no particular: irregularidade do curso.

Tal apresentação é eminentemente útil e necessária devido esta permitir associar às observações cartográficas de hipóteses sobre a estrutura, a litologia ou ao estado tectônico da região.

Um estudo complementar das características gráficas de uma rede de drenagem, em vista de uma interpretação geológica, foi proposta por Naudin (1971) e Prud'Homme (1972).

Estas características são:

4.8.8.1 Comprimento relativo dos tributários

A distribuição constante de elementos de drenagem mais curtos de um lado e de elementos mais longos de outro, pode representar vários fenômenos geológicos (Figura 33):

- a) O curso do fluxo principal do rio ou fluxo subsequente tem forte chance de escoar seguindo as camadas horizontais.
- b) Os tributário mais longos (cursos consequentes) fluirão, em geral, no sentido da pendente das camadas, enquanto que os tributários mais curtos (cursos obsequentes) fluirão no sentido contrário da pendente geral dessas camadas.



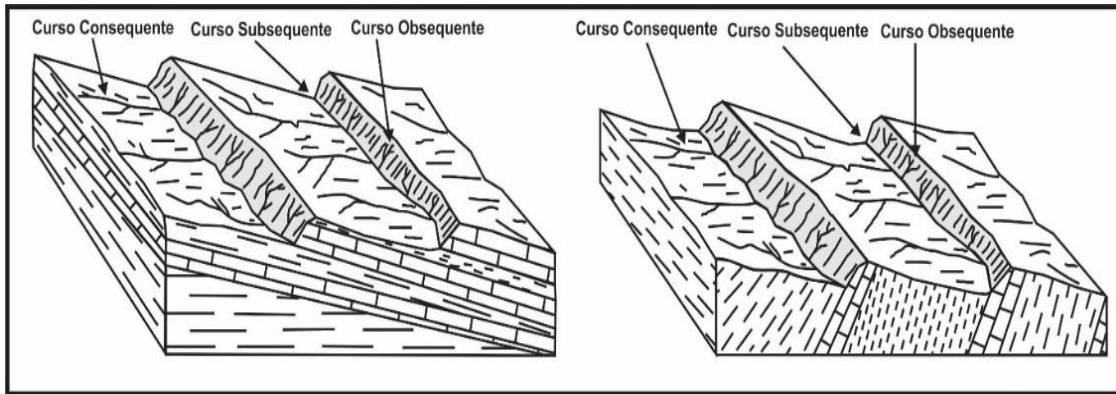


Figura 33 – Blocos diagramas mostrando duas interpretações possíveis de uma drenagem.
(modificado de Corrêa, 1990).

4.8.8.2 Orientação dos cursos subsequentes

Esses podem ser influenciados:

- a) pela direção das camadas;
- b) por acidentes frágeis (acidentes da rede que se apresentam muito lineares)

O conjunto de acidentes podem ser deduzidos pela comparação respectiva de dois rios.

4.8.8.3 Alinhamento e ângulo de confluência

O alinhamento das confluências e o ângulo de abertura de dois elementos confluentes, podem ser resultantes de obstáculos menores ou maiores como falhas, diaclases, bancos duros, juntas, etc.

4.8.8.4 Ordenamento da variação do traçado e da densidade da drenagem

As anomalias do traçado dos elementos de uma rede de drenagem, como a variação brusca da densidade de drenagem ou do ordenamento em sua distribuição, podem se destacar dos alinhamentos de obstáculos estruturais de escoamento normal ou do domínio de caracteres litológicos particulares.

Griboulard (1980) descreve que se a geometria de uma rede de drenagem é mais ou menos condicionada pela estrutura geológica circundante, ao contrário, a distribuição da



rede pode servir de guia na pesquisa dos componentes estruturais de uma região. É necessário diferenciar, em uma rede de drenagem, a parte voltada unicamente ao escoamento gravitacional, daquela emanada de um controle estrutural.

Se os vales ou as redes de drenagens fossem somente controladas pela topografia, todos os cursos de água estariam dispostos ortogonalmente em relação as curvas de níveis. Mas na natureza se observa que muitos entre eles não obedessem a esta regra e por este motivo pode-se dizer que esses se encontram orientados por alguma outra estrutura que não seja somente a topográfica.

A técnica de estudo das anomalias de drenagem permite distinguir os elementos de drenagem de origem gravitacional daqueles condicionados à fenômenos tectônicos ou estruturais.

O princípio do estudo consiste em eliminar todas as direções que se aproximam da superfície regional. Para isso se utiliza uma carta representando a superfície regional teórica (superfície fictícia que dá uma visão otimizada da topografia ou batimetria real), sobre a qual se faz figurar as ortogonais as curvas que representariam o traçado da drenagem se a superfície a ser analisada fosse isotrópica e homogênea.

Em seguida se superpõe a superfície teórica a carta da rede de drenagem fazendo-se uma seleção e retendo apenas os alinhamento de orientação oblíqua em relação a pendente geral (ortogonais a superfície teórica), ficando somente registrada as direções mais diretamente condicionadas pelas estruturas ou pela organização litológica (Figura 34 e 35).

Desta maneira se elabora uma rede onde as orientações podem ser qualitativamente e quantitativamente medidas. Para melhor visualizar estas direções, as mesma pode ser representadas através de um gráfico de direções.

Pode-se afirmar que estes conjuntos de direções, em relação ao escoamento normal, têm por origem a presença de obstáculos estruturais ou litológicos maiores que obrigam o rio a desviar seu curso. É possível se estabelecer, como hipótese de trabalho, que todas as confluências observadas sobre a carta da rede de drenagem estão relacionadas a presença de obstáculos menores de origem estrutural ou litológica. A cartografia sistemática de todos esses elementos e suas comparações permitem traçar uma carta estrutural se consideramos que, de uma maneira geral, os obstáculos maiores



correspondam a presença de falhas ou diaclases e os obstáculos menores a existência de estratos mais resistentes.

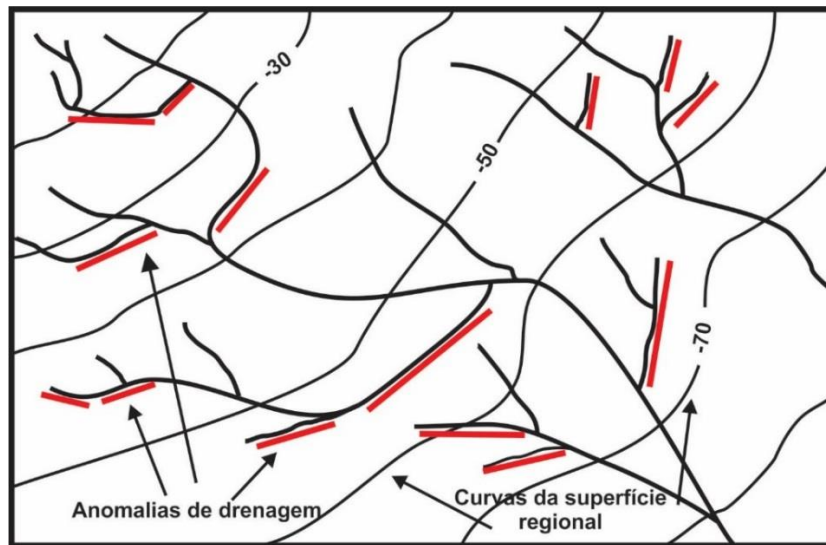


Figura 34 – Anomalias da rede de drenagem.
(modificado de Drago, 1989).

