

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Caracterização de relações entre a serra geral catarinense e o  
aquífero Guarani como subsídio à gestão da água.**

Pablo Ritto Koehler

Florianópolis

2009

**Pablo Ritto Koehler**

Caracterização das relações entre a serra geral catarinense e o aquífero guarani como subsídio à gestão da água.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel José da Silva

**Florianópolis**

**2009**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Koehler, Pablo Ritto

Caracterização de relações entre a serra geral catarinense e o aquífero guarani como subsídio à gestão da água. / Pablo Ritto Koehler. – Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2009. 91 p.

Dissertação – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

The characterization of relationships between Santa Catharina's Serra Geral and the Guarani Aquifer as a Subsidy for Water management.

1. Serra Geral. 2. Aquífero Guarani. 3. Gestão da Água. I. Título

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Pablo Ritto Koehler

### **Caracterização de relações entre a Serra Geral Catarinense e o aquífero Guarani como subsídio à gestão da água.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina

Orientador:

---

Prof.Dr. Daniel José da Silva  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

---

Prof.Dr. Masato Kobiyama  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

---

Prof.Dr. Sérgio Roberto Martins  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC.

---

Prof.Dr. Luís Fernando Scheibe  
Departamento de Geociências, UFSC.

Florianópolis, 2009

## AGRADECIMENTOS

Para que este trabalho tenha sido desenvolvido, foi de grande importância a participação e o apoio das pessoas citadas abaixo.

Prof. Daniel Silva por ter me dado a possibilidade de desenvolver este trabalho e por ter acreditado nele sempre

Prof. Luiz Fernando Scheibe do Departamento de Geociências da UFSC, sempre obsequioso e envolvido com a temática.

Professor Marcelo Aciolly Teixeira de Oliveira Departamento de Geociências da UFSC, pelo espaço disponibilizado e pela amizade.

Professor Sérgio Roberto Martins

Professor Masato Kobiyama

Departamento de Geociências que após uma grata graduação me acolheu como professor das disciplinas mais estimadas por mim.

Celso Moller Ferreira grande amigo e de participação fundamental neste trabalho.

Álvaro Praun Jr. Grande participação para que eu tenha ingressado no núcleo de pesquisa GT-Hidro/UFSC.

Ronaldo Bento Gonçalves e nossas produtivas conversas no universo geológico.

Arthur Hernandez (Panamá) parceiro e apoio em informática.

Mauricio Paiva.

Michelle Pereira pelo apoio e compreensão.

Todos os meus alunos por me darem possibilidade de exercitar o que aprendi.

Minha família, por tudo.

Minha filha Marina, a mais brilhante das estrelas nas mais escuras noites.

## RESUMO

KOEHLER, Pablo Ritto: Caracterização de Relações entre a Serra Geral Catarinense e o Aquífero Guarani como Subsídio à Gestão da Água. Florianópolis, 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

A Serra Geral Catarinense e o Sistema Aquífero Guarani associam-se desde sua origem geológica a atual distribuição dos recursos hídricos do Estado, configurando hoje, um conjunto de interações entre aspectos físicos, ambientais e legais. Com o presente trabalho buscou-se elucidar as relações de determinação entre a Serra Geral, Aquífero Guarani e a proteção dos recursos hídricos. A temática aqui proposta deriva de uma série de trabalhos que já foram realizados dentro do grupo Transdisciplinar de estudos hidrológicos GTHIDRO – UFSC, e liga-se diretamente com os projetos: *Ecologia e gente de Montanha* que surgiu após a criação do ano internacional das montanhas, pela ONU, no ano de 2002, onde se destacou a importância dos ecossistemas frágeis e de montanhas, incluindo um capítulo na agenda 21 sobre a relevância e particularidades destes ecossistemas. E o projeto *Aquífero Guarani* que possui trabalhos relacionados à proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em SC. Esta dissertação tem como objetivo principal caracterizar as relações entre a Serra Geral Catarinense e o Aquífero Guarani como subsídio à gestão da água. Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa documental, bibliografia relacionada, mapas, cartas, fotografias aéreas, imagem de satélite; Práticas de campo para a verificação de dados, elaboração de mapas temáticos digitais; análise de dados secundários de características hidrológicas e o estudo da legislação pertinente. Com a elaboração deste trabalho buscou-se alcançar os seguintes resultados: a) Identificação de aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra Geral e do Aquífero Guarani e suas relações com a distribuição das Zonas de Recarga Direta, mostrando de que maneira estes elementos estão conectados e interagem entre si, desde um passado geológico remoto a atualidade; b) Produção de recurso pedagógico para auxiliar a compreensão da origem e a atualidade do Aquífero Guarani, sua relação com os recursos hídricos e com o desenvolvimento geológico e da paisagem.

**Palavras-chave:** Serra Geral, Aquífero Guarani, Gestão da Água.

## ABSTRACT

KOEHLER, Pablo Ritto: The Characterization of Relationships Between Santa Catharina's Serra Geral and the Guarani Aquifer as a Subsidy for Water management. Florianópolis, Brazil, 2008.

The Santa Catarina's Serra Geral and the Guarani Groundwater System are linked since its geological origin until the real disposition of water resources in that State. That connection figure today a variety of interactions between the physical, environmental, and legal aspects. The intent of this work is to clarify the relationships between the Serra Geral, the Guarani Aquifer and the protection of water resources.

This theme proposed here comes from a range of previous research that have already been done within the transdisciplinary group of hydrologic studies GTHIDRO – UFSC, and are directly connected with the projects: *Ecology and Mountain People* that begins after the creation of International Mountain's Day by the United Nations at the year of 2002, when they mark the importance of fragile and Mountain ecosystems, including in the agenda 21 a new chapter about significance and particularities of that kind of ecosystems. Also like the *Guarani Aquifer Project* which has several studies related to surface and groundwater protection in the State of Santa Catarina, Brazil. The main goal of this master thesis is to characterize the relationships between Santa Catarina's Serra Geral and the Guarani Aquifer as a Subsidy for Water management. This work was developed trough lectures research, related bibliography, maps, charts, aerial photographs examination, hydrological characteristics analysis and a study of applicable legal aspects, and the confection of digital figures and maps. With this research we try to reach the following results: a) Develop the characterization of geologic and geomorphologic aspects of Serra Geral and the Guarani Aquifer also like its relationships with actual disposition of water resources in that State. b) Production of pedagogic resource to the comprehension about the origin and actuality of Guarani Aquifer, its relationship with water resources and the development of Geological aspects of the landscape.

**Key words:** Serra Geral, Guarani Aquifer, Water Management.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Mapa geológico simplificado da área da Bacia do Paraná na América do Sul ....	21
<b>Figura 2:</b> O Estado de Santa Catarina, em verde os municípios que contém afloramentos da Formação Botucatu .....	22
<b>Figura 3:</b> A disposição da água em diferentes sistemas aquíferos .....	25
<b>Figura 4:</b> Localização no Estado de Santa Catarina das fotografias apresentadas nesta dissertação.....	46
<b>Figura 5:</b> Evolução da Bacia do Paraná.....	56
<b>Figura 6:</b> Formações da Bacia do Paraná presentes no Estado de Santa Catarina.....	60
<b>Figura 7:</b> Mapa Geológico mostrando localização do perfil transversal A –B.....	65
<b>Figura 8:</b> Mapa Geológico mostrando em detalhe as áreas mais elevadas da Serra Geral e o domo de Lages, Neste recorte é possível notar a continuidade dos afloramentos da formação Botucatu (em amarelo), configurando possíveis Zonas de Recarga Direta.....	68
<b>Figura 9:</b> Foto e perfil esquemático indicando a intercalação das camadas de arenito em meio a basaltos da formação Serra Geral. Vista a partir do topo da serra do Corvo Branco.....	70
<b>Figura 10:</b> Mapa Geológico mostrando distribuição da rede hidrográfica sobre as diferentes formações rochosas no município de Urubici.....	71
<b>Figura 11:</b> Modelo de evolução regressiva de relevo tabular deixando relevos residuais que atestam o seu processo de recuo. ....	85
<b>Figura 12:</b> História evolutiva da Serra Geral Catarinense.....	86

## LISTA DE FOTOS

- Foto 1:** Pablo Koehler Ministrando apresentação do recurso pedagógico para cumprimento do Objetivo 5 do projeto TSGA, Urubici, SC.....50
- Foto 2-** Camadas plano-paralelas de rochas sedimentares da seqüência gondwanica.da baciado Paraná, Urubici – SC.....55
- Foto 3:** O topo da formação Rio do Rasto, observa-se sua coloração típica e a intercalação de camadas arenosas que formam textura diferenciada e caracterizam um contato gradacional com os arenitos sobrepostos.....64
- Foto 4:** Vista frontal da Pedra da águia, Urubici - SC: afloramento do arenito Botucatu com estratificações cruzadas de dimensões próximas a 30m.....66
- Foto 5:** Afloramento de camadas do Fm. Botucatu (alaranjadas) intercaladas por basaltos da Fm. Serra Geral (esbranquiçadas) no centro e no topo da foto.....67
- Foto 6 :** Vista do Canyon do Espraiado, próximo ao morro da antena. Observa-se típica feição geomorfológica relacionada aos basaltos, a sucessão de eventos vulcânicos indicados pelas linhas tracejadas e os campos de altitudes formados no topo dos planaltos.....69
- Foto 7:** Município de Águas Mornas, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. Ao fundo, o pico do Tabuleiro a 1200 metros de altitude, um dos pontos mais altos das Serras do Leste Catarinense .....77
- Foto 8:** Vale do rio do Bispo, município de Urubici-SC. Afloramentos da Fm. Botucatu em áreas de nascente.....78
- Foto 9:** A cobertura vegetal densa e o aspecto estrutural fortemente fraturado das rochas da Fm. Botucatu, caracterizam pontos propícios a recarga do aquífero e a manutenção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Local: vale do rio do Bispo, tributário do Rio Canoas, Urubici – SC.....79
- Foto 10:** Município de Urubici a 1 km da serra do Corvo Branco na SC-439 rodovia que liga o município de Lages a Braço do Norte.....80
- Foto 11:** BR 282, município de Alfredo Wagner, ao fundo observa-se o morro da Bela Vista 1800 m de altitude.....81
- Foto 12:** SC 439, Serra do Corvo Branco, divisa entre o município de Urubici e Grão-Pará.....83
- Foto 13:** Os esporões interfluviais dos Patamares da Serra Geral .....84

## LISTA DE SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional da Água
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDS	Comissão para o Desenvolvimento Sustentável
CEDIBH	Centro de Disseminação de Informações para a Gestão de Bacias Hidrográficas
CNUCED	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
ENS	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
FEHIDRO	Fundo de Recursos Hídricos
GEF	Global Environment facilities
GRH	Gestão de Recursos Hídricos
GSA	Gestão Social da Água
GTHIDRO	Grupo Transdisciplinar de Pesquisas em Gestão de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IWRA	International Water Resources Agency
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OEA	Organização dos Estados Americanos
PDA	Plano Diretor de Águas
PNA	Política Nacional de Água
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PPGEA	Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TAC	Technical Advisory Committee
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNSD	United Nations Division for Sustainable Development
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNEP	United Nations Environment Program
USGS	United States Geological Survey

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE FOTOS.....	viii
LISTA DE SIGLAS.....	ix
<b>1 Introdução.....</b>	<b>12</b>
1.1 Justificativas.....	14
1.2 Objetivos.....	19
<b>2 Revisão bibliográfica.....</b>	<b>20</b>
2.1 Recorte Empírico.....	20
2.2 Águas Subterrâneas.....	21
2.3 Aquífero Guarani.....	25
2.4 Bacias hidrográficas e Águas subterrâneas .....	29
<b>3 Metodologia .....</b>	<b>41</b>
3.1 Introdução.....	41
3.2 Desenvolvimento da caracterização dos aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra Geral e do Aquífero Guarani e suas relações com a distribuição das bacias afluentes.....	43
3.3 Elaboração de Instrumentos para educação ambiental.....	47
<b>4 Resultados.....</b>	<b>55</b>
4.1 Caracterização dos aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra Geral e do Aquífero Guarani e suas relações com a distribuição das bacias afluentes.....	55
4.2 Elaboração de Instrumentos para educação ambiental.....	84
<b>5 Conclusão.....</b>	<b>85</b>
<b>6 Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>88</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A água como objeto de estudo representa um elemento complexo e resultado de sistemas dinâmicos. Por isso não deve ser analisada ou trabalhada como algo separado das dinâmicas responsáveis por sua origem e manutenção. Daí a importância dos elementos que compõem as diferentes bacias hidrográficas (BH), para auxiliar a compreensão das potencialidades e limitações destas bacias.

Estudar e compreender melhor a diversidade que compõe os processos atuantes em nosso objeto de estudo nos permite uma maior aproximação dos sintomas e das causas que acabam por eclodir como problemas sociais, ambientais, econômicos, etc. A ação da água transforma a paisagem da Terra e interage com as partes que constituem a biosfera, a litosfera e a atmosfera.

Desta maneira, os estudos referentes aos aspectos do meio físico, devem caminhar junto com os programas de educação ambiental, inclusão social, governança da água e gestão de bacias, para que se tenha uma visão cada vez mais completa dos pontos fortes e fracos que constituem a realidade das bacias hidrográficas. Dentro de uma abordagem sistêmica das bacias hidrográficas, todos os elementos identificados devem ser considerados, sendo assim, todos possuem valor.

Ao apontar a relevância da caracterização do meio físico, não se pretende sugerir uma maior importância destes aspectos, mas sim, elucidar as relações que estes aspectos possuem com a distribuição atual dos recursos hídricos e com a realidade da BH. Assim como o exercício de não considerar estes mesmos aspectos poderia resultar em medidas pouco precisas para a B.H. e desta maneira ocasionar programas e projetos incompletos ou até equivocados dependendo da leitura feita sobre a natureza dos problemas apontados e que supostamente deveriam ser resolvidos.

A paisagem atual constitui a articulação básica dos espaços terrestres e integra-se nas dinâmicas do meio físico. Assim, o relevo evolui desde uma estrutura dada pelas características geológicas, criando novas formas a partir da atuação de diversos agentes intempéricos, os quais influem decisivamente na dinâmica da paisagem. (CASSETI 1994).

Esta proposta de abordagem aqui presente tem como objetivo principal o incremento técnico das análises e avaliações elaboradas em bacias hidrográficas, para que se amplie a noção de que a gestão de uma bacia vai muito além das propostas para a

solução dos problemas atuais a serem resolvidos, tanto pelo governo como pela comunidade.

Os aquíferos são reservatórios de água localizados no subsolo, formados principalmente pelas águas provindas dos rios e da chuva e que se infiltram lentamente pelas fendas e poros das rochas e sedimentos. Ao penetrarem nos solos estas águas podem passar por um processo natural de filtração que, aliado as reações que ocorrem no subsolo, podem resultar em águas de ótima qualidade, que muitas vezes não exigem nenhum processo de tratamento para o seu consumo. Além disso, pelo fato de estarem no subsolo, os aquíferos podem estar protegidos da contaminação que atinge as águas superficiais.

O Aquífero Guarani é considerado um dos principais reservatórios de água doce do mundo. Localiza-se no centro-leste da América do Sul, sendo parte do território de quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Por estar contido na área de países com diferentes políticas de uso das águas subterrâneas, um dos fatores de grande preocupação em relação ao Aquífero Guarani é a possibilidade de contaminação do mesmo, pois o processo de despoluição de águas subterrâneas costuma ser, quando possível, de alto custo. O maior perigo de contaminação dos aquíferos ocorre nas regiões de recarga ou afloramento, pois estas áreas, por estarem expostas à atmosfera, possuem maior facilidade de absorver não só a água como os agentes contaminantes.

Diante dos fatos aqui expostos, e de todo o valor que o Aquífero Guarani possui, o presente trabalho visa produzir informações e produtos que serão usados na educação ambiental da população da região, de modo que auxilie a comunidade, inicialmente do município de Urubici, na compreensão da importância do Aquífero Guarani e percebam a sua relação com o meio que os cerca. Além disso, foi realizado um estudo sobre a proteção legal das águas subterrâneas, e a adaptação de uma nova realidade complexa às leis que se baseavam nas dinâmicas dos cursos fluviais superficiais, para algo que não podemos ver nem decifrar com facilidade.

Os aspectos ligados a geologia, geomorfologia hidrogeologia e mesmo hidrologia são tratados, neste trabalho, de uma forma integrada, onde por mais que haja capítulos específicos sobre cada tema, os elementos são constantemente associados e comparados uns aos outros. Pois se busca, sobretudo, nesta dissertação, evidenciar

relações naturais que certos elementos do meio ambiente possuem entre si, e de que maneira isso determina algumas características atuais de cada um deles.

### **1.1 Justificativas**

A escassez dos recursos hídricos superficiais e a crescente demanda por águas próprias para o consumo humano levam-nos à busca de fontes adicionais desse recurso para nossa sobrevivência. A necessidade de conhecer bem os recursos hídricos subterrâneos é cada dia de maior valor, principalmente devido à crescente utilização de águas subterrâneas no abastecimento público. O baixo custo com o tratamento, unido a técnicas de exploração cada vez mais acessíveis colocou as águas subterrâneas na condição de bem precioso e vital, que a pesar de estar em voga atualmente já é utilizado pela humanidade a milhares de anos.

A água subterrânea, recurso natural renovável em escala temporal variada, faz parte do ciclo hidrológico e atualmente, seu uso vem sendo incrementado para suprir as crescentes demandas das atividades industriais, humanas e agrícolas.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é conhecido por ser um dos maiores mananciais de água subterrânea do planeta, ocupa uma área total de 1,2 milhões de Km<sup>2</sup> e abrange no Brasil uma região que se estende desde o Rio Grande do Sul até o estado de Goiás. Em Santa Catarina o SAG está diretamente relacionado aos arenitos da Formação Botucatu (MILANI, 1997).

Sabe-se que a recarga natural deste aquífero ocorre segundo dois mecanismos: O primeiro por meio de infiltração das águas de chuva nas áreas de afloramentos de rochas permeáveis da formação Botucatu, (Zona de Recarga Direta). No Estado de Santa Catarina, estes afloramentos são representados por uma faixa delgada geralmente localizada nas escarpas da Serra Geral e proximidades do domo de Lages. O segundo mecanismo ocorre por filtração vertical ao longo de descontinuidades das rochas vulcânicas da formação Serra Geral, caracterizando-a como pacote confinante (Zona de Recarga Indireta). A grande quantidade de fraturas nas rochas da Fm. Serra Geral preenchidas de água representam o Sistema Aquífero Serra Geral, Este aquífero largamente explorado em Santa Catarina, possui relação íntima com o Aquífero Guarani

no que se refere à recarga e a manutenção da qualidade das águas.

De acordo com Silva (2005), não somente a Constituição Federal de 1.988 como a Participação Cidadã nos preparativos dos textos para a ECO92, são os fundamentos das quatro principais leis brasileiras que tratam da construção do que é melhor para todos. São elas: a **Lei Federal 9.433**, de Janeiro de 1.997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei das Águas; a **Lei Federal 9.795**, de Abril de 1.999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental; a **Lei Federal 9.985**, de Julho de 2.000, que institui a Política Nacional de Conservação da Natureza e a **Lei Federal 10.257**, de Julho de 2.001, que institui a Política Nacional Urbana, o Estatuto da Cidade. Estas leis supracitadas seriam baseadas no dispositivo constitucional do *direito difuso*, que diz respeito ao interesse de todos, em oposição à centralização do poder e, na prerrogativa da participação cidadã, através das organizações representativas da sociedade.

O que liga estas leis é o fato de que agora o planejamento e o gerenciamento da água, da conservação da natureza e do desenvolvimento das cidades, devem ser realizados com e pela participação cidadã, tendo na educação ambiental a abordagem pedagógica de capacitação comum a todos estes processos. Esta é a parte decisiva do legado dos legisladores brasileiros para a segunda grande contribuição do Brasil na construção da cidadania ambiental (SILVA 2005).

Das dimensões ecológica e hidrológica os principais desafios pedagógicos são a construção dos conceitos de ecossistema e ciclo hidrológico e sua visualização na geografia e geologia da bacia hidrográfica. O desafio pedagógico, portanto, reúne a necessidade de construção de um conhecimento tanto sobre o espírito da lei das águas, quanto sobre os conceitos ecológicos e metodologias de mediação de conflitos. (SILVA 2005).

As dimensões jurídicas e sociais da gestão da água no Brasil acontecem sobre uma dimensão de realidade ecológica, dada pelas formações geológicas, pelos ecossistemas e pela hidrologia das bacias hidrográficas brasileiras. Esta dimensão ecológica agrega informações, conhecimento, saberes e consciências sobre os principais fenômenos naturais associados à circulação da água na natureza. De acordo com o conceito brasileiro de Gestão de Bacias, as pessoas e organizações participantes do processo de gestão se vêem obrigadas a utilizar estes novos conceitos, leis, espaços e

tempos nos argumentos com os quais apresentam e defendem seus interesses. Assim como, na construção de uma nova consciência sobre a realidade local na qual vivem e à qual possuem suas relações históricas de pertinência e afinidade (SILVA 2005).

As bacias hidrográficas brasileiras possuem uma geografia definida pela formação geológica do continente americano. A vertente atlântica brasileira é marcada pela Serra Geral, ao Sul, e pela Serra do Mar, no Sul, Sudeste e Nordeste do País. Desta maneira, o ciclo hidrológico compõe-se sobre esta topografia variada, desenvolvendo sua fase superficial e subterrânea: a primeira, desenhando os cursos d'água e levando os nutrientes para a formação dos ecossistemas, e o segundo, formando os aquíferos que hoje temos no território nacional, dentre os quais se destaca o Aquífero Guarani, com 80% de sua área em nosso País.

O Grupo Transdisciplinar de Estudos Hidrológicos GTHIDRO – UFSC, através dos projetos: *Ecologia e gente de Montanha e Aquífero Guarani* Sempre buscou ampliar a expressividade e, sobretudo a qualidade da participação social, visando um incremento na capacidade de gestão local. Desta maneira, a criação de materiais pedagógicos que facilitem a compreensão das dinâmicas do meio natural e sua relação com os recursos e a utilização racional destes auxilia no desenvolvimento destes projetos e são preconizados pelas leis Federais 9.795/ 99 e 9.433/97.

A necessidade de informações atualizadas sobre o aquífero guarani, às comunidades que se utilizam das águas de locais próximos às zonas de recarga direta e indireta do aquífero, ou ainda áreas de descarga, são de extrema importância para a utilização racional dos recursos hídricos em Santa Catarina, pois afinal, as águas que fazem parte deste grande sistema aquífero possuem dinâmicas complexas dentro do ciclo hidrológico e hidrogeológico.

Principalmente a partir da década de 90, estudos sobre o aquífero guarani vêm sendo desenvolvidos por vários pesquisadores não só no Brasil como nos outros países sul-americanos de ocorrência do aquífero, contribuindo assim, para que se tenha uma visão mais completa deste sistema que tem se mostrado cada vez mais heterogêneo e variado.

Contudo a maioria destes trabalhos ocorre, sobretudo, dentro do meio acadêmico, onde são objetos de argumentações e verificações científicas e, de uma

maneira geral, por serem destinados a este público, não possuem grande alcance à população como um todo.

Não obstante, os recursos naturais disponibilizados por este sistema aquífero, servem não só para fins políticos e estratégicos para determinado território ou usos industriais e exploratórios em grande escala, como também para as diversas comunidades que habitam as bacias afluentes ao aquífero. Desta maneira torna-se valioso que estas comunidades tenham acesso á informações referentes ao que se tem revelado, através de investigações, sobre as características e particularidades relacionadas a um recurso de uso comum para diversas atividades da vida cotidiana destas pessoas, a água.

Deste modo, o estudo proposto justifica-se pela necessidade do estabelecimento de relações entre os usos encontrados nas bacias que possuem zonas de recarga do aquífero e informações acerca das dinâmicas que compõem este sistema para que se contribua, em um aspecto mais amplo, a uma melhor utilização deste recurso hídrico renovável visando uma melhoria da qualidade ambiental.

De uma maneira geral, a abordagem da origem da paisagem e sua relação com recursos naturais, possui um forte núcleo cognitivo dado pela associação da produção do conhecimento da história ambiental com a construção de uma identidade cultural sustentada com a mesma natureza que utilizamos e degradamos. Segundo Silva (2005), a historicização do ambiente pode emprestar uma perspectiva histórica ao planejamento estratégico de dado ambiente, para que se conhecendo melhor as dinâmicas naturais do meio que nos cerca, possamos planejar e administrar melhor a utilização de recursos naturais.