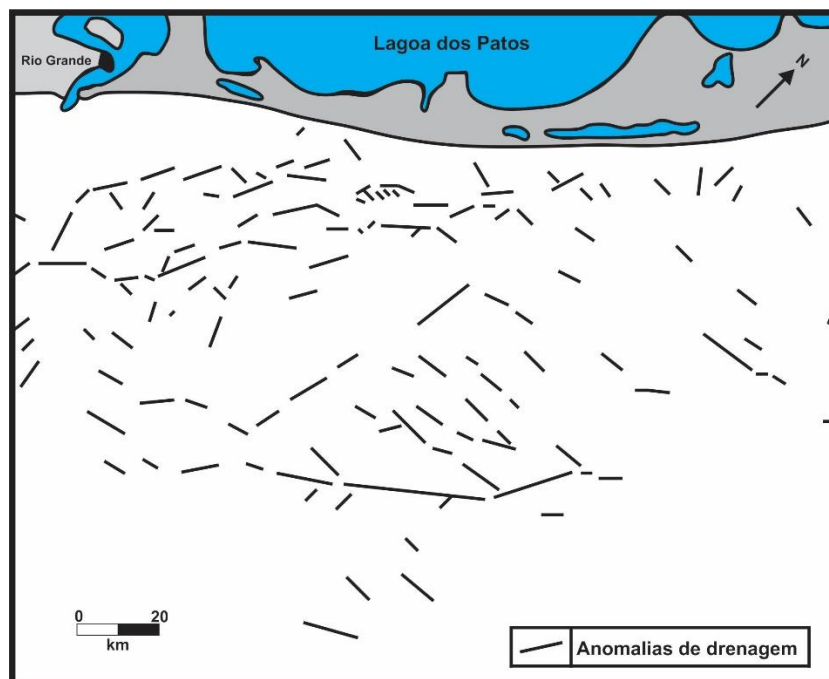


Figura 35 – Carta de anomalia de drenagens da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa 1990).



V. CURVAS ESTRUTURAIS

A síntese das observações descritas anteriormente pode ser representada através da construção de uma carta de curvas estruturais, ligando os obstáculos a rede de drenagem e suas anomalias.

O traçado das curvas estruturais vai depender:

- a) - das características gráficas da rede;
- b) - das orientações das linhas de entalhes oblíquas em relação as direções regional de escoamento, que caracterizarão a presença de obstáculos maiores (falhas ou diáclases);
- c) - das confluências dos entalhes atribuídos a presença de obstáculos menores (camadas mais resistentes).

Desta maneira as linhas estruturais ligam os obstáculos a rede de drenagem cujas orientações são as mais próximas uma das outras, ou aquelas que apresentam uma certa similaridade. Estas são paralelas ou perpendiculares as orientações anormais da rede de drenagem.

Pode aparecer, a partir da operação de junção destas diferentes seções, descontinuidades que ocasionem a introdução de novos acidentes até então não observados.

Esse trabalho progressivo permite elaborar, pouco a pouco, uma imagem da organização morfoestrutural da área considerada, que confrontada aos demais resultados virá complementar as informações até então obtidas pelas demais análises (Figura 36).



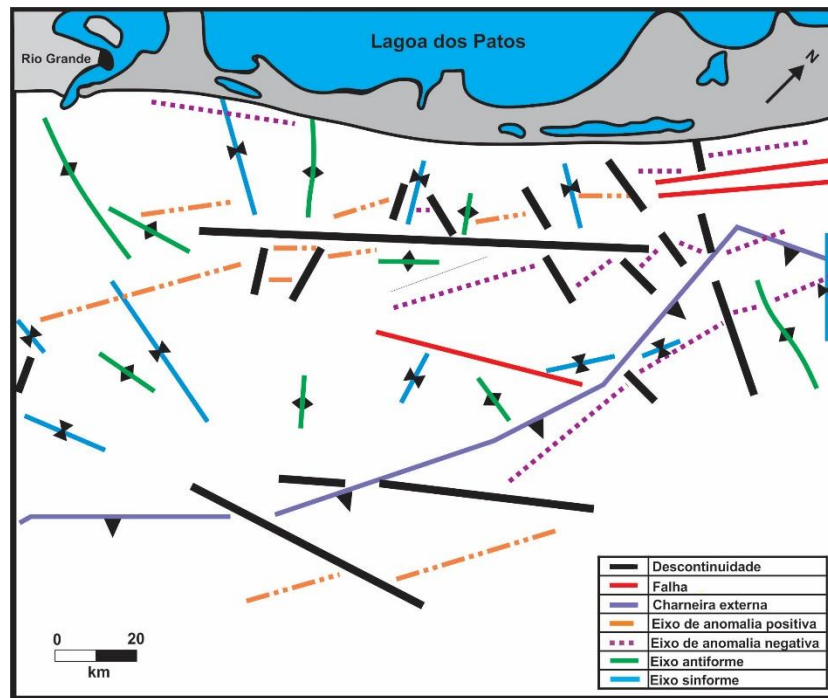


Figura 36 – Carta Morfoestrutural da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.
(modificado de Corrêa, 1990).

VI. LIMITES DA METODOLOGIA

Como em todo o trabalho científico, em pleno desenvolvimento, a análise morfoestrutural baseada sobre uma cartografia interpretativa, não escapa a certas dificuldades que felizmente na maior parte das vezes são trasponíveis. Estas dificuldades são de natureza diferentes: técnicas e de interpretação.

6.1. DIFICULDADES TÉCNICAS:

As dificuldades técnicas são oriundas de diversos fatores, como os problemas de escala do documento e os problemas oriundos da hierarquização da rede de drenagem.



6.1.1. Escala do documento

A escala de uma carta, relação entre um comprimento real e seu equivalente sobre o documento, leva obrigatoriamente o operador, no cuidado de obter uma melhor visualização, a modificar certos traçados, mantendo apenas as linhas gerais ou as direções maiores. Certas características morfológicas cujas dimensões são inferiores a uma certa ordem de grandeza são apagadas e a informação é filtrada. Esta simplificação é tanto maior quanto menor for a escala. Sobre um documento a pequena escala, a forma de uma pequena estrutura (diapiro, dobramento localizado, diáclases, etc), não será representada e não será detectada.

Hirsch (1962) constatou que a correlação média entre a ordem lida sobre a carta e a ordem real obtida pela fotografia aérea é muito reveladora da otimização dos traçados em função da escala (Tabela I).

Tabela I – Relação entre a ordem lida sobre a carta e a ordem real.

Ordem lida sobre a carta	Ordem real	Escala da carta
1	2	1:20.000
1	3	1:50.000
1	4	1:100.000
1	5	1:200.000

Para diminuir esta incerteza e evitar os erros, deve-se escolher uma escala de trabalho condizente aos objetivos à analisar.

Griboulard (1980) mostrou que no quadro da análise morfoestrutural, se pode perfeitamente superar os problemas impostos pelo documento inicial em escala diferente. O autor observou que os afluentes de 2ª ordem, em uma carta na escala de 1:50.000, poderiam ser considerados como sendo de 1ª ordem na escala de 1:100.000. Inversamente as seções de vales de 3ª ordem, em uma escala de 1:100.000 corresponderiam a elementos de 4ª ordem para uma escala de 1:50.000 (Figura 37).