O aquífero Guarani representa hoje, mesmo com toda sua heterogeneidade, um manancial de grande magnitude de águas subterrâneas, sendo um dos poucos aquíferos do mundo que ainda não se encontra totalmente contaminado ou super explorado (SILVA 1983). Este cenário mostra como este tipo de recurso natural vem sendo utilizado de forma degradante por diversos países, e como valores econômicos suprimem irreversivelmente ecossistemas e recursos indispensáveis a vida. Uma visão essencialmente utilitarista da natureza, que percebe o meio ambiente como um subproduto da economia. Esta seria nas palavras de Martins (1997) “uma postura

destrutiva, sobretudo para aquele que deveria ser o objeto principal de qualquer tipo de desenvolvimento: o homem”.

Com o intuito de gerar subsídios pedagógicos e científicos que contribuam à gestão de bacias hidrográficas, educação ambiental e à utilização racional dos recursos hídricos subterrâneos, segue este trabalho.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo caracterizar relações entre o Aquífero Guarani, a Serra Geral Catarinense e a ocorrência de Zonas de Recarga Direta no Estado de Santa Catarina como subsidio a gestão da água.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar aspectos geológicos e geomorfológicos do Sistema Aquífero Guarani e da Serra Geral Catarinense e suas relações com a distribuição das Zonas de Recarga Direta.
- Produzir materiais pedagógicos sobre a origem e a atualidade do Aquífero Guarani, sua relação com a evolução geológica e da paisagem como subsídio a gestão da água.

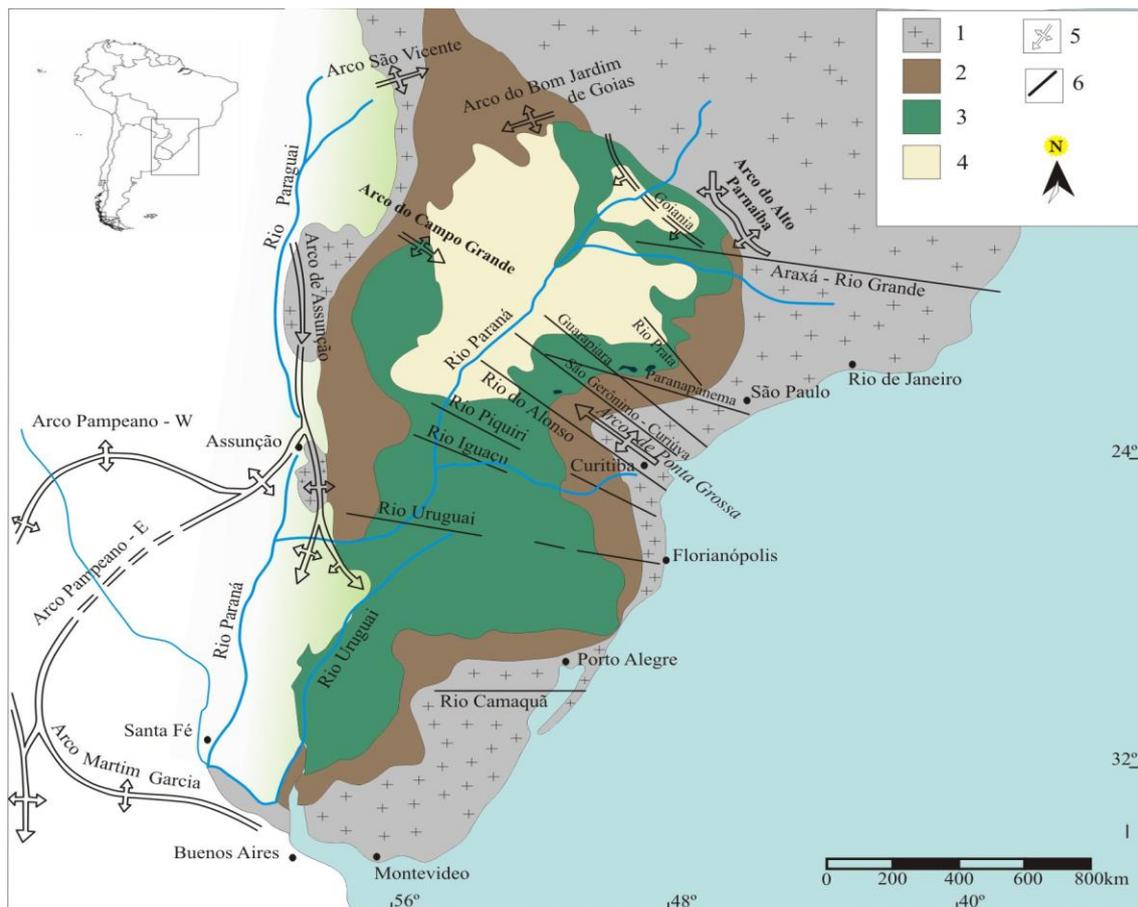
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Recorte empírico

A Serra geral catarinense possui como principal atrativo o conjunto dos seus aspectos naturais (vegetação, fauna, relevo e clima, etc.), compondo paisagem de grande beleza. Esta paisagem apresenta parte de sua área contida nas feições acidentadas de relevo características das escarpas da Serra Geral. □

Desenvolvida sobre rochas efusivas básicas e ácidas oriundas do magmatismo cretáceo, a borda leste está representada por um relevo escarpado com desníveis acentuados de até 1.000 m, □apresentando vales fluviais com afundamentos superiores a 500 m em suas nascentes, desenvolvendo verdadeiros cânions. As escarpas, com bordos íngremes, geralmente são planas, com altas declividades, normalmente superiores a 100%, talhadas nas rochas sedimentares ou vulcânicas da Bacia do Paraná. Uma destas camadas sedimentares conhecida como Formação Botucatu (Fig. 02) possui grande parte da área de sua estrutura porosa impregnada de água caracterizando o Aquífero Guarani. Este sistema aquífero dispõe-se de forma heterogênea pelo Estado e pela América do Sul. A ocorrência das áreas de afloramento das formações sedimentares que compõem o aquífero Guarani acompanha as bordas da Bacia do Paraná, ocupando uma expressiva distribuição no território brasileiro e no continente.

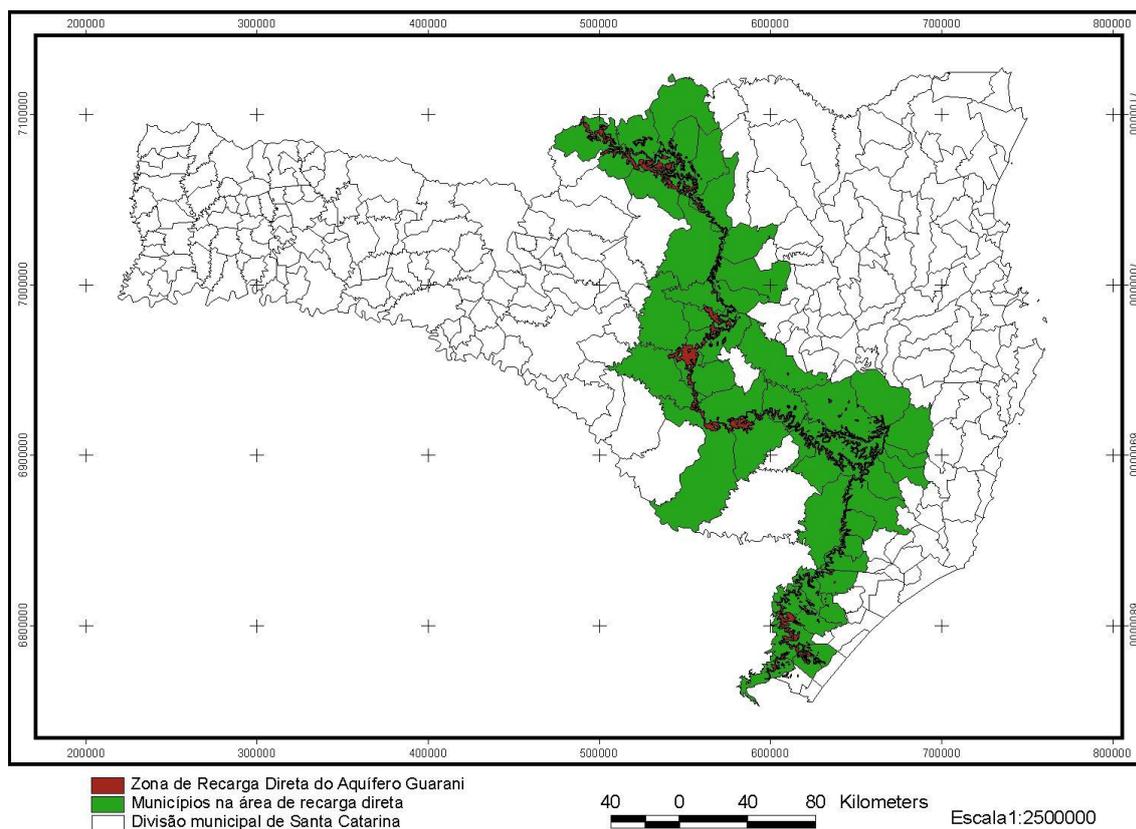
Na figura abaixo é possível visualizar a abrangência da Bacia do Paraná na América do Sul. O contorno da bacia representado em marrom pelo número 2 na legenda do mapa ilustra de forma simplificada, os afloramentos do grande pacote de rochas sedimentares, conhecido como sequência gondwanica. Esta sequência de rochas sedimentares sobrepostas leva este nome devido ao fato de ter se acumulado em um momento geológico pretérito, onde a América do Sul encontrava-se conectada a África e outras porções da crosta formando o supercontinente da Gondwana. Em umas destas camadas de rochas sedimentares ocorre o Sistema Aquífero Guarani, sua representação em Santa Catarina está associada aos arenitos da formação Botucatu.



**Figura 1:** Mapa geológico simplificado da área da Bacia do Paraná na América do Sul. Modificado de Mapa Geológico Simplificado da Bacia do Paraná. Principais Elementos Geotectônicos presentes Segundo Asmus e Baisch (1983).

**Legenda:** 1- Embasamento cristalino adjacente; 2- Rochas sedimentares da Sequência Gondwanica da Bacia do Paraná; 3- Derrames da Formação Serra Geral; 4- Sedimentos pós-vulcânicos; 5- Arcos anticlinais; 6- Lineamentos tectônicos.

Nas suas porções superiores, a Serra Geral Catarinense apresenta afloramentos formando paredões e, na porção inferior, são frequentes depósitos de tálus, em forma de cones. As formas que vemos hoje servem como testemunhos de um passado em que a bacia do Paraná, após o início de sua separação com o continente africano começou o seu processo de erosão remontante, recuando através do tempo para o interior do estado, sendo desgastada por efeito de diversos tipos de ambientes e processos erosivos. A existência de uma rocha mais resistente (basaltos Fm. Serra Geral) como cobertura às rochas sedimentares da bacia, garantiu que o processo de recuo da escarpa da Serra Geral mantivesse um aspecto vertical nas encostas orientais conferindo um recuo paralelo das vertentes pelo tempo geológico.



**Figura 2:** O Estado de Santa Catarina, em verde os municípios que contém afloramentos da Fm. Botucatu.

A figura 2 ilustra a disposição dos afloramentos da formação Botucatu em Santa Catarina. Estes afloramentos representam as áreas propícias à recarga direta do aquífero Guarani no Estado. Sua sinuosa distribuição sentido S – N abrange 44 municípios.

A porção ocidental da Serra Geral estende-se aos campos do planalto catarinense onde predominam relevos planos com forte controle estrutural e, onde as águas drenam para o Oeste do estado. Contudo, em porção topográfica mais baixa desta unidade, onde os processos erosivos tiveram mais tempo para remodelar o relevo, caracteriza-se uma área de transição, onde predominam os modelados planos e convexos, ocorrendo ainda formas de topo plano ou baixos tabuleiros e com frequência caracterizam relevos residuais (HERRMANN e ROSA, 1990).

As encostas da Serra geral são uma fonte importante de água, energia e diversidade biológica. Além disso, fornecem recursos fundamentais - como minérios, produtos florestais e produtos agrícolas - e são fonte de lazer. Estas encostas, devido a sua magnitude, são extremamente vulneráveis ao desequilíbrio ecológico, tanto natural

como provocado pelo homem, devido a sua alta declividade são áreas extremamente suscetíveis processos erosivos acelerados. As encostas da Serra Geral apresentam grande variedade de sistemas ecológicos; devido a suas dimensões verticais, criam gradientes de temperatura, precipitação e insolação. Uma determinada encosta pode reunir diversos sistemas climáticos - como tropical, subtropical, temperado e alpino, cada um representando um microcosmo de uma diversidade ainda mais ampla de habitat.

## 2.2 Águas subterrâneas

O movimento da água nos poros e espaços vazios das rochas abaixo da superfície terrestre consiste em um processo geológico que não é facilmente observável e pouco contemplado na literatura científica. Contudo, águas subterrâneas são parte integrante do ciclo hidrológico e um recurso natural vital (PRICE 1985).

As águas subterrâneas não representam um fenômeno raro nem pouco comum, elas são distribuídas por todo o mundo pelos interiores das mais diferentes superfícies, não somente em paisagens predominantemente úmidas, como também ocorrem sob regiões desérticas, abaixo do gelo das regiões polares ou ainda nas grandes cadeias de montanhas. Em muitos locais, a quantidade de água armazenada abaixo da superfície é igual ou maior que as do escoamento superficial (TRUDGILL 1985).

O trabalho das águas subterrâneas faz parte do processo de drenagem superficial, podendo a mesma água estar alternadamente aflorando em superfície e armazenada em aquíferos em momentos distintos. De fato muitos cursos de água combinam características de águas superficiais e subterrâneas.

Segundo Price (1985) essas águas, abaixo do nível do solo, atuam mais intensamente como um solvente do que como um agente erosivo. Por ela se mover lentamente, estar constantemente presente e não ficar somente próxima a superfície, mas, também permear em grandes áreas de rochas que ainda não haviam sido alteradas pela hidratação, faz com que as águas subterrâneas consigam captar grande quantidade de minerais e, por vezes, trazê-los à superfície novamente.

O comportamento das águas dentro dos diferentes corpos rochosos apresenta uma grande variedade de inter-relações, o que faz com que cada aquífero possua sua

dinâmica particular, contudo, segundo Price (1985) duas propriedades físicas da rocha ou depósito sedimentar controlam a quantidade e o movimento das águas subterrâneas. Um é a porosidade, que representa a porcentagem do volume total da rocha que consiste em vazios. O outro é a permeabilidade, que consiste na capacidade da rocha de transmitir fluidos.

### 2.2.1 Porosidade

A água consegue infiltrar à subsuperfície porque tanto as rochas matrizes quanto seus produtos de alteração (solos, areia e detritos) possuem espaços porosos. De acordo com Solley et al. (1983) existem quatro tipos principais de espaços vazios nas rochas (Fig. 2): (1) espaços entre os grãos de minerais, (2) fraturas, (3) cavidades de dissolução e (4) vesículas. Nos depósitos ou rochas sedimentares constituídos de grãos de areia ou clastos de maior grandeza, como arenitos e conglomerados, os espaços vazios chegam a constituir de 12 a 45% do volume total. Se existem variados tamanhos de grãos e os menores fragmentos preenchem os espaços vazios entre os grãos maiores, ou se uma quantidade significativa de material cimentado preenche os espaços entre os grãos a porosidade é reduzida.

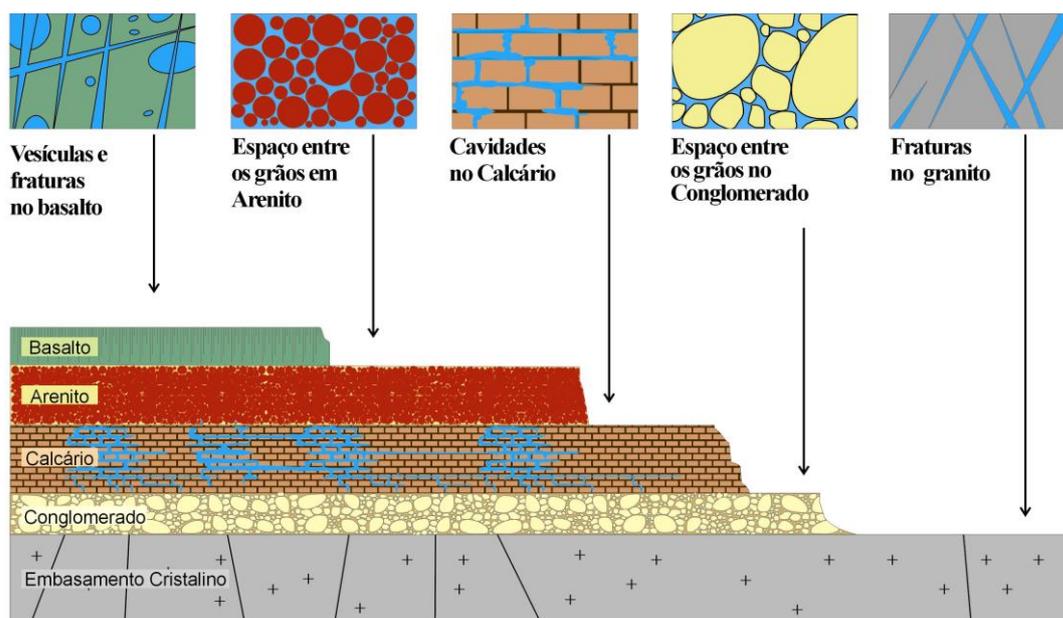
Desta maneira podemos citar o exemplo do SAG, onde as rochas que compõem o aquífero são em sua maioria os arenitos da Formação Botucatu. Esta rocha sedimentar apresenta uma boa capacidade de reter a água por ser constituída de grãos de areia média a grosseiras bem selecionadas com baixíssima presença de material fino, justamente derivado de um ambiente de sedimentação desértico, onde a baixa coesão da cobertura arenosa das dunas do chamado deserto triássico do Botucatu (FULFARO 1983), propiciava intensa lixiviação dos finos. A constante movimentação das dunas pela força do vento conferia aos grãos de quartzo um aspecto esférico característico dos arenitos eólicos. (LOCZY 1966).

Todas as rochas são cortadas por fraturas, e em algumas rochas de maior densidade - como os granitos - as fraturas constituem o único espaço poroso significativo (Fig. 2), o que não significa que estas áreas sejam pouco propícias ao armazenamento de águas subterrâneas, no Estado de Santa Catarina existem aquíferos significantes em embasamento cristalino fraturado, preferencialmente próximos às áreas

costeiras, onde estas rochas afloram. Um exemplo de um significativo sistema aquífero em meio fraturado de rochas cristalinas são os corpos de águas termais localizados nas proximidades do município de Águas Mornas.

A atividade de dissolução característica dos calcários remove o material solúvel formando espaços vazios (Fig. 2). Alguns calcários possuem alta porosidade e, conforme a água se move ao longo das juntas e entre as camadas do calcário, a atividade de dissolução alarga as fraturas presentes na rocha esculpindo corredores e galerias que podem vir a tornar-se uma caverna.

Nos basaltos e outras rochas vulcânicas, vesículas formadas pela ação de gases aprisionados afetam significativamente a porosidade. As vesículas se concentram preferencialmente na parte superior da extrusão magmática, que resfriou em contato direto com a atmosfera, e forma zonas de alta porosidade. Estas zonas porosas podem estar interconectadas pelos espaços entre as juntas verticais.



**Figura 3:** A disposição da água em diferentes sistemas aquíferos

### 2.2.2 □ Permeabilidade

Permeabilidade é a capacidade que determinada rocha tem de transmitir um fluido varia de acordo com as características do fluido, com a pressão hidrostática do

corpo de água, tamanho das aberturas e espaços vazios na rocha e particularmente o quanto que estes vazios estão conectados uns aos outros. Se os espaços porosos são muito pequenos, a rocha pode possuir alta porosidade, mas baixa permeabilidade, pois, é difícil para a água se mover em pequenas aberturas.

As rochas que em geral possuem alta permeabilidade são os arenitos, conglomerados, basaltos e alguns calcários (TRUDGILL 1985). Para Price (1985), a alta permeabilidade dos arenitos e conglomerados se dá devido à alta interconectividade dos poros. Basaltos são permeáveis por apresentarem extensivo fraturamento vertical e pelas porções superiores de muitos derrames apresentarem textura vesicular. Calcários fraturados também são permeáveis, principalmente se a dissolução formou inúmeras pequenas cavidades. Rochas que possuem baixa permeabilidade são granitos não fraturados, xistos, quartzitos e outras rochas cristalinas, metamórfica e densa.

Conforme a água se move através dos poros, ela se mistura aos elementos da rocha, podendo se conectar por uma área vasta da litologia que a recebe. Apesar do grau de permeabilidade, os aquíferos fluem com velocidade extremamente lenta se comparado aos cursos turbulentos superficiais. Apenas em poucos casos como a movimentação das águas dentro de cavernas o movimento das águas subterrâneas pode se aproximar da velocidade de fluxo de uma corrente superficial lenta.

### 2.2.3 Aquíferos tranfronteiriços

Assim como os rios, os aquíferos também atravessam os limites de estados, municípios e de países, como é o caso do Sistema Aquífero Guarani que possui vasta dimensão abrangendo o Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, podendo assim ser considerado como um dos grandes mananciais de água subterrânea transfronteiriço do mundo. (GASTMANS e KIANG 2005).

Como os limites que definem as bacias hidrográficas são comumente utilizados como limites geopolíticos (serras ou divisores de águas), é provável que os limites entre os divisores de águas superficiais sejam diferente dos divisores de águas nos aquíferos. No caso dos aquíferos relacionados a extensos corpos de rochas sedimentares como as formações presentes na Bacia do Paraná, que ocupem amplas áreas geográficas, é

comum que, pelo menos do ponto de vista estadual, representem sistemas transfronteiriços.

Ao contrário dos mananciais superficiais, o conhecimento acerca dos reservatórios subterrâneos ainda é muito deficiente. Por isso a identificação dos limites das bacias hidrogeológicas, a caracterização detalhada dos aspectos físicos como geologia, geomorfologia, tipos de solo, etc. e a compreensão dos níveis de integração entre estes fatores são de grande importância para os estudos que objetivam medir e analisar a quantidade, qualidade ou quaisquer outras características destas águas. (GIARDIN, 2002).

O caso do Aquífero Guarani é um exemplo claro da dificuldade que se tem para caracterizar estes sistemas detalhadamente, pois, a despeito de vários autores tratarem o SAG como um aquífero internacional transfronteiriço e somarem argumentos para classificá-lo em tal categoria, outros autores rebatem levantando sempre a bandeira da incerteza que tanto nos dificulta a ter uma noção exata das dinâmicas deste fenômeno de alta complexidade.

Um bom exemplo destas considerações antagônicas sobre o Aquífero Guarani são as palavras de Machado (2002):

*“... pode-se deduzir que além de sua descontinuidade estrutural, este sistema não apresenta as características típicas de um aquífero com fluxos de água transfronteiriços, sendo infundadas as preocupações de que a captação dele no Brasil pode afetar as suas reservas de água em outros países limítrofes.”*

### **2.3 Aquífero Guarani**

O Sistema Aquífero Guarani (SAG), com extensão aproximada de 1,2 milhões de km<sup>2</sup> está localizado no centro-leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude sul e entre 47° e 65° de longitude oeste. Sua porção brasileira, cerca de 839.800 Km<sup>2</sup> encontra-se distribuída por oito estados da federação (MS, RS, SP, PR, GO, MG, SC e MT), compreende a diversas unidades sedimentares das bacias do Paraná e Chaco-Paraná – esta considerada por alguns autores como sub-bacia, por estar evolutivamente

ligada a bacia do Paraná - recobrando extensas áreas no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (REBOUÇAS, 1994; ARAÚJO et al. 1995; CAMPOS, 1999). a

As rochas associadas ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), constituem-se de pacotes arenosos e eólicos que se depositaram na bacia sedimentar do Paraná ao longo dos períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo Inferior – entre 200 e 132 milhões de anos. A grande diversidade litológica e estrutural que constitui o aquífero vem sendo, no Brasil, documentada em variados artigos. Contudo, diversos autores indicam a necessidade de um detalhamento contínuo, visando identificar as heterogeneidades que caracterizam seus diferentes compartimentos, para que se possa acurar os dados em relação ao uso racional e manejo dos recursos hídricos subterrâneos (SILVA, 1983).