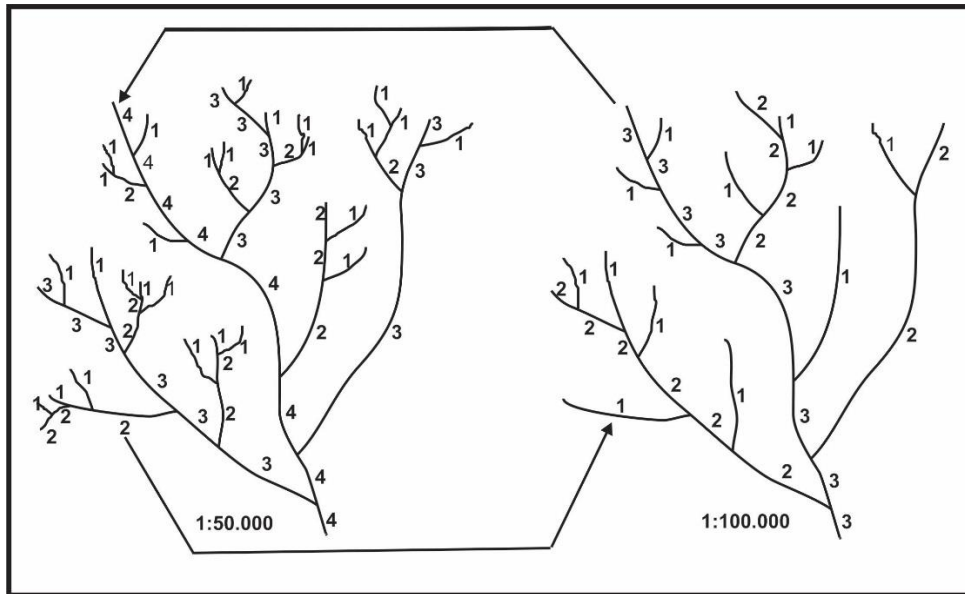


Figura 37 – Homogeneização dos caracteres hierárquicos.
(modificado de Corrêa, 1990).

Constata-se que esta operação de ajustamento ou de homogeneização dos dados, não afeta de modo algum o visual geral das curvas restituídas pela aplicação das diversas técnicas de estudo. Desta maneira pode-se estudar conjuntamente os documentos obtidos a escalas diferentes e com um coeficiente de confiabilidade aceitável.

6.1.2. Hieraquização da rede

A hierarquização da rede de entalhe, está intimamente ligada a confiabilidade dos resultados da análise morfoestrutural. Atribui-se uma grande importância a hierarquização da rede, pois essa está intimamente ligada a uma maior qualidade dos resultados das interpretações.

Observa-se que no curso de hierarquização de uma rede, a ordem de um entalhe importante pode variar significativamente pelo fato de se esquecer de assinalar uma drenagem menor (Figura 38).



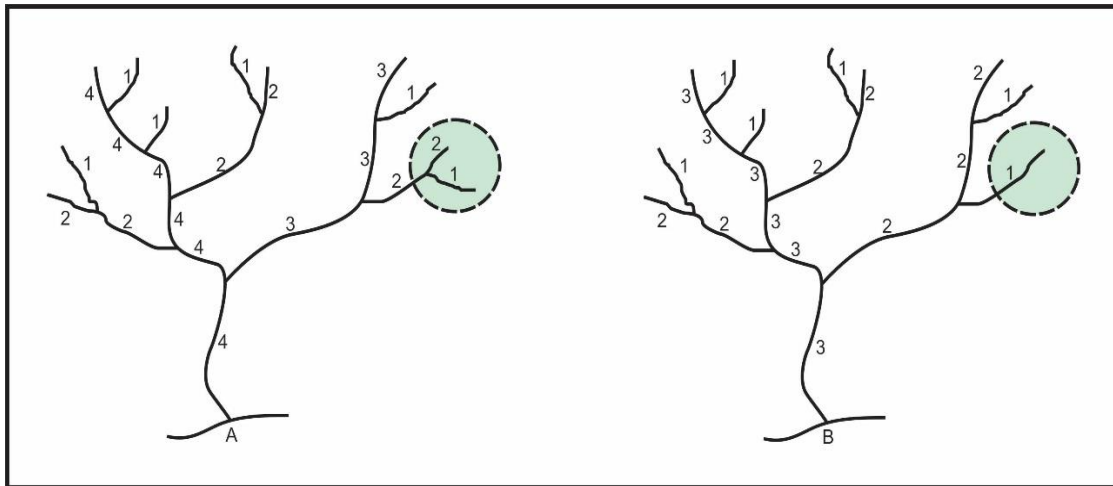


Figura 38 – Incidente de esquecimento de uma drenagem na hierarquização.
(modificado de Corrêa, 1990).

Sobre a figura 38 pode se observar que foi esquecida uma drenagem, ocasionando uma profunda perturbação ao nível das ordens de drenagem. É necessário ter cuidado no momento do traçado da rede de drenagem.

Isto pode ocorrer também em áreas de lagoas ou de pântanos drenados por um curso de água principal (Figura 39). Segundo a interpretação feita na ligação da rede secundária ao curso principal, pode ocorrer uma profunda mudança na classificação da ordem de diferentes drenagens.

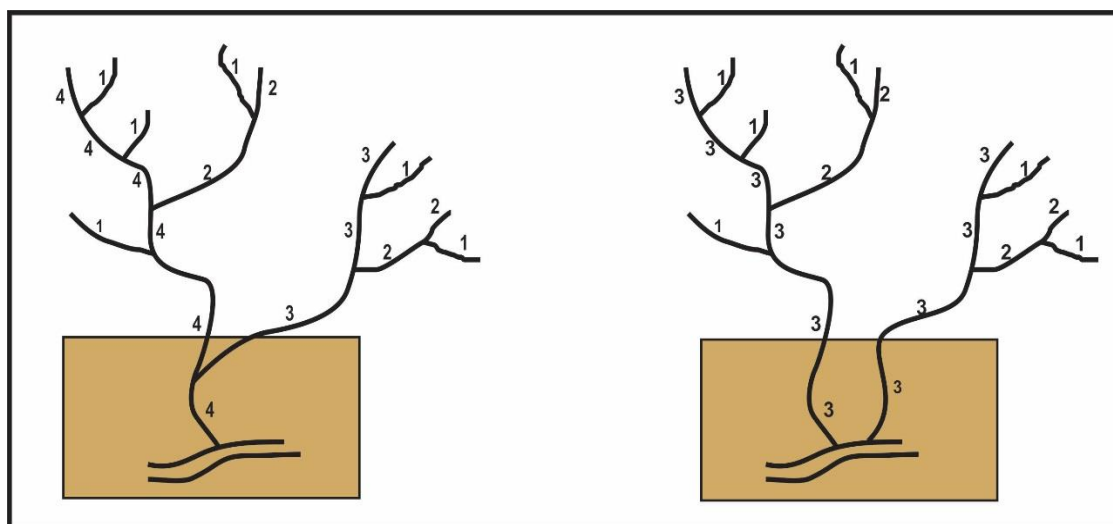


Figura 39 – Dificuldades de hierarquização em áreas de mangues.
(modificado de Corrêa, 1990).



Felizmente estas dificuldades podem ser superadas se for levado em conta a curva “ordem/número de drenagens” que deverá variar de maneira linear, se a hierarquização foi bem feita (Figura 22).

VII. GRADE DE MEDIDAS

A utilização de certas técnicas necessitam de uma malha relacionada a zona de estudo. Isto é, por exemplo, o caso do estudo da densidade de drenagem, das pendentes, da superfície envelopada, de pontos altos, etc.

Geralmente utiliza-se dois tipos de grades (Figura 40)

- a) - grades com malha quadrada;
- b) - grades com malha circular.

Froidefond *et al.* (1975) constataram que as grades a malhas circulares apresentam uma melhor reprodutibilidade dos resultados. Isto pode ser justificado devido que a malha circular apresenta a vantagem de não favorecer nenhuma direção privilegiada, em oposição a malha quadrada.

Griboulard (1980) observou que em certos casos e sob a condição expressa de ter uma boa densidade de pontos de medida, o emprego de uma grade com malha quadrada, sem recobrimento, provou ser justificavel (por exemplo no caso da densidade de drenagem).

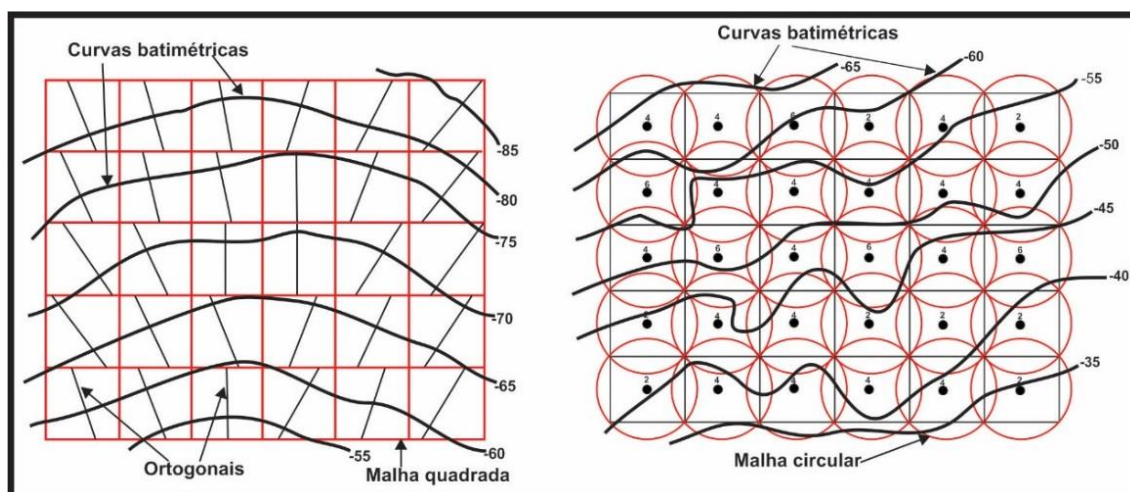


Figura 40 – Exemplos de dois tipos de malha.
(modificado de Corrêa, 1990).



7.1. COEFICIENTE DE ERRO ACIDENTAL DO OPERADOR

Deve-se considerar os erros que são introduzidos pelo operador. Estes são devidos, frequentemente, aos métodos tediosos utilizados para a obtenção das medidas (contagem, interpolação, utilização de curvímetros, medidas de distâncias e de ângulos, traçado de curvas de isovalor, etc.) e muitas vezes ao pequeno número de análises efetuadas.

Este mesmo fator desempenha um papel muito sensível no traçado “otimizado” de tal ou tal curva, assim como na elaboração de um documento salientando a tendência regional ou geral de tal carácter. Aqui também deve-se ter cuidado na utilização de programas computacionais de interpolação e contagem, procurando-se saber os métodos por eles empregados na obtenção dos dados.

7.2. LIMITES DE INTERPRETAÇÃO

Os limites de interpretação da análise morfoestrutural variam em função do domínio estudado, da precisão do documento inicial e da técnica utilizada.

7.2.1. Limite ligado ao domínio estudado

A intervenção da análise morfoestrutural é bastante delicada na interpretação, tanto no meio continental como no marinho, como no caso de uma superfície muito homogênea e mais ainda aquelas obtidas quando a densidade de drenagem é muito baixa.

Sobre o domínio marinho, pode-se observar certas especificidades que limitam, de certa maneira, a interpretação. Pode-se ter um vale, na área de estudo, que pode ser interpretado como de diferentes origens. Se um vale pode ter sua origem a partir de uma erosão submarina, ele pode também ser caracterizado como a materialização de um eixo que separa dois bancos arenosos alongados.

Em um área com relevo muito contrastante é difícil a construção de uma superfície teórica a partir da alta complexidade no traçado das curvas relativas ao estudo dos caracteres paramétricos.



7.2.2. Limite imposto a precisão da carta base

Os resultados do tratamento cartográfico estão intimamente ligados a precisão do documento base. Uma carta será mais precisa quanto mais denso forem os resultados obtidos e o maior número de detalhes registrados. Uma carta de menor precisão dará resultados que traduzirão, preferencialmente, os fenômenos de ordem geral.

Estas particularidades que são, a primeira vista, os limites para a análise morfoestrutural constituem, de uma certa maneira, uma vantagem, devido que é sobre esta base que será destacada as estruturas principais e as secundárias, proporcionando assim que a carta originada da análise seja detalhada ou não (Figura 41).

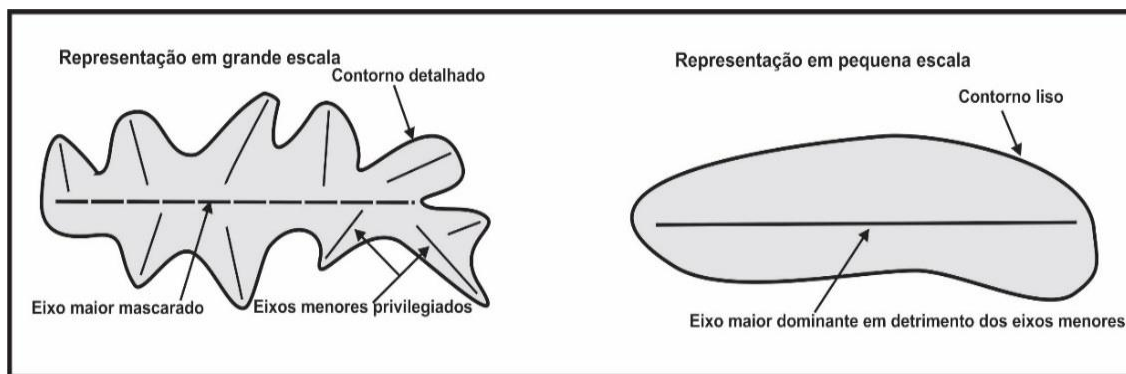


Figura 41 – Relação entre forma da estrutura e escala utilizada.
(modificado de Corrêa, 1990).

7.2.3. Limite ligado ao tipo de análise

Certas técnicas empregadas isoladamente podem dar resultados que deverão necessariamente ser complementados com outras informações fornecidas por outras técnicas de análises. É o caso da definição da rede de anomalias obtidas pela comparação entre a rede de drenagem e a superfície regional. Nessa abordagem as direções maiores, que são perpendiculares as curvas da superfície regional, não deverão ser levadas em conta. Caberá então recorrer a outras análises (curvas estruturais, morfométricas, etc) para detectar estas direções.

O mesmo se aplica a técnica que permite definir a rugosidade e que deve ser utilizada conjuntamente com a análise das pendentes.



No estudo de uma carta de rugosidade é necessário ter atenção no momento da interpretação, pelo fato que uma forte pendente pode induzir um índice de rugosidade elevado enquanto que a dissecação do relevo é fraca. (Figura 42).

Para evitar esses erros, uma intervenção por parte do operador é necessária durante todo o levantamento de dados e interpolação dos mesmos.