Consagrado como um dos maiores reservatórios de águas subterrâneas do mundo, o SAG é considerado no Brasil como sendo o conjunto das formações Botucatu, Pirambóia, contudo, Rebouças (1994) já questionava sobre a inclusão dos aquíferos Botucatu e Pirambóia dentro de um único sistema, devido às características hidrogeológicas muito discordantes entre estes dois aquíferos. (MACHADO, 2004).

Em algumas regiões este manancial armazena água com alguns parâmetros físico-químicos ultrapassando os limites mínimos estabelecidos para o abastecimento público. Vários poços perfurados neste aquífero, por outro lado, produzem vazões excepcionais de águas de excelente qualidade, da ordem de até 800.000 L/h, com temperaturas, em alguns casos, superiores a 40°C.

O Aquífero Guarani, para Machado (2004), foi inicialmente apresentado ao mundo com grande expectativa de qualidade e quantidade de água doce e potável, um grande reservatório, com capacidade de abastecer a humanidade por centenas de anos. Estes números eram baseados na sua capacidade hídrica, calculada, na época, em 55 bilhões de metros cúbicos. Estes valores ainda representavam uma Idéia de continuidade e homogeneidade do aquífero.

Mais recentemente, continua-se buscando compreender, dentro das vastas dimensões do aquífero, particularidades e fragmentações. Para Machado (2004), houve precipitação dos meios de comunicação em informar sobre esta imensa reserva de água, antes mesmo da realização de estudos técnicos conclusivos. Parece também ter havido interesses internacionais de corporações atraídas pelas qualidades das águas deste aquífero.

São as palavras de Machado (2004):

*“Com todas as maravilhas já faladas e escritas sobre o “recém descoberto” Aquífero Guarani, é natural que entidades internacionais ficassem seriamente preocupadas com a “preservação” de um bem, não brasileiro ou do MERCOSUL, mais um patrimônio da humanidade, isto é, de outros interessados, e de outros interesses.”*

Desta forma percebe-se que o Aquífero Guarani é um bem estratégico, tanto para os países do MERCOSUL, principalmente os que possuem parcelas do aquífero (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai), como para outros países que investem no mercado da água, especialmente após a previsão de que a água pode ser uma mercadoria regida pelas leis da Organização Mundial do Comercio, segundo Petrella (2004).

Aquíferos que apresentam compartimentação física causada por barreiras estruturais (falhamentos ou intrusões de rochas magmáticas), quando submetidos à exploração, podem sofrer rápido esgotamento da água armazenada. Além disso, pela baixa taxa de renovação de suas águas, estas podem apresentar alto teor de substâncias dissolvidas que, em certos casos, chegam a inviabilizar o seu uso para de abastecimento público. Segundo Machado (2004)

*“o Sistema Aquífero Guarani como foi definido é na realidade um simples agrupamento de unidades hidroestratigráficas, não necessariamente com conexão hidráulica, totalmente descontínuo e com várias compartimentações, não apresentando as condições típicas de um aquífero com fluxo transfronteiriço e, contendo extensas áreas com águas de péssima qualidade, variando de salobras a salgadas.”*

De acordo com Araujo (1999) as opiniões sobre o Sistema Aquífero Guarani (SAG), são, em geral, unânimes sobre seu elevado potencial hidrogeológico e sobre a excelente qualidade da sua água. Contudo, ao que parece, este conceito não deve ser tomado como regra geral, considerando que existem variações espaciais significativas nas propriedades hidrogeológicas e hidroquímicas do SAG, em função das características geológicas e hidrogeológicas locais.

Desta maneira, segundo Rebouças (1994), os projetos de exploração do SAG, que desconsiderem os possíveis efeitos de feições geoestruturais no fluxo e

armazenamento da água subterrânea, podem ocasionar resultados negativos inesperados, tanto em termos de quantidade, como na qualidade da água captada.

Amore e Freitas (2002) sugerem que o Sistema Aquífero Guarani (SAG) está muito afetado pelos aspectos estruturais e propõem que sejam realizados estudos visando especialmente a localização das principais áreas onde houve movimentações do embasamento e que poderiam afetar este aquífero.

Machado (2002) localizou no Rio Grande do Sul, três grandes sistemas de falhas, que fragmentariam o SAG em pelo menos quatro grandes compartimentos, com características muito distintas no que se refere às suas águas.

A Formação Serra Geral, sobreposta ao SAG, comporta o maior número de poços perfurados, até a presente data, sendo, por esta razão, a atual e a principal fonte de abastecimento de água subterrânea das cidades localizadas sobre a Bacia Sedimentar do Paraná na região do Sul do Brasil. Estas águas estão armazenadas nas estruturas tectônicas através das quais ocorre a sua circulação. São águas de excelente qualidade sendo o reservatório subterrâneo recarregado por uma precipitação que varia entre 1200 e 1400 mm/ano. A recarga atmosférica é acrescida pelas águas que ascendem, por descontinuidades geológicas, dos aquíferos subjacentes sob elevada pressão hidráulica. (GIARDIN e FACCINI, 2005).

A combinação da qualidade da água ser, regra geral, adequada para consumo humano, com o fato de o aquífero apresentar boa proteção contra os agentes de poluição que afetam rapidamente as águas dos rios e outros mananciais de água de superfície, aliado ao fato de haver uma possibilidade de captação nos locais onde ocorrem as demandas e serem grandes as suas reservas de água, fazem com que o Aquífero Guarani seja um manancial de grande serventia para abastecimento do consumo humano na área. (GASTMANS e KIANG 2005).

A população atual do domínio de ocorrência do Aquífero Guarani é estimada em 15 milhões de habitantes. Um importante alcance social e econômico das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Paraná e do Aquífero Guarani em particular, resulta do fato de estas poderem ser consumidas, em geral, sem necessidade de serem previamente tratadas, tendo em vista os mecanismos de filtração e autodepuração biogeoquímica que ocorrem no subsolo. Aspectos relativos ao desenvolvimento e uso das funções do aquífero são ainda incipientes. Dentre estes usos destaca-se o uso

energético em balneários e indústrias agropecuárias. O uso da energia termal de suas águas poderá resultar em economia na produção de energia elétrica (ROSA FILHO et al.2003).

Vale ressaltar, que o principal fator de risco da utilização das águas subterrâneas resulta do grande número de poços rasos e profundos que são construídos, operados e abandonados sem tecnologia adequada, devido à falta de controle e fiscalização nas esferas federal, estaduais e municipais. Nesse quadro, de acordo com Rebouças (1994), a poluição dos aquíferos superiores – que ocorre, local e ocasionalmente, tanto no Brasil, Paraguai, Uruguai ou Argentina – poderá contaminar a água que é extraída dos poços profundos que captam do Aquífero Guarani, até mesmo quando estão localizados nos seus setores confinados.

As zonas de recarga direta ou afloramento dos aquíferos são consideradas áreas muito frágeis, onde o risco de contaminação das águas subterrâneas é facilitado. É por estas regiões que a água se infiltra mais facilmente para então ficar armazenada no subsolo. Porém, assim como as águas, os poluentes também têm a sua infiltração facilitada, devido à ausência de barreiras como solos de baixa permeabilidade ou rochas consolidadas. (AMORE & FREITAS 2002).

È por estes motivos que tais regiões são consideradas de grande importância, sendo essencial fazer um trabalho de proteção e conservação das mesmas. Para tal, é interessante realizar um mapeamento das zonas de recarga direta ou afloramento dos aquíferos e identificar as atividades praticadas em tais áreas, classificando-as de acordo com o risco que as mesmas apresentam em relação à contaminação de águas subterrâneas. (REBOUÇAS 1994).

## **2.4 Bacias hidrográficas e sua relação com as águas subterrâneas**

As bacias hidrográficas são a unidade principal de investigação para os estudos hidrológicos do fluxo superficial (RENNÓ 2001). Assim, os critérios utilizados para a delimitação da unidade hidrográfica são bem conhecidos na literatura. Referências em relação a estes critérios de delimitação e gestão das bacias hidrográficas são comumente encontradas nas bibliografias. Já a designação de “Bacia hidrogeológica” ainda

necessita ser complementada em relação aos aspectos de sua conceituação e aplicação. (TIEDMANN, 1998).

Os critérios para a definição dos limites de bacias hidrogeológicas e a relação com as bacias hidrográficas sobrepostas são desprovidos de embasamento teórico. Definem bacias hidrogeológicas como os limites e caminhos que a água sub-superficial segue através do aquífero desde as zonas de recarga até um exutório específico, ou seja, as águas de sub-superfície e as águas subterrâneas convergem até um ponto comum onde deságuam ou descarregam sua carga hídrica. Segundo a resolução Número 15, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH 2001), um corpo hídrico subterrâneo corresponde ao volume de água armazenado no subsolo, onde os aquíferos podem apresentar zonas de recarga e descarga pertencentes a uma ou mais bacias hidrográficas sobrejacentes.

Desta maneira, as informações hidrogeológicas existentes representam importante subsídio para direcionar pesquisas e auxiliar na escolha das melhores alternativas de ação com relação à gestão integrada de recursos hídricos. Além disso, atualmente, devido à crescente utilização das águas subterrâneas, é de grande importância aprimorar os conhecimentos acerca das bacias hidrogeológicas e das dinâmicas ambientais e hidrológicas que as compõem.

No caso de aquíferos transfronteiriços, ou seja, que pertencem a dois ou mais países, é necessário um bom conhecimento prévio dos limites das bacias hidrogeológicas para que possíveis conflitos sejam resolvidos de maneira coerente. Assim, neste capítulo busca-se um breve esclarecimento do termo bacia hidrogeológica, suas relações com os elementos do meio que a cerca, como um auxílio à proposta de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas.

#### 2.4.1 Conceituação

Uma bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica constituída de um sistema de rios que drenam uma área topograficamente definida, representada pelo divisor de águas (CLARK *et al.* 2005). A bacia hidrográfica associada a uma dada seção fluvial é limitada pelos seus divisores de água e pela rede de drenagem. Assim a individualização

destas bacias pode ser feita tendo-se como base somente a análise de cartas topográficas, imagens de satélite ou fotos aéreas.

Quando o objeto de estudo é a bacia hidrogeológica (ou bacia subterrânea), seus limites não são tão visivelmente reconhecidos, sendo necessária a utilização de diversos métodos para estabelecer sua real extensão. Existem casos em que uma bacia hidrogeológica possui área mais extensa do que a respectiva bacia hidrográfica (TIEDMAN *et al.* 1998), podendo incluir inúmeras bacias hidrográficas sobrejacentes com diversos divisores, diferentes tipos de padrões de drenagem, variação na densidade da drenagem, formas de relevo e processos erosivos distintos, formato e comprimento das encostas. Desta forma, a análise integrada dos elementos do meio físico, biótico e social que constituem determinada bacia nos aproxima de uma visão mais completa da realidade complexa destes fenômenos.

Também existem casos em que uma mesma bacia hidrográfica pode definir em sua dinâmica subterrânea, diferentes padrões de fluxo, de forma que alimente mais de um sistema aquífero. Ou ainda o aquífero possuir fluxo divergente ao do escoamento superficial.

A existência de assimetrias entre as bacias hidrográficas e hidrogeológicas pode ser controlada por diversos fatores, sendo alguns destes: a heterogeneidades dos aquíferos, a existência de dobras e falhamentos geológicos, presença de aquíferos com diferentes tipos de porosidade sobrepostos, entre outros.

Para TIEDMAN *et al.* (1998), o termo bacia hidrogeológica é definido como o limite entre as zonas de recarga e descarga de determinado aquífero, sendo a zona de recarga considerada a partir da região onde as águas ou plumas de umidade descendentes alcançam o topo da zona saturada dos aquíferos e os chamados exutórios os pontos ou áreas onde as águas retornam à superfície.

Se utilizássemos esta definição perceberíamos que sistemas como o Aquífero Guarani possuem inúmeras bacias hidrogeológicas, nem sempre conectadas umas às outras, podendo haver grande diferença de qualidade das águas (MACHADO 2002). Por isso, mesmo com o fato de o Aquífero Guarani apresentar proporções continentais e, aos olhos da mídia, comportar-se como um imenso reservatório de água potável e homogênea, comprovadamente nesse sistema encontram-se águas de péssima qualidade, inclusive com alto teor de salinidade. (MACHADO 2002).

As delimitações propostas acima buscam evidenciar a idéia de que o funcionamento hídrico de uma bacia hidrogeológica é, em geral, diferente daqueles observado para uma bacia hidrológica. Os limites de uma bacia hidrográfica são definidos a partir de um ponto no exutório, de forma que toda a área drenada a montante do ponto escolhido define a bacia ou sub-bacia em questão. No caso da bacia hidrogeológica o exutório não pode ser definido como um ponto, sendo geralmente caracterizado por uma área ou pelo menos por uma linha de descarga, de forma que a limitação da área da bacia se torna ainda mais complexa.

#### 2.4.2 Aspectos legais

De acordo com o artigo 20, inciso III da Constituição Federal de 1988, “são bens da União: os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”. A mesma constituição segue considerando em seu Artigo 26, inciso 1, “Incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósitos, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”.

Segundo Amore e Freitas (2002), existe um projeto de Emenda Constitucional sobre as águas subterrâneas, submetido à aprovação no Congresso Nacional que pretende alterar a dominialidade das águas subterrâneas. Este projeto tem por base um tratamento semelhante ao dado às águas superficiais. Desta forma, os aquíferos transfronteiriços do ponto de vista das fronteiras de nações e estados federados serão federais, enquanto aqueles restritos às fronteiras do estado serão gerenciados pelos organismos do poder público estadual. Com isso, apesar da possível descentralização e desconcentração do gerenciamento hídrico, pode-se tornar possível a gestão compartilhada entre estados, a adoção de mecanismos de solução de conflitos entre estados competindo por recursos do mesmo aquífero, ou ainda o estabelecimento de questões relativas à segurança nacional de aquíferos transfronteiriços (AMORE e Freitas, 2002).

A lei 9.433/97, conhecida como lei das águas, incorporou a dominialidade das águas subterrâneas da constituição de 1988 e determinou a bacia hidrográfica como unidade de aplicação da política de recursos hídricos. Contudo segundo a dúvida que surge em torno dessa lei é se a política nacional de recursos hídricos também se refere às águas subterrâneas. Ou ainda tendo-se a bacia hidrográfica como unidade de gestão, como ficaria os casos em que os limites das bacias hidrográficas e hidrogeológica não coincidem.

Desta forma, com relação à questão das águas subterrâneas no Brasil, ainda há muito a ser discutido, principalmente no contexto atual de agravamento da escassez e da qualidade da água, e incremento do uso de mananciais subterrâneos (TIEDMAN *et al.* 1998).

Por isso a definição dos limites das bacias hidrogeológica/hidrográfica é uma importante questão a ser considerada, visto que poderá levar a distorções na definição dos responsáveis pela gestão dos sistemas aquíferos quando houver assimetria entre os limites das bacias hidrogeológicas e hidrográficas. Na realidade, Seria necessário ampliar o conhecimento científico sobre o comportamento e distribuição dos recursos hídricos antes de implementar políticas de gestão, evitando-se assim a elaboração futura de nova legislação para regulamentar a questão.

#### 2.4.3 Breve histórico das águas subterrâneas na legislação brasileira de recursos hídricos

- Fiscalização da qualidade do produto na fonte, classificação das águas e sua comercialização, instalação ou funcionamento de estâncias hidrominerais obedecem ao disposto na Lei n° 7.841, de 1945 (Código de Águas Minerais);
- Pesquisa e a lavra das águas minerais, termais, gasosas, de mesa ou destinadas a fins balneários são reguladas pela Lei n° 227, de 1967 (Código de Mineração).

Entendimento quanto às águas minerais, potáveis de mesa, termais, etc.

- Aplicação do Código de Águas e do Código de Mineração cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.
- A qualidade das águas minerais engarrafadas é fiscalizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA e pelas Secretarias de Saúde dos Estados.
- Danos ao meio ambiente causados pela exploração dessas águas seriam problemas da alçada dos órgãos ambientais.

#### CONSTITUIÇÃO DE 1988:

- ART 20, INCISO III:

São Bens da União: Os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

- ART 26, INCISO I:

- Incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;

- ART 176

- As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra

- Entende-se que águas subterrâneas são de dominialidade dos Estados e do Distrito Federal;
- Definição de rios Federais e Estaduais;
- Distinção clara entre as águas subterrâneas e Recursos Minerais do Sub-Solo, que são de competência da União;
- Águas Subterrâneas para consumo são diferentes de Águas Subterrâneas para aproveitamento mineral (Água Mineral, Água potável de mesa, Águas Termais).

Lei 9.433 (1997):

- Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- Determina a Bacia Hidrográfica como Unidade de Aplicação da Política de Recursos Hídricos.
- Entendimento – Incorporou a dominialidade das Águas Subterrâneas entendida pela Constituição de 1988;
- Estabelece os Instrumentos de Gestão:
- Planos de Recursos Hídricos; Enquadramento dos corpos D'Água em Classes de Uso; Outorga de Direito de Uso; Cobrança Pelo Uso; Compensação aos Municípios; Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.
- Reconhece que captações de Águas Subterrâneas são obras de engenharia e necessitam de autorização para sua instalação e operação;

Lei 9.984 (2000):

- Cria a Agência Nacional de Águas, com a finalidade de Implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Em articulação com os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Cabe à Agência Nacional de Águas a implantação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;
- SNIRH é a ferramenta básica para aplicação dos instrumentos de gestão;
- Não se gerencia o que não se conhece.

Resolução Nº 15 - 2001 CNRH:

- Reconhece a Interação entre água Superficial e Subterrânea e a Indissociabilidade da Gestão destes dois Tipos;
- Reconhece que os Limites de um Aquífero não necessariamente coincidem com os de Bacias Hidrográficas;
- A Implementação de Política Nacional de Recursos Hídricos deve reconhecer a interdependência entre as várias formas de ocorrência da água;
- Dispõe sobre as Diretrizes a serem observadas na aplicação de Instrumentos de Gestão no Gerenciamento das Águas Subterrâneas;

Resolução CNRH Nº 17 – 2001

Art. 8º Os Planos de Recursos Hídricos, no seu conteúdo mínimo, deverão ser constituídos por diagnósticos e prognósticos, alternativas de compatibilização, metas,

estratégias, programas e projetos, contemplando os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de acordo com o art. 7º da Lei 9.433, de 1997.

## **2.5 Desenvolvimento Sustentável**

É fundamental que o Aquífero Guarani tenha seu potencial aproveitado de maneira sustentável, ou seja, que o mesmo venha a ser explorado de tal forma que as gerações subseqüentes também possam usufruir dos benefícios provenientes do aquífero citado. Assim sendo, o presente item objetiva explicar o conceito de desenvolvimento sustentável e o modo como o mesmo surgiu e evoluiu com o tempo.

Teixeira, (2004), em discussão sobre o surgimento de uma nova corrente de pensamento acerca do desenvolvimento mundial, coloca que duas forças históricas auxiliaram neste processo de mudança:

A primeira força diz respeito à China, que após a queda do governo de Kuomintang, em 1949, buscava outras formas de desenvolvimento a partir da Revolução Cultural, em que se buscava o novo sem descartar o velho, dava-se prioridade ao desenvolvimento rural e buscava-se diminuir as diferenças entre a cidade e o campo. A China se tornou basicamente auto-sustentável, principalmente porque a ajuda exterior era mínima. Parecia que a China havia encontrado a fórmula do desenvolvimento que combinava o crescimento econômico com justiça social, verificando-se inclusive um alto nível de solidariedade entre as pessoas, muito diferente do desenvolvimento desigual encontrado nos Estados Unidos.

A segunda força histórica citada por Teixeira (2004) é o surgimento das Companhias Transnacionais – pertencentes a países do primeiro mundo e, é claro, a eles servindo - e o reconhecimento de uma economia mundial emergente sobre sua tutela. A idéia dessa nova forma de pensar o desenvolvimento foi desenhada a partir de uma série de informes patrocinados pelo Clube de Roma, que era um grupo organizado e muito forte, apoiado financeiramente por doações generosas de fundações internacionais. Os informes patrocinados pelo Clube de Roma tinham um caráter dramático, sendo que o primeiro foi lançado simultaneamente a Conferencia de Estocolmo, em 1972. Estratégia para criar uma intensa polemica, o que ocorreu de fato. Porém, para Teixeira (2004), o

Clube de Roma estava a serviço das empresas transnacionais, baseando-se na exploração dos recursos naturais, porém sem controle do poder dos estados mundiais.

Buscando outra linha de evolução surge o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”. A idéia de Desenvolvimento Sustentável surgiu na década de 70, e foi reformulado em 1980 por cientistas e professores universitários do mundo inteiro, reunidos em torno da elaboração do documento “Estratégia Mundial para a Conservação”. Entre 1980 e 1992 o conceito é disseminado através de vários documentos, resultados da reunião de especialistas e políticos de diversos países (tanto ricos quanto pobres), e em junho de 1992, no ECO’92, ele é assumido como novo conceito de desenvolvimento tanto pelas Nações presentes à Cúpula Mundial como pelos cidadãos do mundo inteiro presente ao Fórum Global. Um conceito simples de desenvolvimento sustentável pode ser escrito da seguinte forma:

*“Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que visa atender a necessidade das gerações atuais sem comprometer a necessidade das futuras gerações”.*

Ainda não foi possível entrar em consenso a respeito do conceito de desenvolvimento sustentável, mesmo porque existem várias linhas ideológicas influenciando estrategicamente a busca deste conceito. Com certeza os princípios pregados pelo Clube de Roma estão mais vivos do que nunca, e talvez o processo de globalização a partir do critério econômico seja o mais presente em todas as propostas de mudanças encaminhadas a partir da Conferência de Estocolmo. Porém a confusão em torno do termo também ocorre pelo fato de não existir um modelo de implantação de desenvolvimento sustentável, podendo haver diversas formas de promoção do DS, não existindo formulas mágicas, e sim experiências constituídas a partir de diretrizes gerais (SILVA, 2005).

No V Programa Ambiental da União Européia e Estados Membros, o termo sustentável está colocado como:

*“Reflexo de uma política e estratégia de desenvolvimento econômico e social contínuo, que não se direcione em detrimento do meio ambiente e dos recursos naturais, de cuja qualidade dependem a continuidade da atividade e do desenvolvimento dos seres humanos”.* (V Programa Ambiental da União Européia e Estados Membros).

Diegues (1992), em vez do termo desenvolvimento sustentável propõe o termo sociedade sustentável, com a finalidade de fugir da complexa interpretação do termo desenvolvimento. O informe “Caring for the Earth” define que sociedade sustentável é:

- Respeitar e cuidar da comunidade dos seres vivos;
- Melhorar a qualidade de vida humana;
- Reduzir ao mínimo o esgotamento dos recursos não renováveis;
- Conservar a vitalidade e diversidade da terra;
- Modificar as atitudes práticas pessoais;
- Facultar às comunidades para que cuidem de seu meio ambiente;
- Propor um marco nacional para a integração do desenvolvimento e da conservação.

Os conceitos e definições de desenvolvimento sustentável são muito controversos e ainda geram muitas dúvidas. Porém, a partir do surgimento da idéia de DS, o meio ambiente e a natureza começaram a receber uma maior atenção dos governantes e da população. Uma prova disso foi a ECO’92, uma conferência em que foram assinados vários documentos entre nações assumindo compromissos – que na verdade nem sempre são cumpridos – visando a implementação do desenvolvimento sustentável.

## **2.6 Importância da educação ambiental**

Segundo consta na lei 9.795, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, educação ambiental são os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. Além disso, consta na referida lei que a educação ambiental deve estar presente em todos os níveis e modalidades do processo educativo do ser humano.

Eis o que consta na Agenda 21 sobre o conceito de educação ambiental:

*“A educação ambiental se caracteriza por incorporar as dimensões sócio-econômica, política, cultural e histórica, não podendo basear-se em pautas rígidas e de aplicação universal, devendo considerar as dimensões e estágios de cada país, região e comunidade, sob uma perspectiva histórica. Assim, a educação ambiental deve permitir a compreensão da natureza complexa do meio ambiente e interpretar a interdependência entre os diversos elementos que conformam o ambiente, com vistas a utilizar racionalmente os recursos do meio na satisfação material e espiritual da sociedade no presente e no futuro”.* (Agenda 21, 1992).