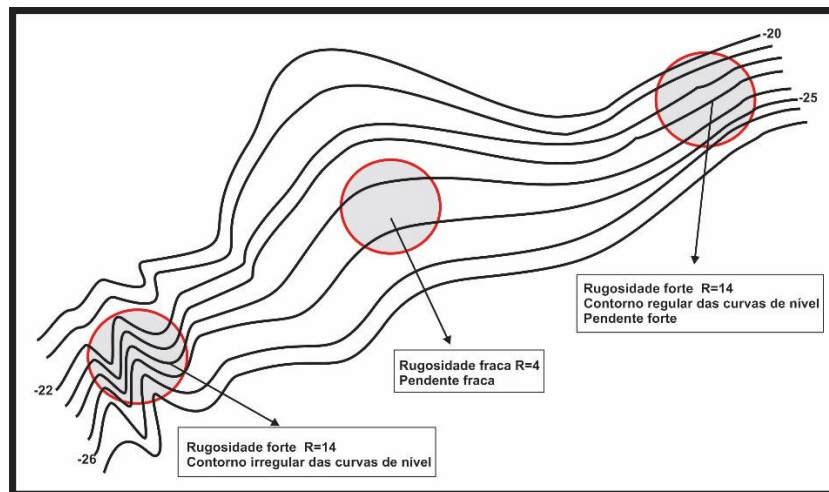


Figura 42 – Influência da declividade local sobre o índice de rugosidade. (modificado de Corrêa, 1990).

7.2.4. Limite ligado a profundidade de investigação

Certas técnicas de análises, tal como a morfometria, fornecem informações sobre a organização do substrato. Mas se a relação de proporcionalidade entre comprimento da drenagem e a profundidade de investigação são bem estabelecidos, não se pode quantificar esta investigação (Griboulard & Prud'Homme, 1985).

VIII. SÍNTESE GERAL

Os métodos utilizados na análise morfoestrutural têm como base a análise cartográfica interpretativa, como a apresentada nesta descrição. Esta é aplicável, tanto no domínio continental como no marinho.

Os resultados obtidos no domínio continental como marinho, estão relacionados a fenômenos naturais idênticos e representam o reflexo moderadamente fiel da realidade.



É possível afirmar que existe uma estreita relação entre a profundidade da investigação e o tipo de metodologia utilizada.

As estruturas de subsuperfície podem ser obtidas a partir da análise morfométrica de comprimento de vales ou drenagens. Estudos recentes demonstraram a existência de uma correlação entre os grandes comprimentos de vales e as estruturas do tipo sinformes, e os pequenos comprimentos de vales com as estruturas do tipo antifformes.

Vários trabalhos testaram estes métodos e obtiveram sucesso em suas interpretações, tanto nos ambientes continentais como marinhos raso e profundo, dentre estes, além dos citados na bibliografia, pode-se citar os trabalhos de Sreedevi *et al.* (2009) na região sul da Índia; Couto *et al.* (2011) na Borda Planáltica do Paraná, Brasil; Esper Angilliari & Fernández (2017) na região dos Andes Argentinos; Kanhaiya *et al.* (2018) na região central da Índia; e Dornelles *et al.* (2020) no Alto da Bacia do rio Paraíba, Brasil.

Em relação a análise de entalhes, é possível relacionar estruturas profundas a partir da análise da rede de anomalias e da magnitude. Se de um lado a rede de anomalias fornece indicadores sobre falhas, diáclases, juntas e fendas, de outro lado a magnitude permite delimitar as bacias, permitindo também, identificar os grandes complexos morfoestruturais.

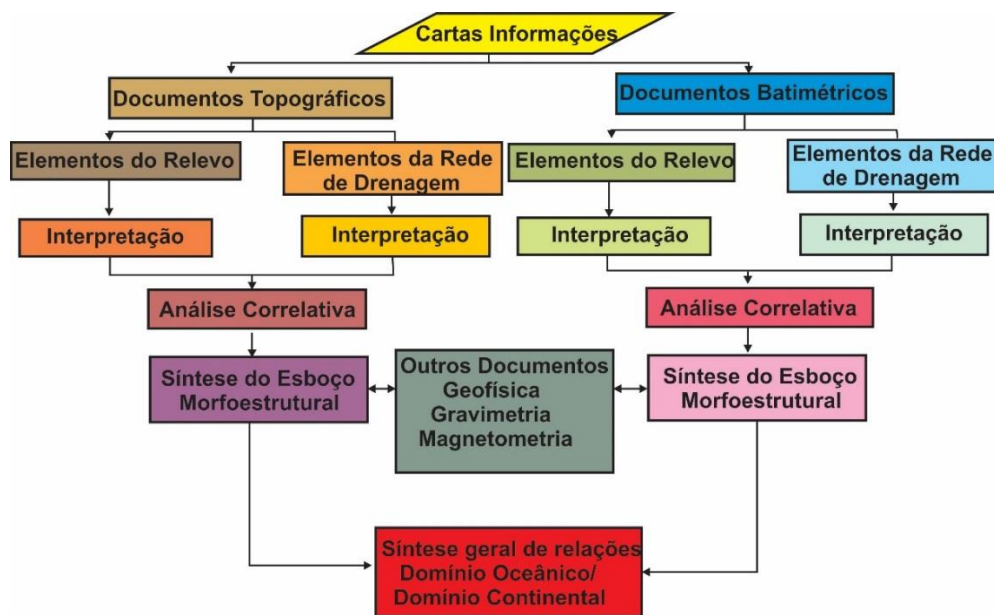
O estudo da rede de drenagem (entalhes) é completado pelo estudo do relevo, o qual põe em uso o emprego de outra técnica de análise, como o estudo das anomalias residuais. Esta técnica, empregada conjuntamente com a superfície envelopada de pontos altos, permite abordar o estudo da tectônica regional vertical e de localizar os deslocamentos que afetaram o embasamento continental ou o substrato oceânico.

Vários software podem ser utilizados para a obtenção de cada carta temática descrita anteriormente. Pode-se citar alguns destes software tais como ArcGis, ArcHydro, DraftSight, Global Mapper, ProGRID, Spring, entre outros que se encontram a disposição na internet e no mercado de informática.

A aplicação desta técnica, elaborada segundo uma metodologia precisa, pode ser resumida conforme o apresentado na tabela II.



Tabela II – Metodologia



IX. GLOSSÁRIO

Anastomosado - Canais fluviais que formam um conjunto complexo de canais divergentes (distributários) e convergentes, separados por ilhas ou elevações, resultante de um excesso de carga de sedimentos que ocorre quando há forte quebra de energia fluvial por redução do gradiente de relevo ou por mudança súbita de fluxo como as chuvas torrenciais de curta duração de regiões áridas, ou, ainda, ao encontrar forças de ondas e marés na foz do rio, sendo comuns em sistemas deltaicos.

Anelar - Drenagem típica de áreas dômicas profundamente entalhada, em estruturas com camadas duras e frágeis.

Anisotropia - Característica que uma substância possui em que uma certa propriedade física varia com a direção.

Anticlinal - Dobra na qual as camadas (flancos) se curvam para baixo, de forma divergente, a partir de um eixo cuja convexidade se volta para cima. Em um anticlinal erodido, as camadas mais antigas se apresentam próximas do eixo.

Antiforme - Dobra que converge para cima, sendo desconhecidas as relações estratigráficas de suas rochas.

Batimetria - Medida da profundidade dos oceanos, lagos e rios e é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos da mesma profundidade



com equidistâncias verticais (curvas isobatimétricas), à semelhança das curvas de nível topográfico.

Cone aluvial - Depósito aluvial em forma de leque, formado por material detrítico (cascalho, seixo, areia e argila) e sedimentado em razão da diminuição abrupta da velocidade da correnteza por infiltração de água, aumento de concentração sedimentar ou mudança na geometria do canal. Em geral associa-se a escarpas de falha.

Confluência - Ponto de junção entre dois fluxos d'água para formar um novo rio.

Curso Consequente - São aqueles cujo curso foi determinado pela declividade da superfície terrestre, em geral coincidindo com a direção da inclinação principal das camadas.

Curso Subsequente - São aqueles cuja direção de fluxo é controlada pela estrutura rochosa, acompanhando sempre uma zona de fraqueza.

Curso Obsequente - São aqueles que correm em sentido inverso à inclinação das camadas ou à inclinação original dos rios consequentes. Em geral, descem das escarpas até o rio subsequente.

Declividade - Inclinação do terreno com referência ao plano horizontal. Expressa em graus ou porcentagem. Declividade (%) = distância vertical / distância horizontal x 100.

Dendrítica - O desenvolvimento da drenagem se assemelha à configuração de uma árvore.

Descontinuidade - Termo usado em geologia para designar a interrupção de um alinhamento, camada e outras formações em relação a outras formas estruturais de direção ou sentido diferente.

Diaclase - Plano de fraqueza que divide ou tende a dividir um bloco de rocha, porém sem deslocamento.

Diápiro - Domo no qual as rochas sobrepostas foram rompidas pela injeção ou intrusão de material de natureza plástica ascendente, que compõe seu núcleo.

Discordância - Superfície que separa estratos ao longo da qual há evidência de truncamentos erosivos ou exposições subaéreas, implicando num hiato significativo.

Distributário - Canal ou curso de água que se ramifica a partir de um canal principal. Estas estruturas são comuns nos deltas.

Divisor de águas - Linha que separa a direção para onde correm as águas pluviais, ou bacias de drenagem.



Drenagem - Sistema de vales por onde fluem e escoam águas superficiais na forma de córregos, riachos, rios, incluindo lagos e lagoas dispostos nesse fluxo, que são drenadas para partes mais baixas até atingir o oceano, mar ou outro nível base de erosão.

Endógeno - Que se origina no interior da terra, ou por fatores internos.

Equidistância - Que possui a mesma distância ou está localizando entre distâncias iguais.

Erosão - Processo degradacional que atua sobre as rochas e solos graças à ação do intemperismo químico ou pela ação mecânica dos agentes de transporte, como a água dos rios, a água da chuva, dos ventos, do degelo, das ondas e correntes do mar.

Estratificação - Aspecto estrutural característico das rochas sedimentares que consiste na sua disposição em estratos (ou camadas, lâminas, lentes, cunhas) evidenciados por diferenças de textura, resistência, cor, composição mineralógica etc.

Exógeno - Que se originado na superfície terrestre.

Falha -Fratura ou cisalhamento em blocos de rochas que se deslocaram um em relação ao outro, ao longo de planos.

Geomorfologia - Área das Ciências da Terra responsável pelo estudo das formas superficiais de relevo, tanto em suas fisionomias atuais quanto em seu processo geológico e histórico de formação e transformação.

Gliptogênese - Formação do modelado da superfície terrestre, devido à ação dos agentes de intemperismo e erosão que provocam a destruição do relevo preexistente.

Heterogêneo - Que possui natureza desigual e/ou apresenta diferença de estrutura.

Hierarquia - Organização fundada sobre uma ordem de prioridade entre os elementos de um conjunto.

Homogêneo - Que possui igual natureza e/ou apresenta semelhança de estrutura.

Interflúvio - Relevo ou área elevada entre dois cursos de água ou dois vales.

Isótopo - Diz-se de corpos cujas propriedades físicas são idênticas.

Isovalor - Linhas ou pontos com igual valor de grandeza.

Junta - Plano ou superfície de fratura que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorreu ou foi mínimo o deslocamento das paredes.

Lineamento - Feição que se apresenta na superfície das rochas sob a forma de linhas, as quais são penetrativas e mantém uma orientação preferencial.



Litologia - Parte da geologia que estuda especialmente a gênese, a composição e as propriedades das rochas; petrografia.

Meandro - Curva por vezes bastante apertada, produzida pela oscilação de um lado para o outro, de uma corrente de água, devido a qualquer tipo de obstáculo. A corrente provoca erosão na margem côncava e deposita na margem convexa.

Morfoestrutura - Feição em que a forma de relevo e a drenagem estão estreitamente relacionadas à estrutura geológica, seja ela de caráter dobrado ou falhado, podendo apresentar feição positiva ou negativa, ou ainda estar à superfície ou então enterrada por espessa sequência sedimentar.

Morfometria - Dados de medições e análises matemáticas da configuração da superfície terrestre, formas e dimensões do relevo.

Pendente - Inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos. É dada pelo ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. É também denominada de declividade.

Permeabilidade - Capacidade de uma rocha ou formação geológica de permitir a passagem de fluidos, com destaque para a água do subsolo, pelos seus vazios ou interstícios, sem que ocorra deformação estrutural ou deslocamento.

Radial - A rede de drenagem flui para fora do centro da área.

Ravinamento - Sulcos produzidos na superfície da terra, em que o agente responsável pela erosão é a água.

Rede de entalhe - Conjunto de canais, vales ou sulcos escavados em uma superfície geológica.

Rejeito de falha - Deslocamento relativo de pontos previamente adjacentes nos lados opostos da falha. É medido no plano da falha.

Relevo - Conjunto de formas existentes na superfície terrestre do planeta.

Rugosidade - Traçado mais ou menos sinuoso das curvas batimétricas ou das curvas topográficas, que depende, em grande parte, da diferenciação litológica.

Sinclinal - Dobra que se fecha para baixo, mostrando as rochas mais novas em seu núcleo.

Sinforme - Dobra que se fecha para baixo, sendo, contudo, desconhecidas as relações estratigráficas entre suas rochas.



Talvegue - Linha que passa pelos pontos mais profundos de um vale.

Transect - Perfil ou corte que tem a função de representar o terreno ou um espaço, ao longo de um enredo linear e de acordo com a dimensão vertical, destinado a destacar uma superposição, uma sucessão espacial ou relações entre fenômenos: seção geológica e biogeográfica.

Treliça - O desenvolvimento das confluências da rede de drenagem formam ângulos retos.

Tributário - São rios ou cursos de água de menor amplitude que desaguam em rios principais. São também denominados de afluentes.

Vale - Depressão topográfica alongada, aberta, inclinada numa direção em toda a sua extensão. Pode ser ou não ocupada por água.

Vertente - Declive de um dos lados de uma elevação por onde escoam a água da chuva.

X. BIBLIOGRAFIA

AFFIAN, K. 1986. **Incidence réciproque des structures océaniques et continentales sur l'évolution du domaine Ouest Africain (Golfe de Guinée et Côte d'Ivoire Meridionale). Analyse morphostructurale.** 1986. 295 p. Thèse 3ème Cycle. Université de Bordeaux I, France.

ALIYEV A. 1979. Regional fracturing of the Pamirs and its metallogenic significance. In: **Doklady Akad. Nauk, USSR, 250:** 90-93.

ARAÚJO, C.C.; YAMAMOTO, J.K. & MADRUCCI, V. 2003. Análise morfoestrutural em área de ocorrência de arenito asfáltico, Bacia do Paraná, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, **24(1/2):** 25-41.

BARROS, J.G.C. 2006. **Glossário de termos geológicos e ambientais aplicados às Geociências.** Escola Superior do Ministério Público da União. Brasília-DF. 138p.

BATES, R.L. & JACKSON, J.A. 1987. **Glossary of Geology.** American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 788 p.

BAULIG, H. 1928. **Le plateau central de la France et sa bordure méditerranéenne. Étude morphologique.** p. 563-575. Thèse d'Etat, A. Colin Ed., (Appendice V: sur une méthode statistique d'analyse morphologique,).