A importância da educação ambiental reside no fato de que, ao dotarmos um indivíduo de uma capacidade de discernimento em relação às questões ambientais, ele deixa de ser um infrator e passa a ser um aliado, ajudando a fiscalizar e a proteger o meio ambiente. Além disso, o indivíduo tende a passar seus conhecimentos aos seus familiares e amigos, que também passam a ser “fiscais e protetores do meio ambiente”, iniciando assim uma corrente (CAMARGO, 2005).

Ainda segundo Camargo (2005), a educação ambiental é um processo que pode ser utilizado para conscientizar a população, mudando seus valores e seus comportamentos, tendo grande importância na gestão de recursos hídricos, pois através da mesma haverá uma maior integração do homem com a natureza, fazendo com que os mesmos tenham um maior respeito pelo meio ambiente.

Grandes são os desafios enfrentados quando se procura direcionar as ações para a melhoria das condições de vida no mundo. Um deles refere-se à mudança de atitudes na interação com o patrimônio básico para a vida humana: o meio ambiente (PERAYA, 2005).

A solução dos problemas ambientais tem sido considerada cada vez mais urgente para garantir o futuro da humanidade e depende da relação que se estabelece entre sociedade/natureza, tanto na dimensão coletiva quanto na individual (PERAYA, 2005).

A educação tem um papel fundamental no desenvolvimento das pessoas e das sociedades. Neste contexto, vê-se a importância de incluir o tema transversal Meio Ambiente contido nos Parâmetros Curriculares Nacionais, permeando toda a prática educacional (PERAYA, 2005).

Uma das formas é utilizando as mídias e os meios de comunicação como ferramentas pedagógicas. Como escreve Peraya (1997) “Ensinar tem um sentido muito

próximo de comunicar”. Inserindo novas formas de aprendizado às atividades pedagógicas, fará com que os alunos, mais do que memorizar conteúdos, aprendam a aprender.

### **3 METODOLOGIA**

O capítulo metodologia apresenta uma caracterização dos materiais e das bases conceituais utilizadas para a obtenção dos resultados da pesquisa.

#### **3.1 Introdução**

A água subterrânea representa hoje um recurso natural com grande potencialidade de uso, contudo, como todo recurso natural possui dinâmicas que nem sempre condizem com os usos propostos pela população que o utiliza. O Aquífero Guarani é um dos poucos grandes sistemas aquíferos do mundo que ainda não sofreu descaracterizações tão pronunciadas. E este mesmo aquífero possui características de grande complexidade em sua estrutura e origem.

Sendo assim um bem público, no qual muitos querem utilizar, quase todos dizem querer preservar e pouco se sabe sobre suas particularidades e fragmentações. Entende-se sob a ótica deste trabalho que dar acesso a informações sobre as características pretéritas e atuais que compõem este sistema aquífero pode auxiliar no processo de uso sustentável deste recurso e da maior inserção das comunidades que se utilizam deste mesmo recurso nas tomadas de decisão políticas, sociais e ambientais.

Para Silva (2006) governança é um conceito pós-moderno que surgiu com as questões contemporâneas da globalização, e que podem auxiliar nos processos de participação das comunidades com o aumento da capacidade de soberania e governabilidade local. O conceito de governança está relacionado com um recurso cognitivo que pode auxiliar na construção de leituras complexas da crise atual da água e na busca de soluções inovadoras e duradouras.

Governança é definida por Silva (2006) como o aumento da capacidade de governar no nível local, o que pode ser associado com a crescente demanda de fatores

de interesse comum, para os quais a gestão compartilhada é a melhor alternativa, pois a divergência nos diversos setores de interesse resulta em conflitos, muitas vezes graves.

É o caso da água, pois trata de um bem público, cuja disponibilidade quantitativa e qualitativa é de interesse de todos os setores da sociedade, cada qual utilizando-a em benefício próprio e muitas vezes prejudicando outros setores pelo esgotamento do recurso ou poluição.

O Planejamento Estratégico para o Desenvolvimento Sustentável (PEDS) possui três metodologias que direcionam as oficinas e a sua aplicação: a metodologia pedagógica, baseada no método construtivista de Piaget e Paulo Freire parte do reconhecimento da legitimidade do outro como um legítimo outro na convivência; a metodologia histórica partir da história do ambiente proposta por de Luiz Vitalle (VITALLE, 1983), cujo objetivo é de construir uma relação entre a história da natureza e a história das pessoas e; a metodologia estratégica, voltada para o planejamento cooperativo e coletivo (SILVA, 1998).

Dentro destas estratégias metodológicas, Silva (1998) Descreve cinco Eras Que devidamente aplicadas alcançariam um incremento na participação social e por fim e um modelo de gestão sustentável.

Podemos com este trabalho aplicar a temática proposta em três destas cinco Eras, são elas:

A primeira era (Era I) é relativa à Formação dos Ecossistemas e retrata a origem do universo, a formação dos planetas, a formação do Planeta Terra, a constituição da biosfera e a formação dos ecossistemas atuais. Essa era possui como objetivo, consolidar a consciência da relação de totalidade, unicidade e complexidade da biosfera e dos ecossistemas antes de surgirem os primeiros seres humanos no planeta.

A segunda era (Era II) é relativa à Formação do Ambiente, onde após a construção dos conceitos de integração e determinação entre os elementos do meio natural, busca-se uma avaliação do ambiente como sendo o resultado das relações entre a sociedade e a natureza.

A quinta era (Era V) é relativa às Relações Sustentáveis, segundo Silva (2005) a última era relaciona a unidade com o ambiente, o local com o global e o espírito com a matéria, permitindo a construção de relações sustentáveis que garantam a saúde integral

do ser humano, isso significa a saúde física, emocional, mental e espiritual, saúde social e ambiental.

A inovação apresentada no modelo é a possibilidade de utilizar um banco de dados geográficos com dados de sensoriamento remoto e modelos ambientais para auxiliar na representação da era V e propor a era VI, na qual poderemos incluir a possibilidade real de sustentabilidade futura através da governança local da água.

Neste presente trabalho não se utilizou diretamente o modelo PEDS para sua criação e desenvolvimento, contudo busca servir como instrumento para os projetos em andamento que possuem este modelo como metodologia, desenvolvidos pelo grupo transdisciplinar de pesquisas hidrológicas GT-Hidro/UFSC. O material aqui desenvolvido origina-se neste mesmo grupo de pesquisa para gerar um incremento técnico na temática do Aquífero Guarani e da Serra Geral Catarinense e afirma seu valor em sua utilização para as oficinas de capacitação comunitária que já são desenvolvidas em comunidades das bacias afluentes as zonas de recarga do Aquífero Guarani.

### **3.2 Desenvolvimento da identificação dos aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra Geral catarinense e do Aquífero Guarani e suas relações com a distribuição das Zonas de Recarga Direta**

Estudo, identificação e descrição de características do meio físico na qual se relacionam a Serra Geral, o Aquífero Guarani e a distribuição das ZRD em Santa Catarina. Este objetivo busca fornecer uma noção minimamente integral dos elementos que constituem a historia evolutiva e atual da Serra Geral e do Aquífero Guarani e suas relações de determinação, ou seja, de que maneira estes elementos interagem e retroalimentam-se mutuamente.

Este objetivo se dividiu em três abordagens:

**Primeira etapa:** Consulta Bibliográfica - Nesta etapa houve a preocupação e a necessidade de se conhecer materiais cartográficos e bibliográficos existentes na temática. A complexidade apresentada por estes materiais nos levou a procurar entender como se deu a formação e a evolução da área de estudo. Partindo-se de materiais com avaliações de ampla escala, surgiu a necessidade da elaboração de trabalhos de campo para a confirmação de dados e aumentar a riqueza de detalhes.

**Segunda etapa:** trabalhos de campo - Foram realizadas aproximadamente 20 viagens a campo Na área da Serra Geral Catarinense, onde através das observações sobre os aspectos geológicos e geomorfológicos, pôde-se construir com certa riqueza de detalhe as caracterizações destes mesmos aspectos.

Ao longo de 24 meses, do dia 20 de abril de 2006 ao dia 12 de maio de 2008 desenvolveu-se trabalhos de campo em diversas localidades como: Área do Campo dos Padres, Urubici, Bom Jardim da Serra, Orleans, Grão-Pará, Aiurê, Alfredo Wagner, bom Retiro, Lages, Ponte Alta. Os locais de campo e das fotografias registradas neste trabalho encontram-se no mapa de localização de atividades de campo a seguir.

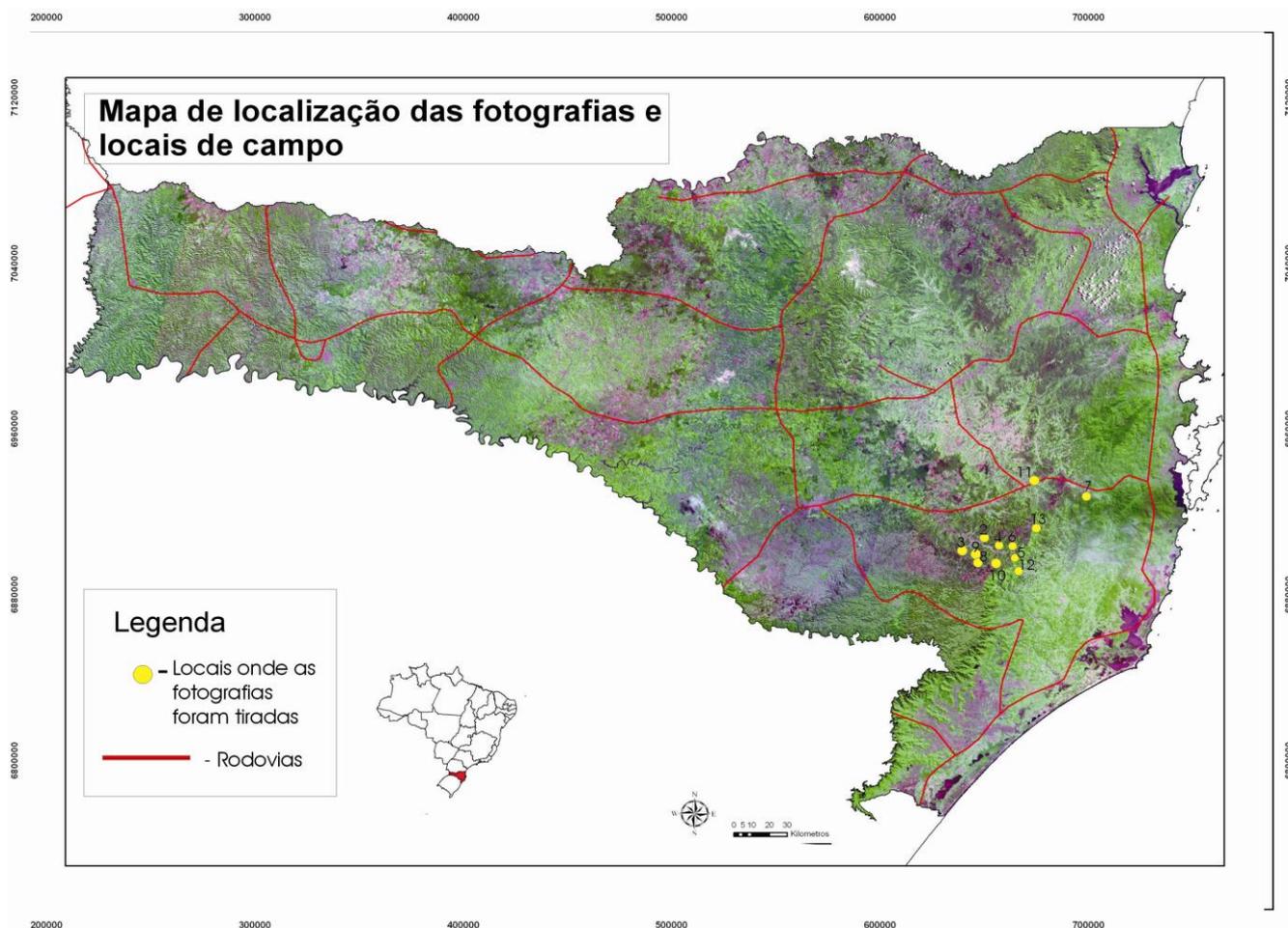


Figura 4: Localização no Estado de Santa Catarina das fotografias apresentadas nesta dissertação.

As atividades em campo abordavam preferencialmente: Características de afloramentos rochosos; Confirmação das formações rochosas, principalmente as associadas ao SAG; Descrição das características das rochas (textura, coloração, estrutura) e as características do relevo associadas a diferentes estruturas litológicas.

Estes dados foram armazenados em acervo fotográfico e anotações em caderneta e posteriormente organizadas e sistematizadas para a criação dos materiais na terceira etapa.

**Terceira etapa:** elaboração dos mapas temáticos e figuras esquemáticas, criação de material identificando as relações entre aspectos geológicos e geomorfológicos da área de estudo com a atual distribuição do Aquífero Guarani e de suas Zonas de Recarga Direta em Santa Catarina.

### 3.2.1 Criação dos mapas e figuras esquemáticas

Utilização da bibliografia consagrada sobre os temas para a criação de mapas e figuras esquemáticas que auxiliam na compreensão da ordem de eventos geológicos, da transformação da paisagem e do Aquífero Guarani. Visando ilustrar as conexões históricas e atuais entre alguns elementos do meio ambiente que nos cerca.

Para o embasamento geológico e cartográfico, foram obtidas informações estratigráficas e estruturais junto ao Mapa Geológico do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em escala 1:500.000, edição de 1989. Os mapas e as figuras foram desenvolvidos usando os softwares ArcGIS 9.0 e Corel Draw 12.

**Historia da evolução da Bacia do Paraná:** Criação de figuras que auxiliem o leitor a compreender o processo evolutivo geológico da área. Buscou-se caracterizar o arcabouço geológico e características estruturais que por fim deram origem ao aquífero guarani e a Serra geral catarinense. Este material busca localizar o leitor no fato de que o Aquífero Guarani é produto de uma sucessão de eventos geológicos e climáticos que configuraram, no passado, o local onde hoje habitamos.

**Historia evolutiva da Serra Geral Catarinense:** Foi construído um perfil A-B cruzando dados de mapa geológico e topográfico digital 1:500.000 de forma que identificasse as principais características geológicas do Estado e localizasse dentro de um contexto geológico mais amplo a situação do aquífero Guarani. Posteriormente se deu a criação de material ilustrativo que objetiva elucidar através da abordagem de elementos geológicos e geomorfológicos, a origem e evolução da paisagem da Serra Geral Catarinense, assim como a sua relação com o Sistema Aquífero Guarani. Exemplificando de forma sintética como tanto a paisagem como a distribuição dos recursos hídricos representam um momento atual de um contexto de constantes mudanças. A criação deste perfil destacou o município de Urubici devido a três principais motivos: a) A existência de áreas significativas de recarga do Aquífero Guarani; b) Características geomorfológicas e hidrográficas, pois o município encontra-se nas áreas mais elevadas do Estado, limita-se pelas escarpas da Serra Geral e é nascente de rios importantes como o Canoas e o Pelotas; c) O acesso que a equipe do GT-HIDRO/UFSC e o Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água, possui com as lideranças e atores da comunidade de Urubici.

**Mapa geológico simplificado da área da Bacia do Paraná:** Este mapa simplificado foi confeccionado para localizar a abrangência da bacia do Paraná no continente sul americano. Assim expõe a disposição dos diferentes tipos de rocha encontrados a suas áreas de ocorrência

**Mapa Geológico mostrando a abrangência da bacia do Paraná em Santa Catarina:** Mapas criados cruzando informações geológicas, políticas e hidrográficas em diferentes escalas. Estes mapas mostram a localização e distribuição das formações geológicas superiores da Bacia do Paraná no Estado de Santa Catarina. Esta compilação foi criada para isolar as formações associadas aos principais sistemas aquíferos do Estado. A base de dados utilizada foi o Mapa Geológico do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em escala 1:500.000, edição de 1989. Os mapas foram desenvolvidos usando o software ArcGIS 9.0.

As figuras foram elaboradas com o objetivo de facilitar a compreensão da ordem cronológica na qual os fatos se sucederam e, foram desenvolvidas como um ornamento sintetizador dos conceitos referidos no texto.

### **3.3 Elaboração de Instrumentos para educação ambiental**

Ao longo dos anos, o grupo de pesquisa em Gestão Transdisciplinar de Bacias Hidrográficas (GTHidro) vem realizando pesquisas com o objetivo de contribuir com os processos de planejamento e gestão de recursos hídricos em bacias de todo estado de Santa Catarina. Estes estudos contribuirão para a concepção e o aperfeiçoamento da tecnologia social proposta, auxiliando no processo de comunidade de aprendizagem do Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (TSGA). Este projeto está trabalhando hoje com a perspectiva de elaboração de Projetos de Desenvolvimento Sustentável Local relacionados a quatro temas principais definidos em conjunto e a partir de demandas sociais consolidadas pela comunidade: (a) Turismo, (b) Proteção das nascentes; (c) a Mata das Araucárias e (d) Saneamento, nas quais a proteção do Aquífero Guarani encontra-se como tema transversal e dinamizador das atividades.

O Brasil conta hoje com um modelo de gestão social para suas águas denominado Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas (GIBH), que visa aumentar a efetividade nos processos de planejamento e gestão de bacias. Sabe-se que apesar das tentativas realizadas para o desenvolvimento sustentável das regiões, o que existe é um enorme distanciamento entre os projetos da GIBH e a realidade das comunidades de bacias para as quais estes projetos são elaborados. Observa-se a continuidade da mesma trajetória histórica de abandono cultural, falta de perspectivas econômicas e degradação da natureza. Desta forma, este objetivo visa construir uma experiência de planejamento e gestão do território com uma comunidade empoderada, que atua como sujeito ao longo de todo este processo. A partir do conhecimento e visualização do seu território, pretende-se elaborar estratégias de desenvolvimento sustentável local, dentre elas a implantação e implementação de unidades de conservação, que constituem hoje uma das principais propostas para manutenção da diversidade biológica do país associada ao desenvolvimento local.

Junto com este trabalho estão sendo produzidos recursos pedagógicos para a compreensão da origem e a atualidade do Aquífero Guarani, sua relação com os recursos hídricos e com o desenvolvimento da paisagem atual. As atividades e resultados apresentados neste resultado estão relacionados a uma das etapas deste projeto chamada Comunidade de Aprendizagem do Modelo de Governança do Território para a Zona de Recarga Direta do Aquífero Guarani.

Foram realizadas oficinas e encontros com a comunidade para o encaminhamento das etapas do projeto TSGA. Após o detalhamento do Modelo e a definição de estratégias específicas para cada etapa, iniciou-se o processo de sua aplicação junto à comunidade e adaptação da proposta às novas demandas. Entre essas demandas, criação de mapas temáticos (Ecológico, Geológico, Hidrológico e das Áreas de Proteção Permanente) somou-se a isso produtos de educação ambiental que apresentem e justifiquem a importância de alguns elementos do meio em que vivem para suas vidas atualmente. Assim, fortalecendo a compreensão do meio ambiente e dos recursos como algo dinâmico provido de uma história evolutiva, porém, com um futuro de incertezas. Estes materiais ainda darão subsídios (a) à elaboração dos mapas das demandas, (b) aos projetos elaborados pela comunidade e (c) ao esboço de política pública de desenvolvimento sustentável local.



**Foto 1:** Pablo Koehler Ministrando apresentação do recurso pedagógico para cumprimento do Objetivo 5 do projeto TSGA, dia 12.08 2008, Urubici, SC.

- □ **Oficinas:** A equipe do GT-Hidro/UFSC que participa do projeto TSGA vem elaborando desde 2008 diversos encontros para a aplicação do (Curso Prático para o Reconhecimento do Território). Após consolidadas algumas demandas da própria comunidade foi elaborada uma oficina que explanasse sobre as origens e relações que o aquífero Guarani e a Serra Geral possuem com os recursos hídricos no local. Desta maneira fez-se valer neste trabalho do acesso a comunidade e de infra-estrutura que a Equipe do TSGA possui no município de Urubici. Assim o produto pedagógico elaborado representa um incremento técnico ao objetivo 5 do Projeto TSGA que concerne a Economia de Experiência e Comunidade de Aprendizagem do Modelo de Governança do Território para a Zona de Recarga Direta do Aquífero Guarani.
  
- □ **Entidades e autoridades participantes:** Dentre os representantes de entidades e autoridades presentes nos encontros realizados estão: (a) a Escola Estadual Básica Araújo Figueiredo, (b) a Escola Estadual Básica Manual Dutra Bessa, (c) produtores rurais, (d) AMAE, (e) o Sindicato dos Trabalhadores Rurais, (f) a OSCIP das Araucárias, (g) o Instituto Chico Mendes e (h) Prefeitura Municipal de Urubici.
  
- □ **Material pedagógico:** Foram elaboradas as versões definitivas das apresentações em PowerPoint para a oficina do Acordo Inicial e capacitação da comunidade por meio do Curso Prático TSGA. O material é constituído de Três apresentações (em anexo) que serão descritas esmiuçadamente a seguir. Contudo, buscam mostrar a conexão que os recursos hídricos superficiais e subterrâneos locais têm com o contexto geológico e geomorfológico regional e global.

Este material busca através de ilustrações e textos simplificados facilitar a compreensão das dinâmicas que deram origem ao aquífero e de que maneira estes elementos determinam até hoje as características deste recurso de grande valor.

Utilização do Programa Corel Draw 12, e posteriormente passadas em forma de apresentação para o programa Microsoft PowerPoint®.

O recurso pedagógico que foi desenvolvido nesta dissertação é constituído de:

**Historia da evolução da Bacia do Paraná:** Onde se buscou caracterizar o arcabouço geológico e características estruturais que por fim deram origem ao aquífero guarani e a Serra geral catarinense. Este material busca localizar o leitor no fato de que o Aquífero Guarani é produto de uma sucessão de eventos geológicos e climáticos que configuraram, no passado, o local onde hoje habitamos.

**Historia evolutiva da Serra Geral Catarinense:** Este material objetiva elucidar através da abordagem de elementos geológicos e geomorfológicos, a origem e evolução da paisagem da Serra Geral Catarinense, assim como a sua relação com o Sistema Aquífero Guarani.

**Historia da evolução dos continentes:** Adaptado de Scotese Paleomap Project, Além da utilização das figuras, houve tradução de partes do texto original em inglês da obra citada. Os textos foram acrescidos de pesquisa de bibliografia variada sobre o tema todas as obras seguem citadas no material.

**A disposição da água em diferentes sistemas aquíferos:** Ilustração que mostra como a água costuma distribuir-se no interior das rochas, formando sistemas aquíferos com características variadas. Adaptou-se às rochas presentes no Estado de Santa Catarina e preferencialmente as que se enquadravam no contexto da área de estudo.

**Modelo de evolução regressiva de relevo tabular:** Bloco diagrama que consiste em padrão clássico do processo de evolução de relevos tabulares e os produtos originados através destes processos. Aplica-se diretamente a evolução do planalto, da Serra Geral Catarinense e das planícies sedimentares.

Os textos foram elaborados com base nas referencias bibliográficas descritas neste trabalho e tentou-se, através de uma simplificação dos termos mais utilizados em meio acadêmico, a construção de um material que auxilie na compreensão de algumas das

dinâmicas de elementos geológicos do local para que um maior número de pessoas de distintas escolaridades e faixas etárias tenham acesso.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Identificação dos aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra Geral e do Aquífero Guarani e suas relações com a distribuição das Zonas de Recarga Direta em Santa Catarina**

Este capítulo busca relacionar aspectos do meio físico com a história evolutiva da Serra Geral Catarinense e do Aquífero Guarani. E através de trabalhos de campo, mostrar como certas evidências geológicas e geomorfológicas se apresentam atualmente na paisagem e na configuração de municípios com bacias afluentes as Zonas de Recarga Direta (ZRD). Neste capítulo mistura-se o material criado pelo autor a trechos de pesquisa bibliográfica, tendo como objetivo orientar o leitor no universo do tema pesquisado e ao mesmo tempo mostrar de que forma algumas características de processos pretéritos podem ser observadas hoje no Estado de Santa Catarina.

#### 4.1.1 Geologia

Detendo-se aos elementos litológicos que compõem o embasamento da área de estudo, pode-se dizer que estão inseridos na bacia sedimentar do Paraná, mais especificamente na escarpa oriental desta bacia, onde o processo erosivo regressivo atuante faz com que aflore grande parte da seqüência sedimentar que repousa sobre o embasamento cristalino e abaixo das seqüências de derramamentos de rochas vulcânicas.