BEISL, C.H. 1996. **Integração de dados de sensoriamento remoto, geologia, gravimetria e topografia para o estudo do arcabouço estrutural em uma parte do**



- compartimento nordeste da bacia do Recôncavo.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Dissertação de Mestrado, 109 p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M. & GARRIDO, J. 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, **20**(3): 395-403.
- COLLINA-GIRARD, J. 1989. Application des techniques de l'analyse cartographique (analyse morphostructurale): l'exemple du Roussillon (Pyrénées-Orientales, France), In: **Géologi Méditerranéenne**. **16**(4): 321-340.
- COLLINA-GIRARD, J. & GRIBOULARD, R. 1990. Corrélacion entre longeurs de drains et tectonique profonde. L'exemple du plateau de Valensole (Alpes de Haute Provence). Méditerranée, **Revue Géographique des Pays Méditerranéens**, n° hors série.
- CORRÊA, I.C.S. 1990. **Analyse morphostructurale et évolution paleogéographique de la plate-forme continentale Atlantique sud-brésilienne (Rio Grande do Sul - Brésil)**. 314 p. Thèse de Doctorat. Université Bordeaux I, France.
- CORRÊA, I.C.S. 1994. Interprétation morphostructurale de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul, a partir de l'analyse cartographique. Instituto de Geociências-UFRGS, **Notas Técnicas**, Porto Alegre, **7**(Dezembro): 3-26.
- CORRÊA, I.C.S.; WESCHENFELDER, J.; CALLIAR, L.J.; TOLDO JR. E.E; NUNES, J.C. & BAITELLI, R. 2019. **Plataforma Continental do Rio Grande do Sul**. In: Marcelo Sperle Dias; Alex Cardoso Bastos; Helenice Vital. (Org.). **Plataforma Continental Brasileira**. 1ed. Rio de Janeiro: PGGM, **1**: 74-158.
- COUTO, E.V.; MANIERI, D.D.; MANOSSO, F.C. & FORTES, E. 2011. Correlação morfoestrutural da rede de drenagem e lineamentos da Borda Planáltica, Faxinal, Paraná. **Revista Geociências**, UNESP, São Paulo, **30**(3): 315-326.
- CREPANI E. 1987. **Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da Chapada do Araripe – NE do Brasil**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado 139 p.
- DEFFONTAINES, B. 1985. Proposition d'une méthode géomorphologique permettant une approche de la néotectonique en pays tempéré. Exemple d'application: la région de Fougères (France). **Rapport interne BRGM**, n°85SGN659GEO, 107 p.



- DEFFONTAINES, B; CADET, J.P. & FOURNIGUET, J. 1992. L'analyse des surfaces enveloppes appliquée à l'étude morpho-structurale de l'est de la France. **Geodinamica Acta (Paris)** 1991/1992. **5(4)**: 279-292.
- DELTEIL, J.R.; NAUDIN, J.J.; PRUD'HOMME, R. & TEMPER, C. 1974. Analyse morphostructurale bathymétrique de la zone Sud-Toulon. **Ext. Coll. Intern. Expl. Océans**, Bordeaux, France, v.2, bx.130, 12 p.
- DEMANGEON, A. 1910. Le relief du Limousin. **Annales de Géographie**, Paris, **19**: 120-149.
- DORNELLES, P.C.; XAVIER, R.A.; SEABRA, V.S. & SILVA, R.M. 2020. Análise morfométrica da Bacia do Alto Rio Paraíba, Região Semiárida do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, **21(3)**: 601-614.
- DRAGO, T. 1989. **Analyse morphostructurale de la plate-forme continentale portugaise au nord de 41° N de latitude**. Diplôme d'Études Supérieures de Sciences em Océanologie. Université de Bordeaux I, France, 150 p.
- ESPER ANGILLIERI, M.Y. & FERNÁNDEZ, O.M. 2017. Morphometric analysis of river basins using GIS and remote sensing of an Andean section of Route 150, Argentina. A comparison between manual and automated delineation of Basins. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, **34(2)**: 150-156.
- FONTAS, P. 1983. **Morphogenèse et évolution d'une marge active. Unités morphostructurales et contrôles géologiques de la marge orientale Caraïbe**. Thèse 3ème Cycle. Université Bordeaux I, France, 160 p.
- FROIDEFOND, J.M. 1982. **Processus d'évolution d'un littoral sableux au cours de l'holocène em analyse cartographique. Application au domaine d'Aquitain. Présentation d'une méthode de géomorphologie dynamique et quantitative**. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux I, France, 273 p.
- FROIDEFOND, J.M.; NAUDIN, J.J. & PRUD'HOMME, R. 1975. Définition et intérêt des surfaces enveloppes en analyse cartographique. Application à la baie de Rufisque (Senegal). **Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine**. Université Bordeaux I, France, **8**: 139-147.
- GLOBAL MAPPER SOFTWARE, 2009. LCC. Disponível em: <http://www.globalmapper.com/>. Acessado em: 2022.



- GLOSSÁRIO GEOLÓGICO / IBGE, 1999. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE. 214 p.
- GONTIJO, A. H. F. 1999. **Morfotectônica do médio vale do rio Paraíba do Sul: região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado, 259p.
- GOTTIS, M. & PRUD'HOMME, R. 1962. Propos sur la tectonique vivante. Quelques particularités du réseau hydrographique Aquitain et leurs relations avec des mouvements tectogénétiques récents. **P. V. Soc. Linn.**, Bordeaux, **100**: 33-38.
- GRAVELIUS, H. 1914. **Flusskunde**. I. Berlin and Leipzig.
- GRIBOULARD, R. 1980. **Relations entre morphologie, tectonique et lithologie dans le domaine côtier et sous-marin de la meseta septentrionale Marocaine**. Thèse 3ème Cycle, Université de Bordeaux I, France, 117 p.
- GRIBOULARD, R. & PRUD'HOMME, R. 1985. Apport des analyses de morphométrie dans la connaissance des structures profondes en domaine océanique, application à deux types de marges. **Réunion Spécialisée Soc. Géol. de France**.
- GVIN, V.Y. & FILOSOVOV. 1965. Using one order valley length maps to predict structures in the northern part of the Volga-Urals petroliferous province. Dokl. (Proc.) **Acad. Sc., USSR**, Earth Sciences Section, Washington, **160**: 16-18.
- HIRSCH, F. 1962. Méthode de prévision des débits des cours d'eau par l'analyse morphométrique des réseaux fluviaux. **Revue de Géomorphologie Dynamique**, Juillet-Août-Septembre 1962, p 97–106.
- HOBSON, R.D. 1972. **Surface roughness in topography: quantitative approach**. In: Spatial Analysis in Geomorphology Chartey (Edit.), Methuen and C^o London, p. 222-245.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Am.**, New York, **56**: 275-370.
- HOWARD, A. D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation; a summation. **Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.** Tulsa Okla., **51**(11): 2246-2259.
- KANHAIYA, S.; SINGH, B.P.; SINGH, S.; PREETI M. & SRIVASTAVA, V.K. 2018. Morphometric analysis, bedload sediments, and weathering intensity in the Khurar River Basin, central India. **Geological Journal**. 1–16.