Diferentemente dos outros sete estados brasileiros que constituem-se geologicamente de rochas que pertencem a Bacia do Paraná, Santa Catarina possui uma disposição particular. Da área total do Estado, a metade encontra-se composta pelas rochas sedimentares da seqüência gondwânica da Bacia do Paraná, sendo quase

em sua totalidade recoberta pelo chamado magmatismo Será Geral. Esta formação de rochas magmáticas se dispõe por todo o oeste do Estado, representada predominantemente por basaltos, também por diques e sills de diabásio e, por vezes, efusivas ácidas.

A outra metade da área do Estado, que se estende pelas proximidades da costa atlântica, caracteriza-se litologicamente pelo embasamento cristalino. Este embasamento, formado por rochas graníticas e uma variedade de metamórficas, pronuncia-se na paisagem na forma das Serras do Leste Catarinense, como as que compõem as encostas do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro.

#### 4.1.1.2 □ A Bacia do Paraná e a localização geológica do Aquífero Guarani

Situada no centro-leste da América do Sul, e abrangendo uma área de 1.600.000 km<sup>2</sup>, a bacia sedimentar do Paraná encontra-se no território de quatro países: Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. Sendo sua porção brasileira possuidora de 1.000.000 km<sup>2</sup> distribuída entre os estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

Classificada como intra-cratônica, por representar um sítio de acumulação de sedimentos no interior de um Crato (áreas substanciais das placas litosféricas, continentais caracterizadas por movimentos verticais de longa duração e de baixa intensidade). A Bacia do Paraná apresenta-se como uma complexa fossa tectônica de forma elipsoidal com o seu maior eixo de direção NNE-SSW e encontra-se preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas de idades que variam entre o Ordoviciano (450Ma) ao Cretáceo (150 Ma) (LOCZY, 1976).



**Foto 2-** Camadas plano-paralelas de rochas sedimentares da seqüência gondwanica. da bacia do Paraná, afloramento mostra a disposição horizontal e contínua das rochas. Proximidades do centro de Urubici – SC.

Durante o Siluriano inferior, a aproximadamente 400 milhões de anos antes do presente, as estruturas tectônicas do continente de Gondwana tornaram-se de caráter cratogênico, ou seja, a atividade vulcânica cessou completamente, ficando o escudo aspecto arqueado com grandes áreas de subsidência (sinéclises) (MABESOONE et al. 1981, in: SCHEIBE, 1986). Segundo Fulfaro (1982). É escasso na literatura material sobre a origem dessas áreas negativas no interior dos continentes.

Para Frost *et al.* (1981) as maiores influencias para o desenvolvimento de uma bacia sedimentar, em seu aspecto estrutural, são as áreas de fraqueza associadas às forças residuais pré-existentes no embasamento da bacia. Estas mesmas áreas podem ser reativadas em fases tectônicas posteriores determinando a orientação dos falhamentos.

Em uma dessas sinéclises constituiu-se a Bacia do Paraná (fig. 5b) Os sedimentos que se depositaram nesta bacia são oriundos de diferentes ambientes de sedimentação, desde os de origem marinha deixados pelo grande mar Paleozóico que se conectava ao Proto-Pacífico antes do surgimento dos Andes, aos de origem continental como: depósitos fluviais, límnicos, eólicos e glaciais (PETRI, 1983).

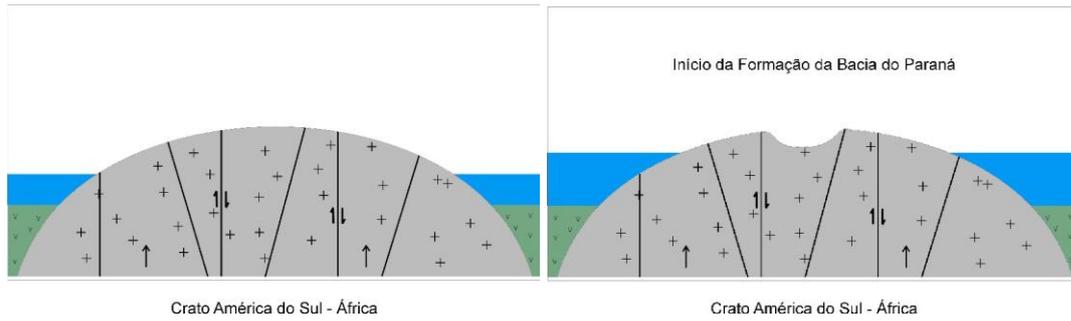


Figura 5 a:

Figura 5 b

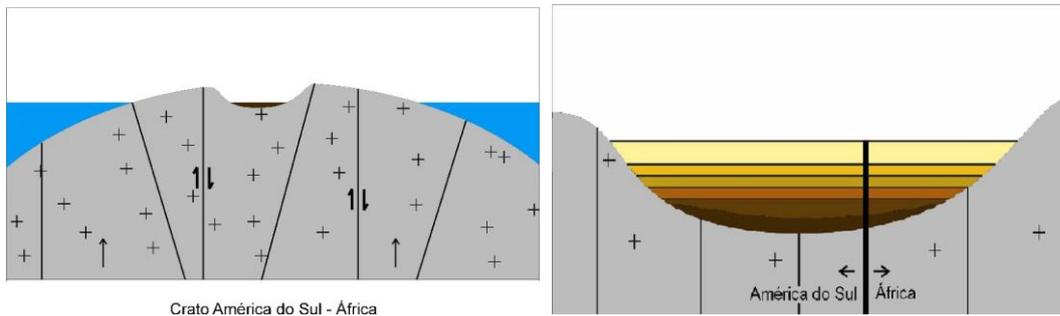


Figura 5 c

Figura 5 d

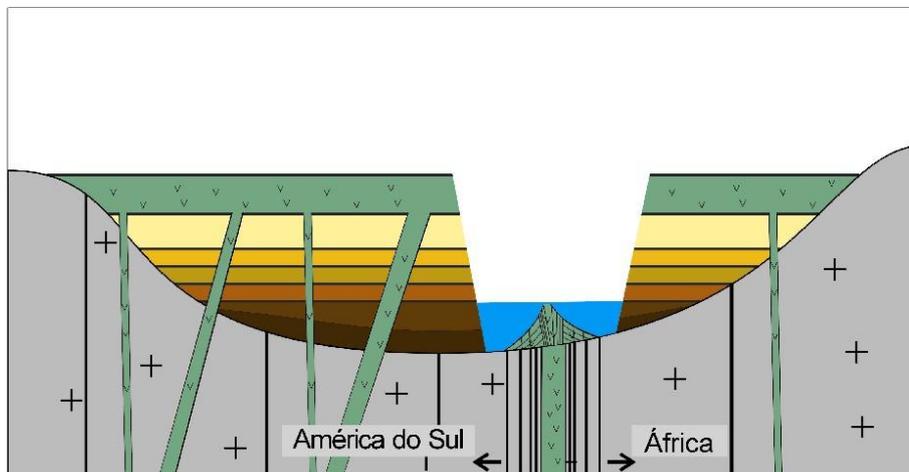


Figura 5 e

**Figura 5 - A evolução da Bacia do Paraná.** Esta figura ilustra como teria iniciado o processo de formação da Bacia, sua evolução através do preenchimento do seu interior por diversos tipos de sedimentos e o fim da seqüência gondwanica caracterizado pela separação América - África, vulcanismo Serra Geral e o início do Atlântico sul.

A seqüência sedimentar gondwanica da bacia do Paraná, (Gondwana é o nome atribuído às terras austrais do supercontinente de Pangea que se formou a aproximadamente 250 Ma. Era composta dos fragmentos que hoje representam a América do Sul, África, Índia, Austrália, Nova Zelândia e Arábia. E foi neste contexto que ocorreram os eventos de sedimentação que preencheram a bacia do Paraná (fig. 5c e 5d), capeando o embasamento cristalino pré-cambriano do Escudo Brasileiro que o circunda quase totalmente. As rochas pré-cambrianas afloram desta forma nas bordas orientais nas Serra do Mar, nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e no Uruguai; nas bordas ocidentais, Mato Grosso e Paraguai; e na borda setentrional, Minas Gerais.

Em Santa Catarina, as formações sedimentares que preenchem a bacia do Paraná tiveram início no Carbonífero Superior (fig. 5), quando então se processou a deposição do Grupo Itararé, composto por arenitos, siltito, folhelhos várvidos, e conglomerados. Evidenciando diversos tipos de ambiente de sedimentação desde marinhos a glaciais. (MILANI, 1997).

Ao longo do Permiano, mudanças climáticas continuaram a ocorrer e, junto com as movimentações da crosta, geravam processos diversificados de deposição dos sedimentos. Este período é marcado por expressiva transgressão marinha característica do Grupo Guatá. Na parte basal deste Grupo, estão contidas as rochas da Fm. Rio Bonito e, a estas estão associadas às maiores reservas de carvão do País, dispendo-se ao longo de uma faixa com mais de 1500 km de extensão, percorrendo os Estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A partir do Permiano superior (230 Ma) ocorreu a sedimentação do Grupo Passo Dois, cujo ambiente de sedimentação, geralmente associado a climas úmidos, variava de mar raso a moderadamente profundo sobre uma plataforma estável. Entre o fim do Permiano Superior e o início do Triássico inferior, o clima sofreu forte mudança, passando de úmido para desértico (MAACK, 1947), imprimindo, desta maneira, novas características aos sedimentos. A partir do Triássico Superior iniciou-se a sedimentação do Grupo São Bento.

As camadas sedimentares da Bacia do Paraná foram dispendo-se horizontalmente umas sobre as outras até a transição do jurássico para o cretáceo.

O ultimo ambiente de sedimentação que perdurou sobre todas as demais camadas sedimentares da bacia do Paraná era desértico, formado pelo chamado Deserto Triássico do Botucatu (FULFARO, 1982), mostrando arenitos finos a médios, bem selecionados com estratificações cruzadas de grande porte associadas a antigas estruturas dunares. Ambiente esse que permaneceu ao longo de todo o jurássico estendeu-se até as proximidades do cretáceo, onde se inicia o processo de separação dos continentes africano e sul-americano e concomitantemente os primeiros eventos do magmatismo Serra Geral.

As causas deste grande evento magmático de origem fissural, estão associadas a forças distensivas que fragmentam o embasamento ocasionando a abertura de fendas profundas, nas quais o material magmático, mais denso e sob pressão, encontra espaço para extravasar à atmosfera.

Estes eventos chegaram a ser cobertos por novas camadas de arenito eólico em momentos de estagnação temporária do magmatismo onde o deserto do Botucatu voltou a ocupar parte do seu território. Contudo os eventos magmáticos continuaram a ocorrer sucessivas vezes, correspondendo ao encerramento da evolução gondwanica da Bacia do Paraná e ao início da separação dos continentes (CASTRO 1994).

## SEQÜÊNCIA GONDWÂNICA DA BACIA DO PARANÁ

Formações Presentes no Estado de Santa Catarina

	Grupo São Bento	Juro-Cretáceo	SERRA GERAL	Sistema Aquífero Serra Geral	
			BOTUCATU	Sistema Aquífero Guarani	
Super Grupo Tubarão	Grupo Passa Dois	Permiano Superior	RIO DO RASTO	Morro Pelado Serrinha	
			TEREZINA		
			SERRA ALTA		
			IRATI	Assistência Taquaral	
	Grupo Guatá		PALERMO		
	Grupo Itararé	Permiano Médio	RIO BONITO	Siderópolis Paraguaçu Triunfo	Carvão mineral
			RIO DO SUL		
		Permiano Inferior	MAFRA		
			Carbonífero Superior	CAMPO DO TENENTE	

Fonte: Adaptado de Scheibe, 1986, de acordo com o mapa geológico de SC 1:500.000 (DNPM)

Autor: Pablo Koehler

**Figura 6:** Formações da Bacia do Paraná presentes no Estado de Santa Catarina

Após algumas considerações acerca da origem da Bacia do Paraná, serão abordadas certas especificidades sobre os elementos litológicos contidos na área da Serra Geral Catarinense e seus paleoambientes.

- □ Formação Campo do Tenente: parte inferior do Grupo Itararé, é constituída principalmente por pelitos (sedimentos finos, em geral silte e argila) de cor castanho-avermelhado e secundariamente por ritmitos e diamictitos. Os diamictitos, neste caso, constituir-se-iam em tilitos (Till é um tipo de sedimento associado a fundos de lagos glaciais) e os arenitos e conglomerados em depósitos flúvio-glaciais. É atribuída uma origem gláciolacustre às porções argilosas e rítmicas (provavelmente varvito).
  
- □ A Formação Mafra forma a parte intermediária do Grupo Itararé, sendo constituída por arenitos brancos e amarelo-avermelhados, mal selecionados, com diamictitos (possui diversas origens e a grosso modo se caracteriza por rocha conglomerática com fragmentos grandes imersos em uma matriz fina como, por exemplo, argilas), conglomerados e argilitos subordinados. Sua deposição deu-se em condições ambientais marinhas e continentais, com influência glacial.
  
- □ A Formação Rio do Sul constitui a parte superior do Grupo Itararé, sendo a sua porção basal constituída por espesso pacote de folhelho negro (folhelho Lontras) (Os folhelhos são rochas sedimentares que possuem grãos de tamanho argila. Diferenciam-se dos argilitos porque possuem lâminas finas e paralelas) que representa depósito marinho profundo ou prodeltaico. Segue-se um pacote de turbiditos areno-pelíticos que representam uma sedimentação de leques submarinos, associado à diamictitos e arenitos fluidizados que constituem as fácies de talude. Sobre estes depósitos afloram depósitos várvidos e de franja de frente deltaica, indicando o início da progradação do sistema flúvio-deltaico da Formação Rio Bonito.

Castro *et al.* (1994), com base no estudo de palinomorfos, situaram a Formação Campo do Tenente no Carbonífero Superior, a Formação Mafra no Permiano Inferior e a Formação Rio do Sul no Permiano Médio.

- □ Formação Rio Bonito: White (1908) propõe a denominação de “camadas do Rio Bonito” para caracterizar o conjunto de rochas areníticas associadas à pelitos e camadas de carvão descritas na seção padrão, entre as cidades de Lauro Müller - Guatá - São Joaquim, em Santa Catarina. Petri (1983) propõe a formalização das denominações de Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis para os membros desta formação, tendo ampla aceitação e uso em toda a Bacia Sedimentar do Paraná.

O Membro Triunfo caracteriza a porção basal de Formação Rio Bonito, sendo constituído por arenitos e conglomerados cinza-claro. As principais estruturas sedimentares são representadas por estratificações paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas. Secundariamente ocorrem folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuro a pretos, carbonosos, leitões e camadas de carvão (Camada Bonito) comercialmente exploradas na Região Carbonífera de Santa Catarina. Este conjunto litológico representa o sistema deltaico, com domínio fluvial progradante sobre os lamitos do pró-delta, representados pelo Grupo Itararé.

O Membro Paraguaçu recobre abruptamente o Membro Triunfo e constitui a porção central da Formação Rio Bonito, sendo caracterizado por uma sedimentação predominantemente pelítica representada por siltitos e folhelhos cinza a esverdeados e subordinadamente arenitos finos exibindo laminação plano-paralela e ondulada e bioturbação. Representa uma fácies marinha transgressiva sobre os arenitos flúvio-deltaicos do Membro Triunfo, culminando com o afogamento do sistema deltaico implantado anteriormente.

O Membro Siderópolis recobre o Membro Paraguaçu e constitui o terço superior da Formação Rio Bonito, sendo caracterizado por um espesso pacote de arenitos com intercalações de siltitos, folhelhos carbonosos e carvão (Camada Barro Branco) amplamente explorado na Região Carbonífera de Santa Catarina. Apresenta comumente laminação plano-paralela, truncada por onda, cruzada cavalgante.

Segundo Medeiros & Thomaz (1973) esta seqüência foi depositada em ambiente litorâneo que progradou sobre a sedimentação marinha do Membro Paraguaçu. Os arenitos representam depósitos de barras e barreiras, com interdigitações de sedimentos flúvio-deltaicos, tendo os sedimentos carbonosos sido originados em lagunas e mangues costeiros, posteriormente recobertos por areias litorâneas.

O conteúdo fossilífero da Formação Rio Bonito é caracterizado pela abundância de restos vegetais (impressões de plantas - flora *Glossopteris*) e palinomorfos, encontrados nos carvões e rochas associadas, o que permitiu situar esta formação no Permiano Inferior, (MAACK, 1947).

- □ Formação Palermo (Grupo Guatá): Apresenta-se constituída de siltitos cinza a amarelados apresentando intensa bioturbação e raras lentes de arenitos finos a conglomeráticos. Representa os depósitos de ambiente transicional onde o principal corpo d'água poderia ter sido um extenso lago (PETRI e FÚLFARO, 1983), ou ainda depósitos de plataforma rasa resultantes da transgressão marinha que afogou a Formação Rio Bonito (CASTRO, 1994).
- □ Formação Iratí (Grupo Passa Dois): Esta formação encontra-se dividida em dois Membros: Taquaral e Assistência. O primeiro é constituído de siltitos e folhelhos cinza-escuros eventualmente cinza-claros e azulado. Possui características indicadoras de ambiente marinho de águas calmas. O segundo é composto por folhelhos cinza-escuros intercalados por duas camadas de folhelhos pretos pirobetuminosos, possuindo conteúdo fossilífero (CASTRO, 1994).
- □ Formação Serra Alta (Grupo Passa Dois): compreende uma seqüência de argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros a pretos. Depositada em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas (LOCZY, 1966).
- □ Formação Teresina (Grupo Passa Dois): é formada por argilitos cinza-escuros e esverdeados intercalados com siltitos e arenitos muito finos, podendo apresentar lentes de calcário. Apresenta indicativos de ambiente marinho de águas rasas e agitadas com ação de marés (CASTRO, 1994). Seus afloramentos ocorrem em regiões planas de relevo suavizado em altitudes próximas a 900m, como por exemplo em vários cortes de estrada as margens do Rio Canoas. É formada por

siltitos cinza laminados com intercalações rítmicas de folhelhos negros e arenitos finos. Este pacote rochoso está posicionado logo abaixo da formação Rio do Rasto.

A formação Teresina apresenta alteração com coloração amarela, e sobre esta se desenvolvem solos argilosos pouco espessos. Tem alta densidade de fraturas, com espaçamento centimétrico.

Esses pelitos são explorados como cascalheiras, que suprem material para a recuperação de estradas e estão espalhadas pela área de entorno da região estudada, uma dessas cascalheiras localiza-se na base da descida da Serra do Panelão nas proximidades da comunidade de Águas Brancas (FULFARO, 1982).

As próximas três formações que seguem representam a parte superior da bacia e, por isso relacionam-se com os sistemas aquíferos mais representativos deste conjunto geológico. No topo da seqüência ocorre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), Aquífero de grande porte, inserido em formação geológica homônima. O SASG possui águas subterrâneas distribuídas por fraturas e cavidades no interior da espessa camada de derramamentos e encontra-se em contato direto com a formação Botucatu e com ele o Aquífero Guarani. Logo abaixo localiza-se a formação Rio do Rasto, esta representa um aquífugo, um tipo de rocha menos permeável que dificulta a infiltração das águas armazenadas no aquífero Guarani para formações subjacentes. Estas três formações possuem uma relação estreita na origem e manutenção dos sistemas aquíferos atuais e suas características serão apresentadas a seguir.

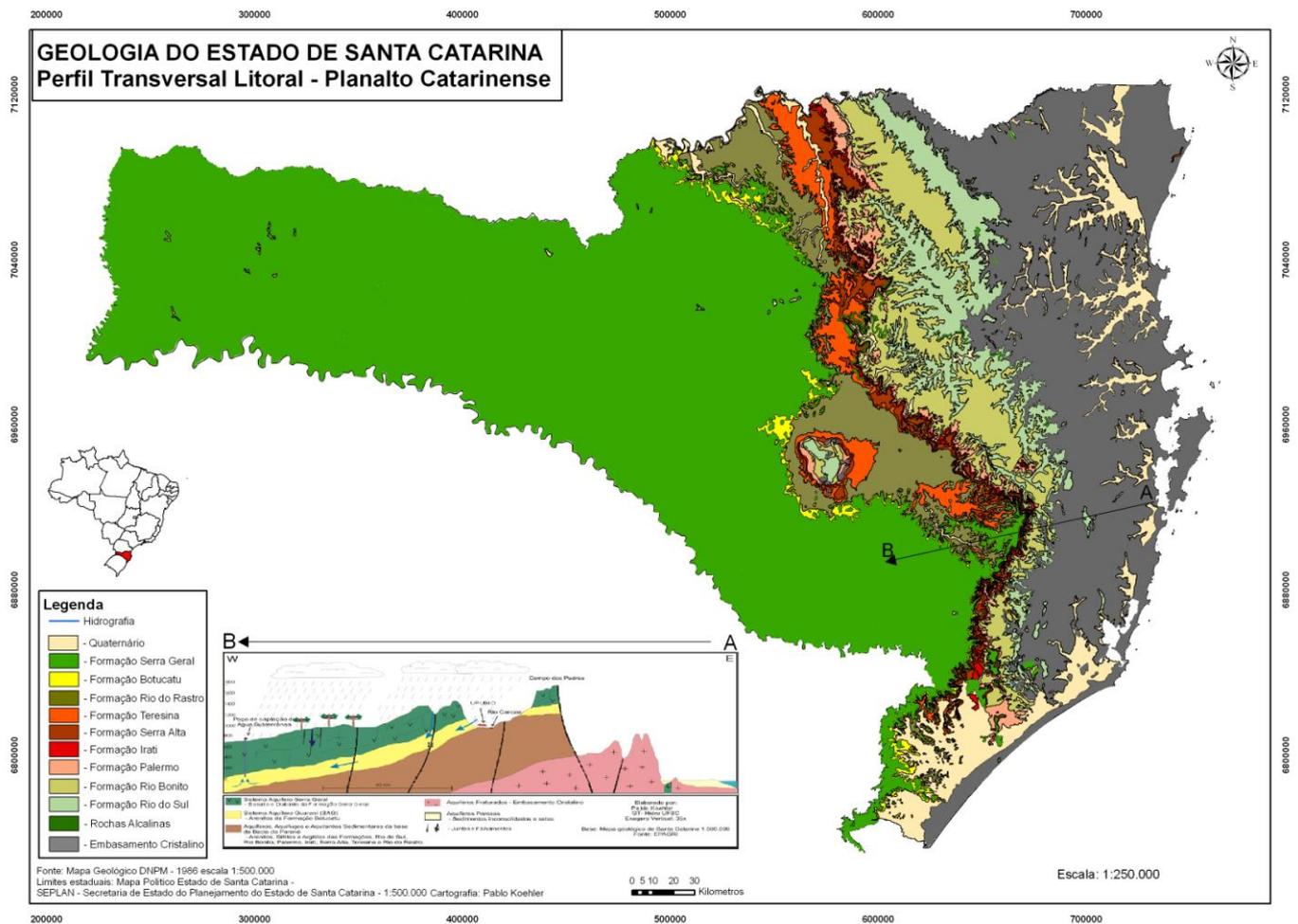
- □ Formação Rio do Rasto (Grupo Passa Dois): inclui dois Membros, Serrinha e Morro Pelado. O Membro Serrinha possui siltitos, argilitos e arenitos finos, bem selecionados, esverdeados, avermelhados e bordô. Caracteriza ambiente de transição entre depósitos de águas rasas e continentais. O membro Morro Pelado consiste em arenitos avermelhados, verdes e chocolate, em geral finos, com estratificação cruzada e plano-paralela. Ambiente de sedimentação estritamente continental, fluvio-deltáico (PETRI e FÚLFARO 1983). As rochas da formação Rio do Rasto afloram em regiões de relevo arrasado como fundo de vales e bases de encostas, é caracterizada por sedimentos finos, possui camadas ora mais siltosas ora mais argilosas. Tem coloração vermelha arroxeadada típica ou vermelho bordô que facilita sua distinção em campo, em seus afloramentos.

Na estratigrafia localiza-se acima da formação Teresina e abaixo da formação Botucatu, sendo que seus estratos superiores apresentam intercalações de camadas arenosas, indicando uma transição gradacional entre os sedimentos pelíticos dessa formação e os arenitos da formação Botucatu (figura 4).