- MAIDMENT, D.R. 2002. **ArcHydro: GIS for Water Resources**. Redlands, CA: ESRI.
- MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; MENESES, P.R.; CSORDAS, S.M. 1982. **Análise morfoestrutural com uso de imagens MSS/Landsat e Radar para pesquisa de hidrocarbonetos no Estado de São Paulo**. Relatório INPE.
- MAYCHOU, S. 2009. **Étude morphostructurale et cartographie SIG du Rharb septentrional et du pré-rift (Maroc). Analyse sismotectonique et modélisation de la déformation de la région de Moulay Bouselham**. Thèse de Doctorat en Co-tutelle. Université de Chouaïb Doukkali (Maroc) et Université Bordeaux I, France, 197 p.
- MESCERJAKOV, J.P. 1968. Les concept de morphostruture et de morphosculture: un nouvel instrument de l'analyse géo-morphologique. **Annales de Géographie**, **77**(423): 539-552.
- NAUDIN, J.J. 1971. **Etude morphostructurale du plateau continental Aquitain**. Thèse 3ème Cycle, Université Bordeaux I, France, n°936, 114 p.
- NAUDIN, J.J. & PRUD'HOMME, R. 1973. La magnitude des réseaux d'entailles. Relation avec l'environnement géologique. **Bull. IGBA**, Bordeaux, **13**: 117-128.
- NICKELSEN, R.P. 1974. Early jointing and cumulative fracture patterns. In: **Utah Geological Association Publication, International Conference on the New Basement Tectonic**, 1, Proceedings, **5**:193-199.
- PENCK, W. 1924. **Die Morphologische Analyse; ein kapitel der physikalischen geology**. Stuttgart, J. Engelhorn's Nachif. 283 p.
- PENTEADO, M. M. 1983. **Fundamentos de Geomorfologia**. IBGE, 3ª Edição, Rio de Janeiro. 185 p.
- PIMENTA, F.M. 1999. **Caracterização dos Regimes de Refração de Onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul**. Monografia de conclusão do Curso de Oceanologia. FURG.
- PLICKA 1974. Observations on Joint Zones in Moravia, Czechoslovakia. In: **New basement tectonics contribution**, **30**: 279-289.
- PRUD'HOMME, R. 1970. Les lignes de contour de thalweg. Une méthode d'étude morphologique à partir des cartes topographiques. **Bull. Soc. Borda**, Dax, **337**: 77-80.
- PRUD'HOMME, R. 1972. **Analyse morphostructurale appliquée à l'Aquitaine occidentale et au golfe de Gascogne. Définition d'une méthodologie**



- cartographique interprétative.** Thèse Sc. Nat. Université de Bordeaux I, France, n°353, 375 p.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. 1987. The techniques of modern structural geology: folds and fractures. London, **Academic Press**, v. **2**, 700 p.
- SABORZO, M. 2004. Coastal upwelling process on a continental shelf limited by submarine canyons, Concepción, central Chile. **Journal of Geophysical Research**, v. **109**, C12012, doi:10.1029/2004JC002350.
- SAVIGEAR, R.A.G. 1956. Technique and terminology in the investigation of slope forms. Premier rapport de la commission pour l'étude des versants. INT. GEOL. CONGRESS, Rio de Janeiro. **Anais...**, p. 66-75.
- SCHEIDEGGER, A.E. 1967. A stochastic model for drainage patterns into an intramontane trench. **Bull. Ass. Int. Hydro. Scient.**, Gentbrugge, **12**(1): 15-20.
- SCHUMM, S.A. & CHORLEY, R.J. 1966. Talus weathering and scarp recession in the Colorado plateaus. **Z. für Geomorph.**, Berlin, **10**: 11-36.
- SHREVE, R.L. 1966. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, London, **74**(1): 17-37.
- SHREVE, R.L. 1967. Infinite topologically random channel networks. **Journal of Geology**, Chicago, **75**: 178-186.
- SOARES, P.C. & FIORI, P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, **16**(32):71-40.
- SREEDEVI. P.D., OWAIS. S., KHAN. H. & AHMED. S. 2009. Morphometric analysis of a watershed of south India using SRTM data and GIS, **Journal of the Geological Society of India**, **73**: 543–552.
- STRAHLER, A.N. 1952. Dynamic basic of geomorphology. **Bull. Geol. Soc. Am.**, New York, **63**: 923-938
- VENEZIANI, P. 1987. **Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 186 p.
- YOUNG, A. 1964. Slope profil analysis. **Zeit für geomorph.** Berlin, Supp. Band. **5**: 17-27.



XI. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil mostrando os talwegues, vales, divisor de águas e interflúvio.	13
Figura 2 – Mapa batimétrico de detalhe da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (curvas de nível de 2 em 2 m). (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	14
Figura 3 – Princípio da elaboração da superfície teórica regional.	16
Figura 4 – Mapa da Superfície Teórica Regional da área central de Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (curvas de 2 em 2 m) (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	16
Figura 5 – Superposição da superfície real com a superfície teórica regional.	17
Figura 6 – Carta de anomalia regional da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	18
Figura 7 – Carta de eixos das Anomalias Regionais da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	18
Figura 8 – Locação dos Pontos Altos da Carta para o traçado da superfície envelopada. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	20
Figura 9 - Traçado da superfície envelopada de uma região de topografia acidentada. (<i>modificado de Maychou, 2009</i>).	20
Figura 10 - Superfícies residuais de uma região de topografia Acidentada. (<i>modificado de Drago, 1989</i>).	21
Figura 11 – Medida de pendente sobre relevo pouco acidentado. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	23
Figura 12 – Representação esquemática da medida de pendente. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	24
Figura 13 – Medida de pendente sobre relevo acidentado. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	24
Figura 14 – Carta de ortogonais a superfície regional teórica da	



área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	25
Figura 15 – Carta de classificação de pendente da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	26
Figuras 16 - Carta dos eixos de igual valor de pendentes (fortes e médias) da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	26
Figura 17 - Cálculo do índice de rugosidade. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	28
Figura 18 – Traçado do índice de rugosidade. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	28
Figura 19 – Carta de Rugosidade da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	29
Figura 20 – Sistemas de hierarquização. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	31
Figura 21 – Etapas de hierarquização da rede de entalhes segundo Horton (1945). (<i>modificado de Colina-Girard, 1989</i>).	32
Figura 22 – Relação ordem/número de drenagens. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	33
Figura 23 – Esquema interpretativo das relações observadas entre as estruturas de subsuperfície e a rede de entalhes. (<i>modificado de Collina-Girard & Griboulard, 1990</i>).	34
Figura 24- Carta da rede de entalhes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	35
Figura 25 – Carta de hierarquização da rede de entalhes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	36
Figura 26 – Carta Morfométrica de entalhes de 2ª ordem da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	37



Figura 27 – Carta interpretativa da morfometria da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	37
Figura 27 – Princípio da elaboração da carta de magnitude. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	39
Figura 28 – Carta de magnitude da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	40
Figura 29 – Carta de tipos de magnitudes da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	41
Figura 30 - Tipos fundamentais de drenagens. (<i>modificado de Howard, 1967</i>).	46
Figura 31 - Principais tipos de subdrenagem. (<i>modificado de Howard, 1967</i>).	47
Figura 32 - Classificação das anomalias de drenagem. (<i>modificado de Maychou, 2009</i>).	49
Figura 33 – Blocos diagramas mostrando duas interpretações possíveis de uma drenagem. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	51
Figura 34 – Anomalias da rede de drenagem. (<i>modificado de Drago, 1989</i>).	53
Figura 35 – Carta de anomalia de drenagens da parte central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa 1990</i>).	54
Figura 36 – Carta Morfoestrutural da área central da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	55
Figura 37 – Homogeneização dos caracteres hierárquicos. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	57
Figura 38 – Incidente de esquecimento de uma drenagem na hierarquização. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	58



Figura 39 – Dificuldades de hierarquização em áreas de mangues. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	58
Figura 40 – Exemplos de dois tipos de malha. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	59
Figura 41 – Relação entre forma da estrutura e escala utilizada. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	61
Figura 42 – Influência da declividade local sobre o índice de rugosidade. (<i>modificado de Corrêa, 1990</i>).	62

XII. LISTA DE TABELAS

Tabela I – Relação entre a ordem lida sobre a carta e a ordem real.	56
Tabela II – Metodologia.	64