**Foto 3:** O topo da formação Rio do Rasto observa-se sua coloração típica e a intercalação de camadas arenosas que formam textura diferenciada e caracterizam um contato gradacional com os arenitos sobrepostos.

Ao contrário dos arenitos, rochas pelíticas tem pouca capacidade de armazenamento de água, funcionando como aquífugos, ou seja, rochas pouco permeáveis que não permitem a passagem ou retenção de água. Por este fato várias nascentes ocorrem no contato entre os arenitos da formação Botucatu e os pelitos da formação Rio do Rasto, pois o primeiro funciona como uma esponja que armazena água e o segundo como um selante que impede a transferência da água armazenada para os estratos inferiores. Este fato faz com que a água que estava percolando pelo arenito encontre uma barreira, armazenando-se ou aflorando em forma de nascentes.



**Figura 7:** Mapa Geológico mostrando localização do perfil transversal A – B.

- Formação Botucatu (Grupo São Bento): é constituída por arenitos bem selecionados, finos e médios e com estratificação cruzada, indicando deposição eólica em ambiente desértico (MAACK1947). A Formação Botucatu é o segundo conjunto de rochas mais expressivo da área de estudo, é caracterizada por arenitos médios a grossos de tonalidade alaranjada e tem como característica marcante estratificações cruzadas de grande porte. Essas estratificações cruzadas são estruturas sedimentares típicas de rochas formadas em ambiente desértico, e nada mais são do que o perfil de paleodunas formadoras do antigo deserto denominado de paleodeserto Botucatu pelo professor Fernando de Almeida na década de 50. São facilmente observáveis em campo como, por exemplo, na Pedra da Águia, onde ocorrem belas exposições de estratos cruzados de 20 a 30m de espessura (foto 4).



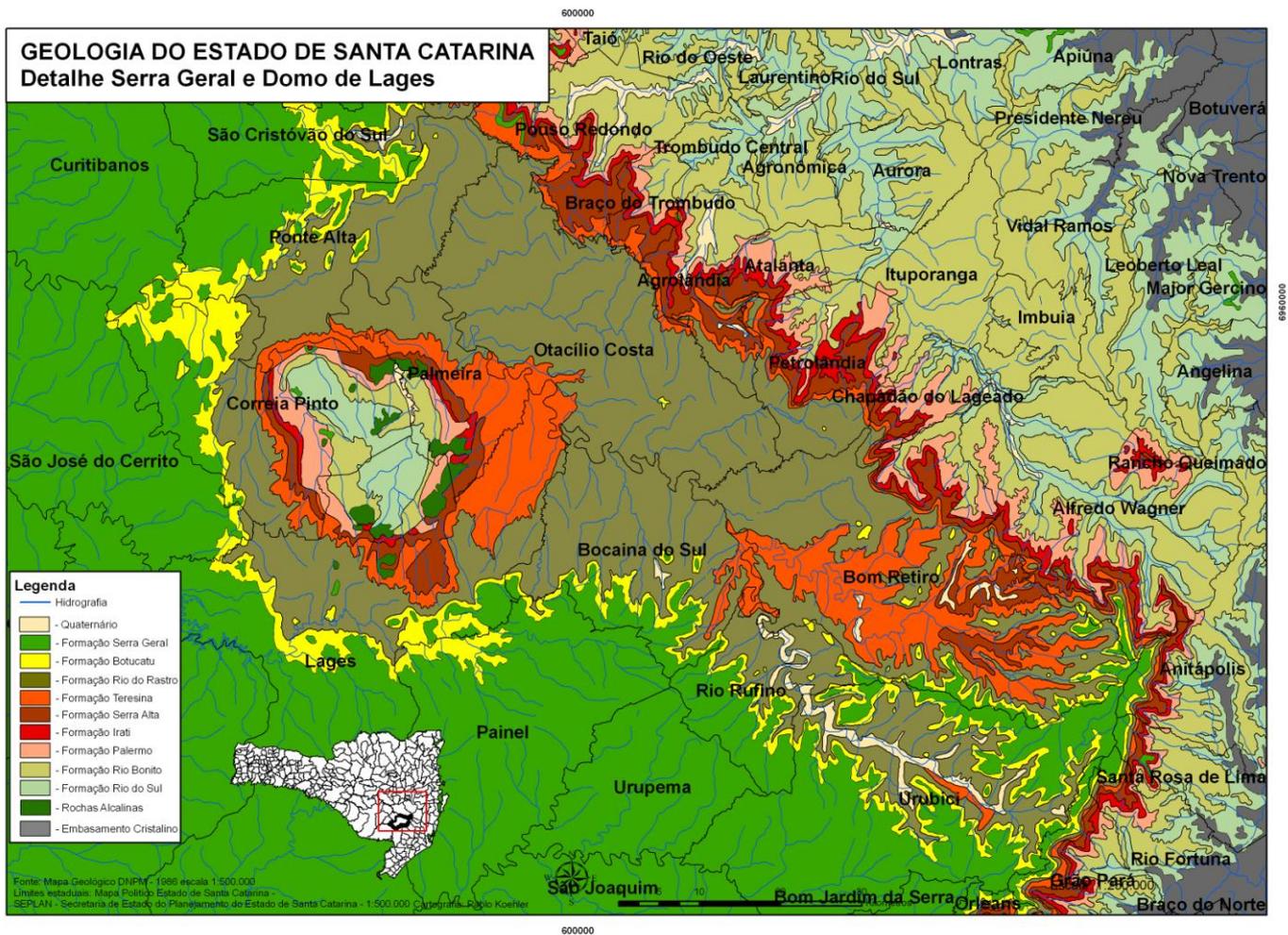
**Foto 4:** Vista frontal da Pedra da águia, Urubici - SC: afloramento do arenito Botucatu com estratificações cruzadas de dimensões próximas a 30m.

Na estratigrafia, o arenito Botucatu se localiza logo abaixo dos basaltos da formação Serra Geral e acima dos pelitos da formação Rio do Rastro. Apresenta com ambas, contato gradacional, ou seja, os pelitos da formação Rio do Rastro começam a apresentar camadas arenosas em seu topo até serem substituídos totalmente pelo espesso pacote de arenitos da Formação Botucatu, e no topo da formação Botucatu observa-se intercalações com basaltos até o momento em que este se torna a rocha predominante.



**Foto 5:** Afloramento de camadas do Fm. Botucatu (alaranjadas) intercaladas por basaltos da Fm. Serra Geral (esbranquiçadas) no centro e no topo da foto.

Os arenitos ocorrem formando encostas íngremes, sobre as quais se desenvolvem solos rasos, sobrepostos na maioria das vezes por florestas ombrófilas mistas. Possuem elevada porosidade primária entre os grãos de areia possibilitando a retenção de água nestes espaços vazios, caracteriza assim um potencial manancial de água subterrânea ou um aquífero poroso.



**Figura 8:** Mapa geológico mostrando em detalhe as áreas mais elevadas da Serra Geral e o domo de Lages, Neste recorte é possível notar a continuidade dos afloramentos da formação Botucatu (em amarelo), configurando possíveis Zonas de Recarga Direta.

A figura 8 mostra um detalhe do Estado onde existe um afloramento contínuo da formação Botucatu serpenteando por baixo da Fm. Serra Geral. Nota-se uma representativa área de afloramento desta formação nos municípios de Lages e Ponte Alta, o que pode representar risco de contaminação das águas subterrâneas dadas às condições de urbanização, atividades industriais, desmatamento e reflorestamento destas áreas.

- □ Formação Serra Geral (Grupo São Bento): constituída essencialmente de rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas. Recobre com desconformidade o arenito Botucatu em uma área de mais de 1.150.000 km<sup>2</sup> e alcança mais de 1000 m de espessura (MENDES e PETRI, 1971). A Formação Serra Geral é sem dúvida uma das

formações rochosas mais expressivas de toda a área estudada, ocupando na sua representação em mapa aproximadamente 50% da área total do Estado de Santa Catarina.

É formada por basaltos maciços de granulometria fina e cor cinza claro a escuro, ou até azulada apresenta variações texturais observáveis em campo de acordo com a sua posição no pacote de derramamento. Está sobreposta aos arenitos da formação Botucatu, caracterizando assim o estrato superior da sucessão de rochas encontradas na área.

Como as demais rochas encontradas no local, a formação Serra Geral sofreu pouca influência tectônica compressiva e está “horizontalizada”. Apresenta um padrão de fraturamento com direções preferenciais N-NE e W-NW, este sistema de fraturas coordena a direção geral de vales e drenagens.

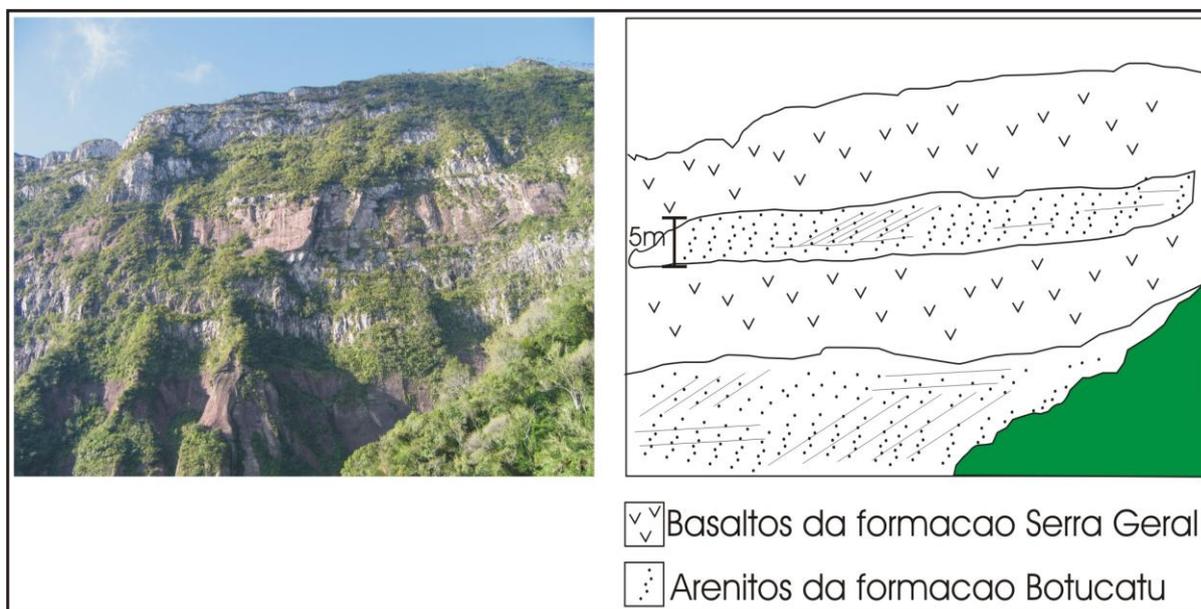


**Foto 6:** Vista do Canyon do Espraiado na área do Campo dos Padres, Urubici. Observa-se típica feição geomorfológica relacionada aos basaltos, à sucessão de eventos vulcânicos indicados pelas linhas tracejadas e os campos de altitudes formados no topo dos planaltos.

A partir das proximidades do Morro da Antena se pode visualizar no cânion do Espraiado os sucessivos derrames correspondentes aos diferentes eventos vulcânicos.

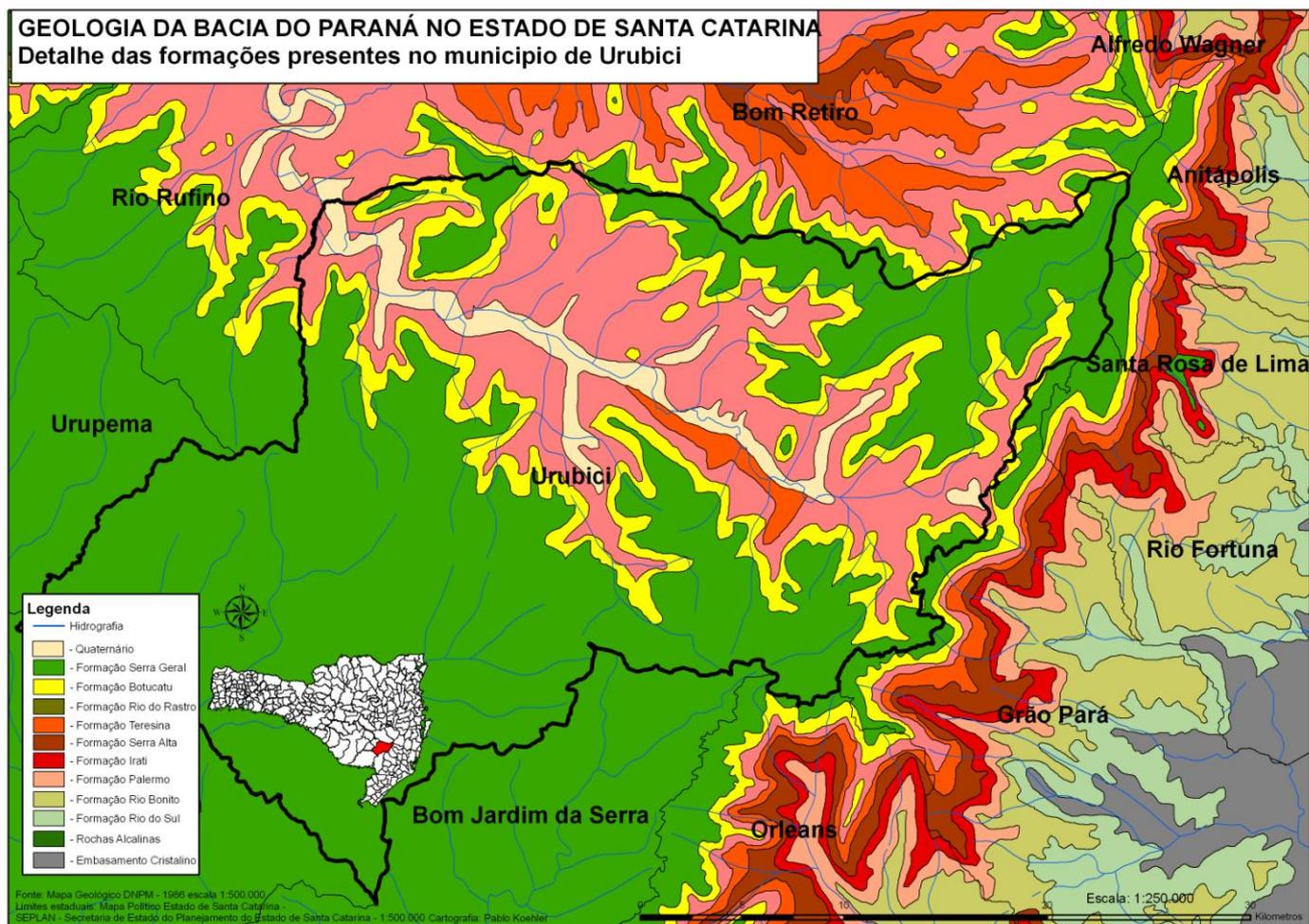
Estes eventos são aproximadamente 20 no local, e são responsáveis pela formação deste espesso pacote de basalto que vai desde altitudes de 1000m até 1600m (foto 5) totalizando um pacote de 400 a 500m de basaltos.

Na descida da Serra do Corvo Branco podem-se observar duas feições geológicas raras: Entre o primeiro e segundo derrame de basalto ocorre uma camada restrita de arenito, aprisionada entre duas camadas de basalto (figura 9). Tal fato indica que o ambiente desértico onde se depositou o arenito Botucatu perdurou ao longo da etapa inicial de vulcanismo; e cortando os arenitos inferiores observa-se um conduto vulcânico por onde extravasou o magma formador da seqüência Serra Geral.



**Figura 9:** Foto e perfil esquemático indicando a intercalação das camadas de arenito em meio a basaltos da formação Serra Geral. Vista a partir do topo da serra do Corvo Branco.

Os basaltos têm relação direta com as feições geomorfológicas observadas na região s, por ser uma rocha resistente ao intemperismo “sustenta” o relevo formando a escarpa da Serra Geral Catarinense, feição de rara beleza cênica.



**Figura 10:** Mapa geológico mostrando a distribuição da rede hidrográfica sobre as diferentes formações rochosas no município de Urubici

Na figura 10 nota-se que o município de Urubici encontra-se dividido territorialmente pelo rio Canoas e seus tributários. A incisão fluvial deste rio foi aprofundando seu leito nas camadas horizontais de rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Tendo suas nascentes na formação Serra Geral, o rio Canoas, no município de Urubici, percorre trechos sobre as formações Botucatu e Rio do Rasto, atingindo em poucas áreas a Fm. Teresina.

Os fundos dos vales encontram-se preenchidos por sedimentos recentes. São depósitos heterogêneos de origem colúvio-aluvial, ou seja, sedimentos carreados pelo trabalho dos rios misturam-se a materiais transportados das encostas através de movimentos de massa. A continuidade deste processo, ao longo do tempo foi causando um entulhamento de fragmentos no vale principal, formando planícies de inundação.

Estas planícies, em Urubici, chegam a mais de 2 km de largura e possuem em seu meio o principal agente erosivo que as criou, o rio Canoas e seus contribuintes.

Se, de acordo com a figura 8, separarmos o município em dois setores topográficos, um a margem direita do rio Canoas a N-NE e outro a margem esquerda a S-SW verificaremos condições distintas do ponto de vista hidrogeológico. O primeiro setor, localizado a norte, compreende a área do Campo dos Padres, onde processo erosivo fluvial isolou um fragmento dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral desconectando-os do conjunto hidrogeológico de grande porte. Não obstante, é nessa área onde se encontra nascentes de rios importantes do Estado, justificando o seu relevante interesse ambiental. No segundo setor, ao sul, os afloramentos da formação Botucatu encontram-se conectados ao Sistema Aquífero Guarani e, possuem áreas de exposição significativas, sobretudo acerca do rio Urubici. O rio Urubici pertence à bacia Hidrográfica do rio Canoas e na figura 8 localiza-se abaixo do nome do município. Os afloramentos da formação Botucatu, onde se localiza o Aquífero Guarani, são áreas desta rocha expostas à atmosfera. Estas áreas são inicialmente classificadas como ZRD por potencialmente representarem áreas frágeis e suscetíveis não só a carregar o aquífero com água como também a absorver agentes contaminantes.

As Zonas de Recarga Direta, para serem definidas como tal, necessitam de uma série de estudos de campo detalhados (avaliação da área, cobertura, declividade, etc.) para se conhecer a sua dinâmica e real contribuição ao sistema aquífero.

Contudo, a devido à parcial continuidade e linearidade das rochas da bacia do Paraná, a maioria dos afloramentos da Fm. Botucatu quando não são classificados como áreas de recarga são áreas de descarga. Isso mostra uma inegável conexão entre o ciclo das águas subterrâneas com as águas superficiais de bacias afluentes.

A despeito de aproximadamente 80% da recarga do aquífero Guarani ocorrer segundo Rebouças (1994) de forma indireta através do Sistema Aquífero Serra Geral Que o recobre, deve ser dada atenção especial às ZRD, pois, representam áreas suscetíveis a contaminação.

### 4.1.2 Geomorfologia

Quanto às características geomorfológicas da área de estudo pode-se dizer que são constituídas de formas de relevo que são originadas através do processo de recuo da escarpa da Serra Geral, distribuídas em embasamento sedimentar e ígneo das rochas pertencentes à Bacia do Paraná. O Serra Geral catarinense encontra-se fortemente afetada por falhas, fraturas e diques relacionados à atividade mesozóica do magmatismo Serra Geral.

Iniciado o processo de abertura do atlântico sul e, por conseqüência, a separação entre África e América do sul, a bacia do Paraná dividiu-se. Na área do Estado de Santa Catarina, supostamente, teríamos então o jovem oceano atlântico cobrindo parte do embasamento cristalino e, em perfil, o afloramento de grande parte da seqüência gondwanica encimada pelos primeiros eventos vulcânicos do magmatismo Serra Geral. (LOCZY, 1966)

#### 4.1.2.1 A Evolução da Paisagem e do Guarani

Com o passar dos tempos, o oceano atlântico continuou a alargar-se separando cada vez mais África e América do Sul. Os eventos efusivos de lavas basálticas intercalavam-se em momentos de estagnação e reativação e ocorreram principalmente entre 150 a 120 m. a. Loczy (1966) próximo a costa, embasamento pré-cambriano que outrora se encontrava rebaixado pelas forças distensivas da separação, começa lentamente o seu processo epirogenético positivo, ou seja, os blocos movimentados do embasamento cristalino, após sofrerem subsidências causadas pelo alívio de pressão na crosta, começam a soerguer com cadência.

A grande escarpa que se pronunciou na paisagem com a divisão da bacia, sofre incessantemente o ataque do intemperismo e dos processos erosivos que através das constantes mudanças climáticas transformam o relevo de forma distinta, como por exemplo, o trabalho dos rios e das chuvas em climas úmidos dissecando vales e promovendo a decomposição química das rochas, ou a ação do gelo e dos glaciares em climas glaciais, onde rios congelados afiam e desagregam as rochas por onde passam.

Em certos locais do planalto do interior alguns rios começam a incidir seu curso

sobre o relevo tabular, comumente associados às áreas de fraqueza da rocha subjacente.

Ao término de sua formação, o Planalto Basáltico resultou em um dorso, o reverso da “cuesta” que se formara com inclinações para oeste, sudoeste e sul, entalhado por vasta distribuição de rios de padrão consequente. Durante o processo de soerguimento da margem oriental da bacia, aconteceram encaixamentos dos rios que se dirigiam para oeste como o Rio Pelotas e seus tributários.

Findo os eventos de extrusão vulcânica da bacia do Paraná, a grande quantidade de lava derramada, agora solidificada, por sobre as rochas da seqüência gondwanica, exerce peso sobre a litosfera. De acordo com LEINZ (1949) uma área de cerca de um milhão de Quilômetros quadrados foi coberta pelas efusivas basálticas, representando um volume total de 650.000 quilômetros cúbicos.

No interior, ao longo do vale do rio Paraná, a bacia sofreu uma subsidência pós-derrame devido ao peso dos basaltos (LOCZY, 1966). Em Torres – RS os basaltos encontram-se ao nível do mar, atingindo uma profundidade de aproximadamente 750m. Segundo LEINZ (1978), em Presidente Epitáfio – SP, que se encontra a uma altitude de 145m. houve uma sondagem que atravessou mais de 1800 m de basalto. LEINZ (1949).

Na escarpa da Serra Geral catarinense a espessura dos basaltos atinge mais de 800 m. Contudo, encontram-se projetadas a mais de 1800 m. acima do nível do mar. Para LOCZY (1968) A grande elevação desta área da Serra Geral catarinense seria causada por efeito de um vulcanismo alcalino que ocorrera ao fim do cretáceo e início do terciário, evento esse, relacionado também com a elevação do domo de Lages.

De uma maneira geral, os processos geológicos, geomorfológicos e climáticos que configuraram a escarpa da Serra Geral ao longo do tempo são de grande complexidade, não obstante, uma das grandes expressões do resultado destes processos encontra-se na área da escarpa da Serra Geral catarinense onde segundo as palavras de LEINZ (1949).

*“As escarpas mais espetaculares constituídas de derrames basálticos, cujas espessuras são da ordem de grandeza de 1000 metros, situam-se entre São Joaquim e Lauro Muller e no Rio Grande do Sul, nos arredores de Caxias do Sul. Na escarpa de Santa Catarina podem ser individualizados 25 derrames, tendo o primeiro deles, o da base, uma espessura de 90 metros.”*

As formas verticais que a serra geral catarinense possui atualmente resultam de

um curioso processo geomorfológico chamado de recuo paralelo das vertentes PENCK (1953), onde a escarpa recua constantemente através de desmoronamentos sucessivos, perdendo conteúdo, sem que perca a sua verticalidade, ou seja, suavizada na paisagem pelos efeitos dos processos erosivos. Isto ocorre, neste caso, devido ao fato de existir uma rocha de maior dureza por sobre as sedimentares mais friáveis, a esta configuração dá-se o nome de *cornija*, termo de origem italiana que significa “coroa” em português.

Assim este encimamento das rochas mais resistentes da Fm. Serra Geral tende a resistir mais a ação dos agentes intempéricos, pronunciando-se na paisagem, enquanto que as rochas subjacentes, de menor resistência desgastam-se com maior velocidade ajudando a conferir um aspecto constantemente verticalizado à encosta ao longo do processo de recuo, ou erosão remontante. OLIVEIRA (1999).

Através deste processo histórico e evolutivo da Serra Geral Catarinense, podemos entender que a distancia atual de encosta da serra geral para a linha de costa do Atlântico é produto destes aproximados 160 Ma, quando se iniciou o processo de separação.

No interior da Serra Geral, segundo LOCZY (1968) existe um sistema de blocos de falha em mosaico devido à falhamentos posteriores a separação e aos últimos eventos do vulcanismo basáltico. Estes falhamentos que seguiram a se pronunciar até o fim do terciário, também causaram grandes movimentações nas rochas sedimentares da bacia do Paraná, fazendo com que estas rochas que anteriormente a separação dispunham-se horizontalmente uma sobre a outra e de forma continua, (fig. 5d e 5e) movessem-se de forma complexa através de blocos falhados. Ocasinando assim uma nova localização, tanto das camadas sedimentares como das vulcânicas e cristalinas.

Se lembrarmos que o aquífero Guarani localiza-se no interior da Formação Botucatu, e que esta rocha sedimentar representa uma das camadas que no passado repousavam horizontalmente umas sobre as outras, devemos lembrar também que esta formação, assim como as suas adjacentes, sofreram movimentos causados pela força da separação fragmentando-as. Desta maneira, podemos dizer que a extensa Formação Botucatu encontra-se amplamente dividida por falhamentos, a chamada compartimentação estrutural.

Isto representa que, geologicamente, o Sistema Aquífero Guarani não se apresenta de forma homogênea como se pensava mais sim como um grande mosaico

aqüíferos onde não necessariamente suas águas se comunicam, tampouco possui as mesmas propriedades físico-químicas.

#### 4.1.2.2 Os maciços cristalinos orientais

Segundo LOCZY (1976) o termo Borda Cristalina Oriental corresponde à continuação dos maciços, blocos e escarpas que se estendem desde a Bahia, passam pelo sudeste brasileiro e avançam até o sul de Santa Catarina, e cujas origens estão ligadas á tectônica quebrante do Terciário – esta seria responsável pelo soerguimento e basculamento do conjunto cristalino, acompanhado de fraturas e falhas que orientam a direção das grandes escarpas voltadas para sudeste.

Esta área encontra-se, generalizadamente, constituída por embasamento pré-cambriano e, na região Sul do Brasil ocorre desde o Estado do Paraná onde ainda recebe a denominação de Serra do Mar, segue por Santa Catarina, constituindo as Serras do Leste Catarinense e estreita-se ao sul deste mesmo Estado, na medida em que as formações da bacia sedimentar do Paraná aproximam-se do oceano.

Cerca de 25 Ma. após cessado o rifteamento (134-114 Ma) iniciou-se um levantamento de natureza epirogenética da crosta continental em resposta à passagem da Placa Sul-Americana sobre uma anomalia térmica (hot spot de Trindade). Este soerguimento neocretácico (89-65 Ma) foi acompanhado de intenso magmatismo de natureza alcalina e básica sobre crosta continental. Zalán (2005).

Estes maciços que se elevam próximos a costa de Santa Catarina constituem-se geologicamente de rochas do embasamento cristalino. Ao fundo da foto nota-se uma estrutura fortemente fraturada, formando vales. Estas fraturas e falhamentos intensificaram-se na costa atlântica após iniciado o processo de separação entre África e América do sul, elevando através de forças internas, partes do embasamento em forma de serras. Esta característica fragmentada das rochas cristalinas forma aqüíferos em meio fraturado. Especialmente neste local ocorre água subterrânea termal, este tipo de água, após alcançar grandes profundidades percolando pelas fraturas, ganha calor e retorna a superfície.

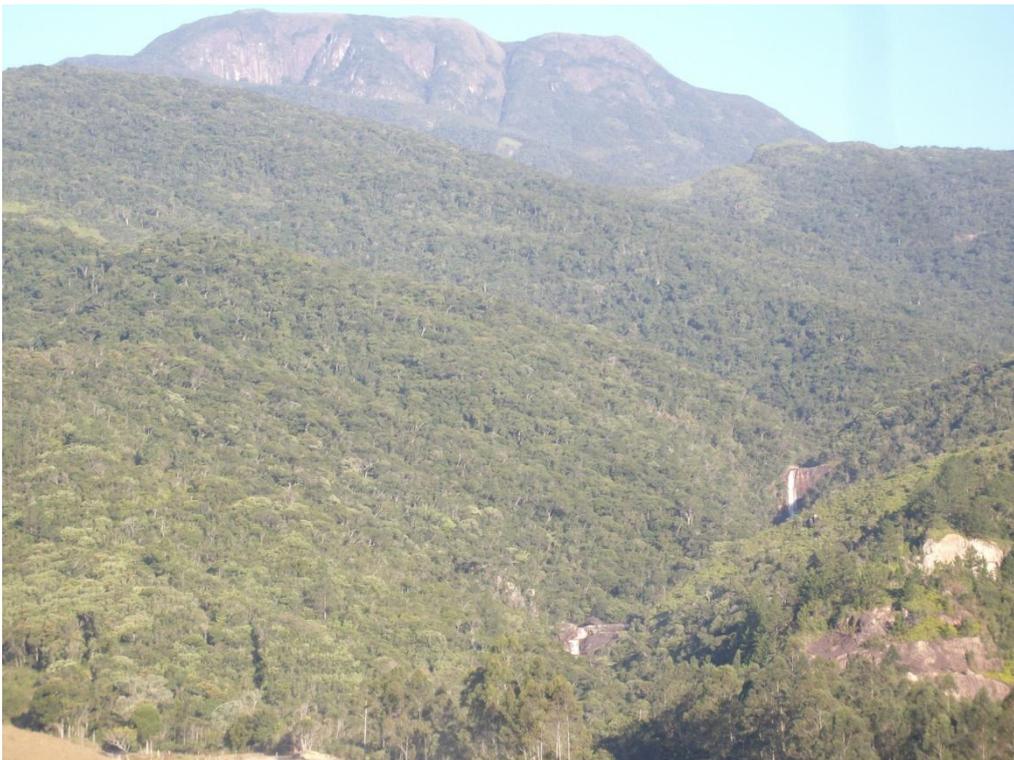


Foto 7: Município de Águas Mornas, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. Ao fundo, o pico do Tabuleiro a 1200 metros de altitude, um dos pontos mais altos das Serras do Leste Catarinense.

Durante boa parte do Cenozóico (58-20 Ma) a crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando-se corredores de grábens (áreas rebaixadas do embasamento cristalino movimentado, assemelham-se a vales de origem tectônica) paralelos à costa. Os remanescentes topográficos desta configuração pretérita constituem hoje em dia as partes altas das serras do Mar, da Mantiqueira e em Santa Catarina, as Serras do Leste Catarinense já modificadas pelas movimentações posteriores como o basculamento dos blocos. LOCZY E LADEIRA (1976).

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é conhecido por ser um dos maiores mananciais de água subterrânea do planeta, ocupa uma área total de 1,2 milhões de Km<sup>2</sup> e abrange no Brasil uma região que se estende desde o Rio Grande do Sul até o estado de Goiás (figura 8). Em Santa Catarina o SAG está diretamente relacionado aos arenitos da Formação Botucatu.

Sabe-se que a recarga natural deste aquífero ocorre segundo dois mecanismos:

O primeiro por meio de infiltração das águas de chuva nas áreas de afloramentos de rochas permeáveis da formação Botucatu, (Zona de Recarga Direta), e o segundo

mecanismo ocorre por filtração vertical ao longo de descontinuidades das rochas do pacote confinante (formação Serra Geral).

A pesar dessas duas formações (Serra Geral e Botucatu) ocorrerem ao longo de quase toda a extensão da serra geral em SC, existem locais em que não possui contato com o SAG, não interferindo assim diretamente na recarga ou na qualidade das águas subterrâneas desse sistema aquífero. Esse fenômeno se deve ao fato de algumas áreas estarem desconectadas do restante do SAG pela ação dos processos erosivos. O entalhamento do vale do rio Canoas, ao longo de um lineamento estrutural com direção aproximada NW, fragmentou a área do Campo dos Padres fazendo com que esta se tornasse apenas um testemunho isolado dos estratos superiores da Bacia do Paraná e do SAG.

No entanto, vale ressaltar que a região em questão tem grande influência sobre os recursos hídricos superficiais da região de Urubici e do estado de Santa Catarina pois nela se encontra as nascentes do Rio Canoas, importante manancial de água para a população. Este importante rio provavelmente tem sua regularidade de vazão influenciada pela descarga de águas subterrâneas armazenadas no substrato rochoso da região do Campo dos Padres e do Parque Nacional de São Joaquim. Levando em consideração essa afirmação se justifica a preservação destas áreas em suas condições naturais como uma potencial área de recarga para esse aquífero restrito que abastece a Bacia do Rio Canoas.



Foto 8: Vale do rio do Bispo, município de Urubici-SC. Afloramentos da Fm. Botucatu em áreas de nascente.

A crista na linha do céu na parte superior da foto consiste no limite do Parque Nacional de São Joaquim. Os afloramentos da formação Botucatu em áreas de cabeceira de drenagem associados a encostas revestidas de vegetação de porte florestal, representam áreas propícias a infiltração das águas superficiais nos poros dos arenitos, possibilitando a existência de Zonas de Recarga Direta do Aquífero Guarani.



Foto 9: A cobertura vegetal densa e o aspecto estrutural fortemente fraturado das rochas da Fm. Botucatu caracterizam pontos propícios a recarga do aquífero e a manutenção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Local: vale do rio do Bispo, tributário do Rio Canoas, Urubici - SC



Foto10: Município de Urubici a 1 km da serra do Corvo Branco na SC-439 rodovia que liga o município de Lages a Braço do Norte.

No primeiro plano, percebe-se, de forma escarpada, um afloramento da formação Botucatu com a orientação de suas camadas em diagonal, a chamada estratificação cruzada. Ao fundo, a faixa vertical de rocha aflorando entre a vegetação rupestre, representa o leito do rio Corvo Branco, com vazão diminuída devido à sazonalidade. A parte superior do afloramento, de coloração negra, mostra as rochas da Fm. Serra Geral e, abaixo, de coloração alaranjada, notam-se os arenitos da formação Botucatu em contato discordante com a rocha sobreposta.

Esta relação de contato direto entre as rochas da Fm. Botucatu com as magmáticas da Fm. Serra geral faz com que dois importantes sistemas aquíferos se comuniquem, formando assim o chamado SAIG/SG – Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, onde ocorre uma interação que ao longo do tempo foi importante para a manutenção dos dois aquíferos

O aquífero Guarani encontra-se de certa forma protegido pelo sistema Serra Geral que possui dimensões bem mais expressivas. As maiores espessuras da FM. Serra geral chegam a passar de 1000 metros em áreas próximas ao interior da bacia, enquanto que o aquífero guarani possui espessura média geralmente entre 60 a 160 metros nos afloramentos e pode atingir até 400 m. no interior da bacia.

Esta diferença estrutural e dimensional dos dois aquíferos ocorre devido à evolução geológica distinta. Como foi falado no capítulo anterior os arenitos de Botucatu são rochas sedimentares que se depositaram sobre as sedimentares da Fm. Rio

do Rasto. Ajustando aos poucos os seus sedimentos à topografia subjacente acumulando-se no interior do continente formando o grande deserto de dunas em movimento. A Fm. Serra Geral compreende aos derramamentos de lavas que cobriram o deserto e com isso soterraram a Fm. Botucatu. Esta sequência de eventos magmáticos que teve início a aproximadamente 160 milhões de anos, concomitante a separação América e África, possui suas maiores espessuras próximas ao centro da bacia devido a sua constituição plástica e a topografia da bacia elevada em suas bordas e rebaixada próxima ao seu centro.

4.1.2.3 As unidades geomorfológicas encontradas na área são:

- **SERRA GERAL:** encontram-se nas porções mais elevadas da área de estudo, apresentando formas de relevo tabular e verticais, embasadas pelos derramamentos de lavas básicas e ácidas que cobriram as rochas clásticas da Bacia do Paraná (IBGE, 1986).

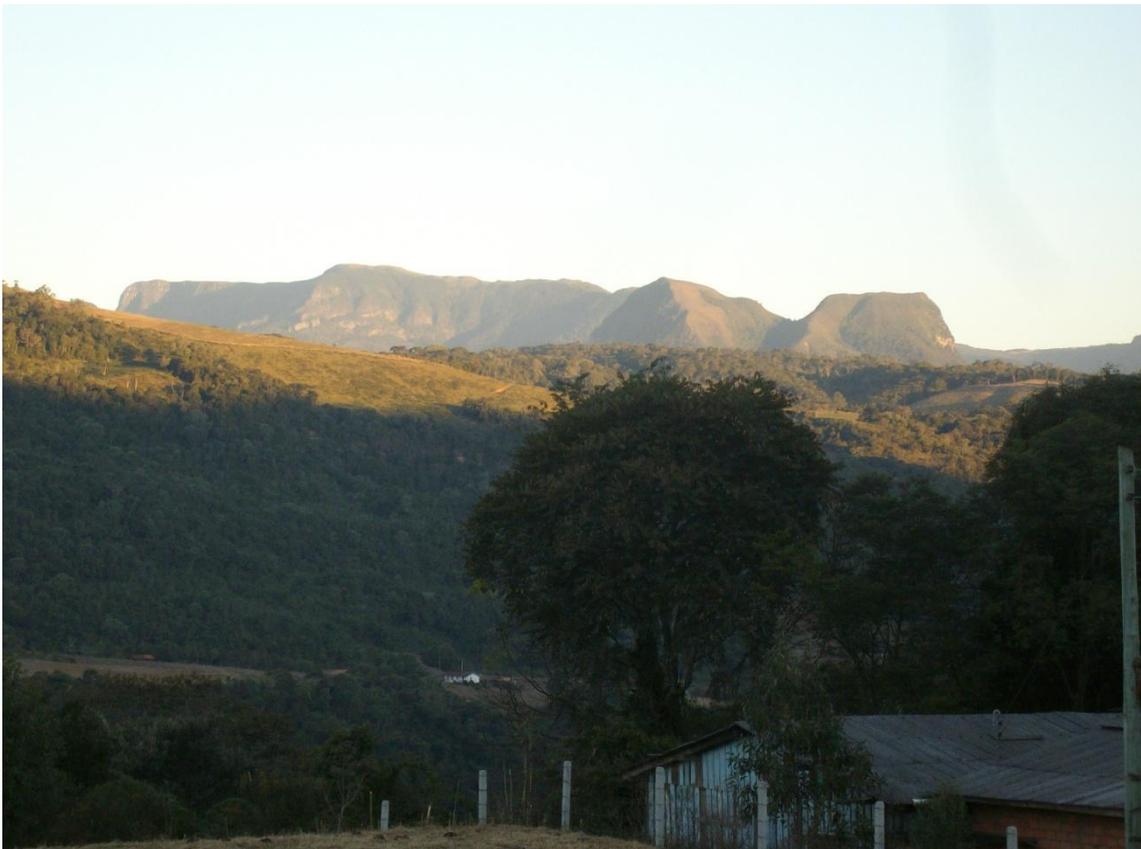


Foto 11: BR 282, município de Alfredo Wagner, ao fundo observa-se o morro da Bela Vista 1800 m de altitude.

Este pequeno planalto que se destaca no relevo representa o limite setentrional da área conhecida como Campo dos Padres, um dos pontos mais elevados do Estado. A área do Campo dos Padres consiste nas nascentes da maior região hidrográfica de Santa Catarina a do Rio Canoas. O Rio Canoas e seus tributários possuem relação íntima com aquífero Guarani, pois, ao longo de seu curso transpassa várias vezes por áreas de afloramento da formação Botucatu, podendo suas águas carregar o aquífero ou serem abastecidas pela descarga do mesmo aquífero.

Esta unidade compreende ao contato do relevo tabular do planalto catarinense com os terminais verticalizados de sua porção oriental. Apresenta desníveis abruptos, representando a frente da escarpa recuada (setor A, fig. 11), cujo sistema de fraturamento condiciona a sua dissecação através do encaixe de canais fluviais com grandes aprofundamentos, chegando a formar cânions como os que podem ser observados na área do campo dos Padres e dos Aparados da Serra.



Foto 12: SC 439, Serra do Corvo Branco, divisa entre o município de Urubici e Grão-Pará.

Esta foto mostra expressivo afloramento da formação Botucatu com aproximadamente 80 metros de espessura. A fenda que corta o afloramento verticalmente mostra o aspecto fragmentado desta formação. As fraturas e falhamentos que ocorrem nestas rochas servem tanto de obstáculo para a continuidade hídrica do Aquífero como também de acesso para que as águas superficiais penetrem em áreas mais profundas da rocha. No topo da fotografia observam-se, em tom esbranquiçado, basaltos da formação Serra Geral, evidenciando neste ponto a relação do aquífero fraturado Serra Geral com o aquífero Guarani.

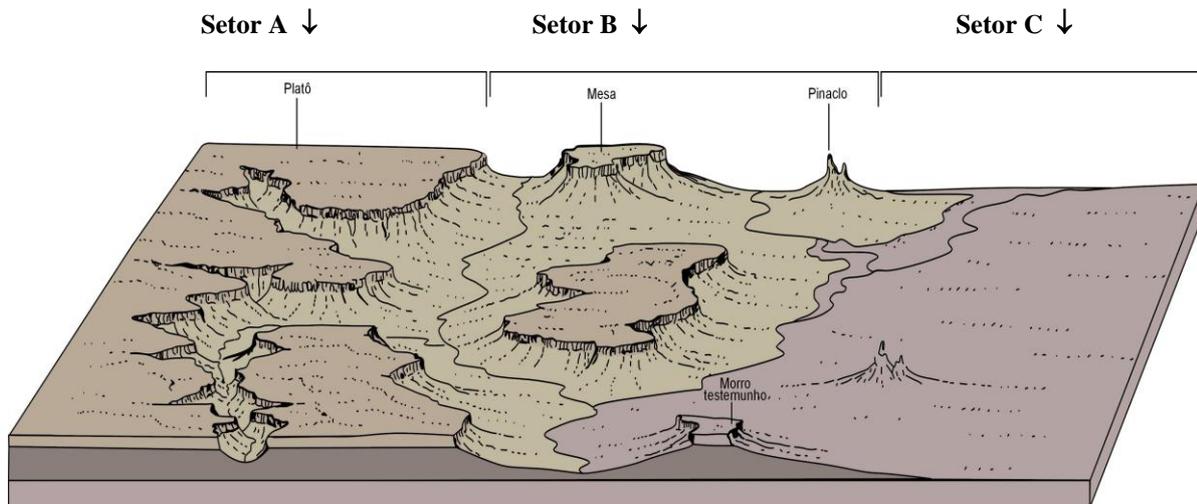
- □ PATAMARES DA SERRA GERAL: é a unidade que ocupa a maior parte do parque, constituindo os seus esporões divisores que vão se originando através dos processos pluvial e fluvial, moldando estruturas geológicas residuais que adentram na planície litorânea e atestam o sentido de recuo da escarpa ao longo do tempo. Morros testemunhos se apresentam com frequência nesta unidade (setor B, fig. 11).



Foto 13: Os esporões interfluviais dos Patamares da Serra Geral

Fortemente controlada pelo comportamento estrutural do seu embasamento, apresenta profundos entalhamentos fluviais e, em áreas onde a dissecação é mais intensa, predomina o afloramento de rochas areníticas da Formação Botucatu e efusivas da Formação Serra Geral LOCZY (1966).

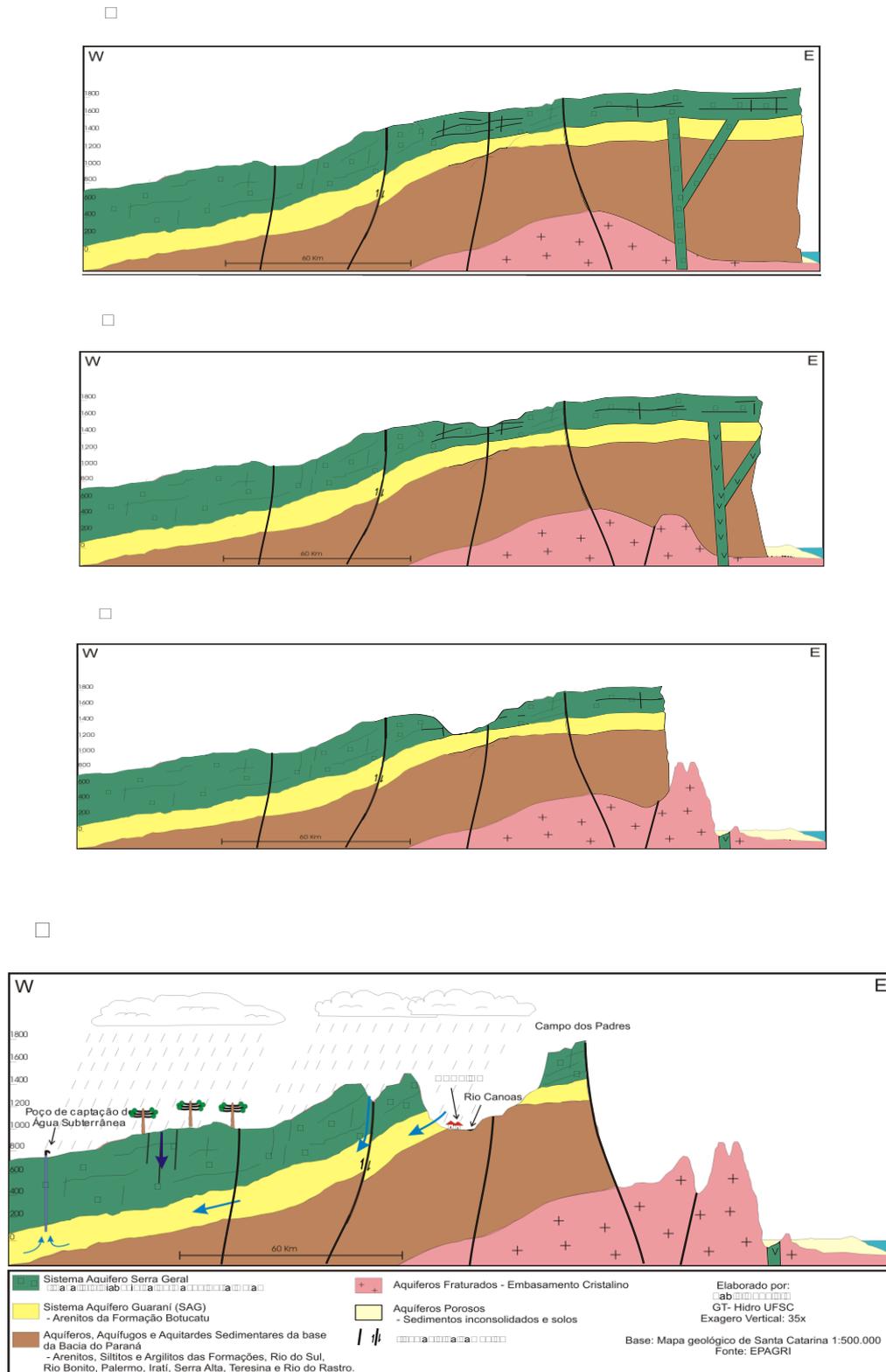
Em seu contato com regiões geomorfológicas topograficamente mais rebaixadas, observa-se a presença de formas de colinas e vales fluviais com aprofundamentos suaves.



**Figura 11:** Modelo de evolução regressiva de relevo tabular deixando relevos residuais que atestam o seu processo de recuo.

- □ UNIDADE PLANÍCIE COLUVIO-ALUVIONAR Esta Unidade Geomorfológica pode ser enquadrada, quanto à sua origem, como área de transição entre influências continentais e marinhas. Nas áreas de influência continental, predominam os modelados planos ou convexizados resultantes de convergência de leques coluvio-aluvionares de espriamento, cones de dejeção ou depósitos aluviais que formam áreas planas e terraços de várzea de acumulação fluvial. (setor C, fig. 11), Nas áreas de influência marinha, ocorrem terraços marinhos e baixos tabuleiros, cujos topos mostram marcas de remobilização eólica, ativa e, quando nas proximidades dos maciços cristalinos ocorrem dunas de cavalgamento, representando uma transição entre matérias de origem marinha com os mais finos, siltosos e argilosos, produto de alteração do embasamento cristalino.

## A história evolutiva da Serra Geral Catarinense



**Figura 12:** evolução do perfil atual da serra geral catarinense e dos maciços cristalinos costeiros. Detalhe do município de Urubici e distribuição dos sistemas aquíferos.

A figura acima representa o processo de evolução do relevo da Serra Geral catarinense desde o início da separação entre América do Sul e África até o presente. A seguir segue a descrição desta história evolutiva.

A) □ A Bacia do Paraná, na área onde hoje se encontra o Estado de Santa Catarina estendia-se por solo africano enquanto os continentes estavam juntos.

Após o início da separação entre América do Sul e África a aproximadamente 160 milhões de anos antes do presente, a Bacia foi dividida ficando uma pequena parte de suas rochas na porção continental africana e outra parte, bem mais expressiva, na América do Sul. O oceano Atlântico Sul começava a existir dispondo-se entre os dois continentes.

Com este evento origina-se na porção sul americana uma escarpa que configurava um corte em perfil das rochas da Bacia do Paraná.

Esta encosta abrupta recém estabelecida representaria o estágio inicial da forma de relevo que hoje conhecemos como Serra Geral.

A parte da Bacia que permaneceu no continente africano contém a mesma seqüência de rochas sedimentares cobertas pelas lavas do magmatismo Serra Geral, apresentando também fosseis similares.

B) □ Com o passar do tempo, esta grande escarpa que agora se encontra exposta a ação dos processos intempéricos começa a ser trabalhada por agentes erosivos que vão desgastando e modelando a encosta, iniciando assim o seu processo de recuo em direção ao interior do continente.

As transformações climáticas que iam se sucedendo ao longo dos milhares e milhões de anos que se passavam, determinavam os diferentes tipos de processos erosivos atuantes, podendo estes processos serem representados pela ação dos rios em climas úmidos, movimentação das geleiras em regimes glaciais, etc.

C) □ Contudo, o diversificado processo de evolução da Serra Geral não era apenas controlado pela ação do intemperismo.

As rochas cristalinas que configuram a base da bacia sofreram diversas movimentações, sobretudo nas proximidades da costa atlântica. Estas movimentações teriam sido causadas pela separação dos continentes que continuava a ocorrer.

Inicialmente, as rochas do embasamento da bacia, que encontravam-se fragmentadas em grandes blocos, teriam sido rebaixadas pelo alívio da pressão da crosta que fora causado devido às forças distensivas da separação. Posteriormente estes blocos moveram-se lentamente para cima formando as serras da costa atlântica brasileira como a Serra do Mar e as Serras do Leste Catarinense.

Esta nova topografia que se desenvolvia entre o litoral atlântico e a “paleo” Serra Geral condicionou a evolução do relevo de toda a porção oriental do Estado.

D) Atualmente, com o recuo da escarpa da Serra Geral, pode-se ver o afloramento das rochas do embasamento cristalino mais antigo. Estas rochas que outrora se encontrava soterradas pela seqüência de sedimentos da bacia do Paraná agora se pronunciam no relevo em forma de serras. Junto com o embasamento cristalino podemos observar também, ao longo do litoral, os diques de diabásio da Fm. Serra Geral estas são rochas pretas que apresentam-se em filamentos cortando o embasamento, os diques são intrusões de rochas magmáticas com um aspecto tabular vertical, que cortam as estruturas das rochas circundantes, é como se fosse o “duto” pelo qual a lava do interior da terra consegue acesso até a superfície. Neste caso podemos entender que estes diques de diabásio que vemos ao longo da costa catarinense e em costões da praia são um resquício de um tempo em que a bacia do Paraná cobria todo o litoral catarinense e o processo de separação de América do Sul e África iniciava-se.

Voltando dois slides percebe-se como estes diques que cortaram todas as rochas e alimentaram os derramamentos basálticos na parte superior da bacia, encontram-se hoje aflorando próximo ao litoral.

Entendendo o Aquífero Guarani como um manancial que encontra-se no interior de uma das camadas sedimentares da Bacia do Paraná, pode-se perceber que este perdeu área ao longo do processo de evolução do relevo, contudo representa atualmente um sistema aquífero de grande magnitude.

A Serra Geral em Santa Catarina relaciona-se com o Aquífero Guarani, não só pela sua história geológica e pela evolução do relevo, como também determina na atualidade o limite oriental deste aquífero e representa a mais extensa e continua área de afloramento do arenito Botucatu, Formação na qual se insere o aquífero.

Nesta figura fica visível que a recarga indireta do aquífero, através da infiltração pelas fraturas do aquífero fraturado Serra Geral ocorre em maior área do que as recargas diretas que associam-se aos afloramentos da Fm. Botucatu, contudo, as áreas chamadas de recarga direta possuem maior exposição não só ao aporte hídrico do manancial como também aos agentes contaminantes, justificando assim a proteção destas áreas.

#### **4.2 Elaboração de Instrumentos para educação ambiental como contribuição a gestão da água município de Urubici**

Produção de recurso pedagógico para a compreensão da origem e a atualidade do Aquífero Guarani, sua relação com os recursos hídricos e com o desenvolvimento da paisagem atual.

Este material busca através de ilustrações, mapas, figuras esquemáticas e textos simplificados facilitar a compreensão das dinâmicas que deram origem ao aquífero Guarani e de que maneira certos elementos do meio físico determinam até hoje as características deste recurso de grande valor.

A caracterização de aspectos da geologia e geomorfologia que configuram a Serra Geral busca contribuir ao entendimento do Aquífero Guarani como um fenômeno Geológico trabalhado pelos processos de evolução do relevo e atualmente relacionado com a distribuição das bacias afluentes às Zonas de Recarga Direta

O material referente a este resultado constitui-se de três apresentações digitais elaboradas em PowerPoint e encontram-se de forma impressa em anexo neste trabalho.

São estes:

**Historia da evolução da Bacia do Paraná:** Onde buscou-se caracterizar o arcabouço geológico e características estruturais que por fim deram origem ao aquífero guarani e a Serra geral catarinense. Este material busca localizar o leitor no fato de que o Aquífero Guarani é produto de uma sucessão de eventos geológicos e climáticos que configuraram, no passado, o local onde hoje habitamos.

Este produto ilustra quadro a quadro como se deu inicio a formação da bacia sedimentar do Paraná. De que maneira os processo de sedimentação e preenchimento

desta bacia foi ocorrendo ao longo do tempo, as transformações climáticas pretéritas e de que maneira estas oscilações eram representadas pelos diferentes tipos de sedimentos e também os eventos tectônicos e vulcânicos que finalizaram a formação da bacia do Paraná e deram início a uma nova configuração desta.

A apresentação é constituída de cinco slides e parte do momento em que os continentes da América do Sul e África ainda estavam unidos e o embasamento da bacia estava em formação, até aproximadamente 160 milhões de anos antes do presente quando se deu início ao processo de separação destes mesmos continentes e por consequência a fragmentação da bacia do Paraná.

**Historia evolutiva da Serra Geral Catarinense:** Este material objetiva elucidar através da abordagem de elementos geológicos e geomorfológicos, a origem e evolução da paisagem da Serra Geral Catarinense, assim como a sua relação com o Sistema Aquífero Guarani.

O Aquífero Guarani em Santa Catarina, possui seu limite oriental determinado pela existência da Serra Geral Catarinense, fazendo com que esta serra sirva não só como um delimitador da área do aquífero como também represente a maior extensão de afloramento das rochas que compõem o Aquífero Guarani. Desta maneira apresentando áreas de recarga direta ou descarga para este sistema aquífero, dependendo das características topográficas e hidrográficas destes afloramentos.

Esta apresentação é constituída de quatro slides e busca relacionar a origem desta forma de relevo com a atual distribuição dos recursos hídricos superficiais, já que a Serra Geral representa o principal divisor de águas do Estado determinando as bacias que drenam para oeste e as da vertente atlântica. Assim como condiciona a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos controlando a área de abrangência do aquífero e dos outros sistemas aquíferos da parte costeira do Estado.

Os aspectos da evolução da Serra Geral como forma de relevo pode ajudar-nos a entender as características atuais das bacias hidrográficas assim como os processos naturais que ainda ocorrem dentro destas mesmas bacias.

**Historia da evolução dos continentes:** Neste material, o intuito principal foi localizar o leitor em um contexto geológico, climático e paleoambiental que segue uma

escala temporal mais ampla e, que se possa ter uma idéia de que certos processos que formaram a constituição terrestre não são somente uma história do passado com também constituem o presente, ou seja, já aconteceram e estão acontecendo.

Dentro desta escala mais macro da realidade, buscou-se salientar as relações entre os aspectos do meio físico com as características do nosso ambiente atual e de que maneira estes elementos estão interligados em seu processo histórico.

Através da reconstituição das configurações pretéritas dos continentes e dos aspectos ambientais que seguiam, buscou-se introduzir conceitos que agregam elementos geológicos, geomorfológicos, climáticos e ambientais em geral para que se percebam as relações entre eles num âmbito planetário. Desta maneira, acredita-se que esta apresentação possa auxiliar na compreensão das transformações ambientais naturais do planeta Terra, assim como a formação das grandes cadeias de montanhas, origem dos oceanos, etc. Para que se possa descrever posteriormente as características particulares de fragmentos menores deste mesmo sistema, como o nosso continente, a Bacia do Paraná e até mesmo o Estado de Santa Catarina com sua Paisagem atual e a distribuição dos recursos naturais.

**A disposição da água em diferentes sistemas aquíferos:** Ilustração que mostra como a água costuma distribuir-se no interior das rochas, formando sistemas aquíferos com características variadas. Adaptou-se às rochas presentes no Estado de Santa Catarina e preferencialmente as que se enquadravam no contexto da área de estudo.

A elaboração desta figura contempla de forma simplificada as principais características dos diferentes sistemas aquíferos citados no trabalho e, como figura integrante da apresentação complementa a caracterização dos principais tipos de disposição da água subterrânea no Estado.

**Modelo de evolução regressiva de relevo tabular:** Bloco diagrama que consiste em padrão clássico do processo de evolução de relevos tabulares e os produtos originados através destes processos. Aplica-se diretamente a evolução do planalto, da Serra Geral Catarinense e das planícies sedimentares.

Esta figura foi desenvolvida com o intuito de elucidar o processo de evolução do planalto catarinense, da escarpa da Serra Geral que representa a frente dissecada deste planalto, os relevos residuais que vão sendo deixados na planície costeira como

testemunhos de uma configuração pretérita do relevo e também das áreas planas e cobertas por sedimentos advindos deste processo de esculturação do relevo.

Os textos foram elaborados com base nas referências bibliográficas descritas neste trabalho e tentou-se, através de uma simplificação dos termos mais utilizados em meio acadêmico, a construção de um material que auxilie na compreensão de algumas das dinâmicas de elementos geológicos do local para que um maior número de pessoas de distintas escolaridades e faixas etárias tenha acesso.

O principal objetivo desse trabalho de educação ambiental é abranger o maior número de pessoas possíveis e conscientizá-las dos problemas ambientais sobre os quais as mesmas possuem influência e responsabilidade.

## 5 CONCLUSÃO

Atualmente existem vários projetos a respeito do Aquífero Guarani e muitos são os interessados no estudo do mesmo, porém parte destes projetos está em fase inicial ou ainda não tornaram disponíveis as informações obtidas. Os dados técnicos necessários para elaboração de um programa para proteção e preservação do Aquífero Guarani ainda são muito escassos. Grande parte dessa falta de informações ocorre devido ao fato da grande complexidade e heterogeneidade do Aquífero e também ao fato de estar localizado sob oito estados brasileiros e quatro diferentes países, cada qual com diferentes legislações acerca das águas subterrâneas.

No Brasil, por exemplo, a constituição afirma que as águas subterrâneas são de propriedades dos estados. Porém, a maioria dos estados brasileiros possui uma legislação deficiente acerca das águas subterrâneas. Além disso, na Constituição Federal está estabelecido que os recursos do subsolo são de bens da União. E há ainda os problemas decorrentes dos conflitos de interesses e das legislações existentes entre os quatro países aos quais pertence o Aquífero Guarani.

Os aspectos ligados a geologia, geomorfologia hidrogeologia e mesmo hidrologia são tratados, neste trabalho, de uma forma integrada, onde por mais que haja capítulos específicos sobre cada tema, os elementos são constantemente associados e comparados uns aos outros. Pois se busca, sobretudo, nesta dissertação, evidenciar relações naturais que certos elementos do meio ambiente possuem entre si, e de que maneira isso determina algumas características atuais de cada um deles.

Desta maneira, esta dissertação buscou elucidar as relações entre O Aquífero Guarani, a Serra Geral catarinense e a ocorrência de Zonas de Recarga Direta em Santa Catarina, mostrando de que maneira estes elementos estão conectados e interagem entre si, desde um passado geológico remoto a atualidade.

Para se contribuir a uma proteção eficaz do Aquífero Guarani é necessária uma gestão integrada e articulada entre os quatro países envolvidos, para aperfeiçoamento do conhecimento técnico e avanço da legislação pertinente. Deve-se ser deixados de lado os interesses particulares, e buscar se trabalhar em conjunto com o objetivo único de proteger e preservar o Aquífero Guarani.

Com o trabalho conjunto e articulado das partes envolvidas, serão possíveis intervenções que levem em consideração o Aquífero Guarani em toda sua extensão. É

imprescindível que juntamente com a proteção do aquífero em questão, sejam realizados trabalhos de educação ambiental de toda população envolvida, conscientizando e informando a mesma das características e a verdadeira importância do aquífero.

Atualmente, devido à crescente demanda, é cada vez mais explícita a necessidade de preservação e proteção do Aquífero Guarani contra a exploração de maneira não sustentável de seu potencial hídrico e econômico. Dentro das diversas formas de ação com fins de preservação, este trabalho primou por dois enfoques principais: o primeiro, que concerne ao primeiro objetivo específico, buscou identificar aspectos da geologia e da geomorfologia do Estado que estão relacionados à ocorrência de zonas de recarga direta do Aquífero Guarani. Elaborando um estudo e materiais que elucidem como hoje se dispõem algumas destas zonas de recarga e qual sua relação com o desenvolvimento do relevo do Estado de Santa Catarina. E o segundo enfoque, concernente ao segundo objetivo específico, foi um modelo de ferramentas pedagógicas, aplicadas ao município de Urubici, buscando deixar para a comunidade recursos que facilitem a compreensão da temática do aquífero Guarani, preenchendo uma lacuna identificada pelas próprias instituições educacionais deste município através das intervenções do projeto TSGA.

Nesse intuito, esses meios se mostram aliados à prática da educação ambiental. Um dos propósitos desta dissertação foi dispor às escolas e aos professores da comunidade de Urubici materiais que facilitem a compreensão do Sistema Aquífero Guarani e suas Zonas de Recarga Direta. Valorizando construção de realidades baseadas em conteúdos de interesse dos alunos, estimulando a criatividade, o interesse, a opinião pessoal e a consciência crítica.

O material pedagógico criado foi entregue a lideranças comunitárias da área de educação do município de Urubici de acordo com um anseio da própria comunidade devido à escassez de materiais informativos sobre a temática do Aquífero Guarani.

A necessidade de informações atualizadas sobre o aquífero guarani, às comunidades que se utilizam das águas de locais próximos as zonas de recarga direta e indireta do aquífero ou ainda áreas de descarga, são de extrema importância a utilização racional dos recursos hídricos em Santa Catarina, pois afinal, as águas que fazem parte deste grande sistema aquífero possuem dinâmicas complexas dentro do ciclo hidrológico e hidrogeológico.

A complexidade do relevo e da geologia da Serra Geral traduz-se num importante e variado Patrimônio Geológico, onde sobre sua superfície dispõem-se uma

infinidade de recursos naturais. Tendo em vista a relevância do grande manancial de água subterrânea conhecido com Sistema Aquífero Guarani e a crescente necessidade de informações atualizadas sobre o aquífero guarani, às comunidades que se utilizam das águas de locais próximos as zonas de recarga direta e indireta do aquífero ou ainda áreas de descarga, são de extrema importância a utilização racional dos recursos hídricos em Santa Catarina, pois afinal, as águas que fazem parte deste grande sistema aquífero possuem dinâmicas complexas dentro do ciclo hidrológico e hidrogeológico.

Este trabalho, em um âmbito mais amplo, vem a contribuir para o processo de gestão social de bacias hidrográficas, segundo Silva (2005) a construção de instrumentos de educação ambiental são relevantes no intuito de diminuir os espaços vazios existentes entre as técnicas de gestão integrada de bacias e as comunidades usuárias de água na bacia. Neste contexto torna-se de grande valor a participação social assim como a necessidade da retroalimentação das informações dos usuários e dos técnicos envolvidos no processo. Neste sentido este trabalho agrega valor à continuação dos projetos e oficinas de capacitação social desenvolvidos em comunidades alocadas em locais de ocorrência Zona de Recarga do Aquífero Guarani em Santa Catarina.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. IIIº Simpósio Regional de Geologia. SBG-SP, Curitiba, Atas. 1:243 -275. 1981.

AMORE, L. & FREITAS, A. L. S. Importância do estudo e análise do tectônica rúptil na caracterização do Sistema Aquífero Guarani – SAG. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. Florianópolis, SC. 2002. CD-ROM.

ARAUJO,L.M.; FRANÇA, A.B. & POTTER, P. E. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.1995.

ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., POTTER, P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, **7**(3):317-336. 1999.

BARBERENA,D.C.A.; TIMM,L.L. Características dos mesosaurus e suas adaptações ao meio aquático. In: Holz,M. ; Ros,L.F. Paleontologia do Rio Grande do Sul. UFRGS/CIGO , Porto Alegre. 2000.

BARTEMUS, P. Environment and Development. London: Allen& Unwin, 1989.

BIGARELLA, J . J. et al, Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais, v.1, Florianópolis: Ed da UFSC, 1994.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. Contribuição ao estudo da formação Piraquera-açu, São Paulo: Boletim Paranaense de Geografia vol. 16/17 pp.17- 41. 1965a.

BIGARELLA J.J., SALAMUNI R., MARQUES FILHO P.L. Estruturas e texturas da Formação Furnas e sua significação paleogeográfica. *Bol. UFPR*, **18**:1-114. (Geologia). 1966.

BLOOM, Arthur, L. Superfície da Terra. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1970.

CAMARGO, A. Governança. In: TRIGUEIRO, A. Meio Ambiente no Século 21. Ed. Armazém do Ipê (Autores Associados), Campinas, SP, 4ª ed. p. 307-321, 2005.

CARLSON, R. Primavera Silenciosa. São Paulo: Melhoramentos, 1964.

CARSON, H. H., KIRKBY, M.J. Hillslope: Form and Process, Cambridge Univ. Press, 1972.

CASSETI, Valter, Elementos de Geomorfologia, Goiânia: Ed. da UFG, 1994.

CASTRO, Joel Carneiro, Coluna White: Estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

CASTRO, J.C.; BORTOLUZZI, C.A.; CARUSO JR., F.; KREBS, A.S.J. Coluna White: estratigrafia da Bacia do Paraná no sul do estado de Santa Catarina - Brasil. Secretaria de Estado de Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, Florianópolis, 1 v. (Série Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4) 1994.

CHRISTOFOLETTI, Antonio, Geomorfologia. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1974.

CLARK, B.T., et al. Watershed management and organization dynamics: nationwide findings and regional variation. Environmental Management 36(2):297-310. 2005.

FERNANDES, N.F., DIETRICH, W.E., Hillslope evolution by diffusive processes, Water Resources Research, vol. 33, no 6, 1997.

FROST, R.T.C., et al, The age and nature of the crystalline basement of the North Sea Basin. In: Congress on Petroleum Geology of the continental shelf of northwest Europe, 2.43-57, 1981.

FULFARO, V. J., SAAD, A.R., SANTOS, M.V. e VIANNA R.B., Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná, São Paulo, 12 (4): 590-611, 1982.

GASTMANS, D. E KIANG, C. H. Avaliação da Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul. Águas Subterrâneas, América do Sul v. 19. 2005.

GIARDIN, A.; FACCINI, U.. Complexidade Hidroestratigráfica e Estrutural do Sistema Aquífero Guarani: Abordagem Metodológica Aplicada ao Exemplo da Área de Santa Maria-RS, Brasil. *Águas Subterrâneas, América do Sul*, v. 18 2004.

GIARDIN, A., FACCINI, U.F. 2002 Heterogeneidades Faciológicas Hidroestratigráfica do Aquífero Guarani na Região Central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica e resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. Florianópolis, Anais, Florianópolis, ABAS. 2002.

GUERRA, A . T. , Dicionário Geológico Geomorfológico, Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GOUDIE, Andrew. *Geomorphological Techniques*, New York, ed Routledge, 1994.

GOUDIE, Andrew, *The changing Earth*, Oxford:Blackwell,1995.

GUERRA, A . J . T. , *Geomorfologia: Uma atualização de Bases e Conceitos*, Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1994.

HACK, J. T. *Interpretation of Erosional Topography in Humid-Temperate Regions*, New Haven: American Journal of Science, v. 258-A, 1960.

HERRMANN, M. L. P., ROSA, R. P. Relevô. In: *GEOGRAFIA DO BRASIL, Região Sul*. Rio de Janeiro, IBGE, 1990, v.2.

IBGE. *Levantamento dos Recursos Naturais*, Rio de Janeiro, v. 33, 1986.

LEINZ,V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. DNPM ,Rio de Janeiro, 52 pp. (Boletim DFPM, n. 21).

LOCZY, Louis de. *Geologia estrutural e introdução a geotectônica*, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1976.

LOCZY, Louis de. Evolução Paleogeográfica e Geotectônica da Bacia do Paraná e do seu Embasamento, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, boletim n. 234, 1966.

MAACK, Reinhard. Breves Noticias Sobre a Geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina, Curitiba: Ed. Imprensa Paranaense S. A., 1947

MACHADO, J. L. F. A Verdadeira Face do "Aquifero Guarani": Mitos e Fatos. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços/ II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Porto Alegre, 2002.

MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. de; CAYE, B.R. Evolução hidrogeoquímica dos aquíferos no oeste catarinense. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Florianópolis, ABAS. 2002. (Em CD)

MARTINS, S. R. . Los limites del desarrollo sostenible en América Latina - en el marco de las políticas de (re)ajuste económico.. 1. ed. Pelotas(RS): UFPEL, 1997. 135 p.

MELFFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDI, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Parana basin : and introduction. In: Piccirillo, E.M.; Melffi, A.J. (eds.) The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. USP, São Paulo;

MELHORN, W.N., FLEMAL, R.C., Theories of landform development, London, ED. Allen & Unwin, 1975.

MILANI, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 v.

MILANI É.J., FACCINI U.F., SCHERER C.M., ARAÚJO L.M., CUPERTINO J.A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. Bol. IG-USP, 29:125-173.

MÜHLMANN, H.; SCHNEIDER, R.L.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. ; NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. PETROBRÁS/DESUL, Ponta Grossa, 186 pp. (Relatório DESUL, 444).

O'CONNOR, J.M.; DUNCAN, R.A. Evolution of the Walvis Ridge and Rio Grande Rise hotspot system : implications for África and South América plate motions over plumes. *J. of Geophys. Research*, 95. 1990.

PENCK, WALTHER. *Morphological Analysis of Landforms*. Londres. McMillan. 1953.

PETRI, Setembrino, FÚLFARO, Vicente José, *Geologia do Brasil*, São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1983.

PERAYA, D. As formas de comunicação pedagógica “mediatizada”: o socioeducativo e o didático. *Educação & Sociedade*, n.59, ano XVIII, ago/1997.

PRICE, V. et al. *Volatile Organic Compounds in Untreated Ambient Groundwater of the United States*. U.S. Geological Survey, South Dakota, 1985.

REBOUÇAS, A. C.. Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. In: 80. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, Recife-PE, Anais, p.500-509. 1994.

RENNÓ, D.C., Discretização espacial de Bacias Hidrográficas, *in* INPE, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu, *Anais*, 485-492, 2001.

ROSA FILHO, E. F., HINDI, E. C., ROSTIROLLA, S. P., FERREIRA, F.J.F & BITTENCOURT, A.V.L.. 2003. Sistema Aquífero Guarani – considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. *Águas Subterrâneas*, 17:91-111.

SANTA CATARINA. *Atlas do estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, 1986.

SCHEIBE, L. F. *A geologia de Santa Catarina*. Florianópolis: Geosul, n. 1, ano 1, 1986.

SELBY, M. J. *Hillslopes materials and processes*, Oxford: Oxford Univ. Press, 1982.

SILVA, D. J., *Uma Abordagem Cognitiva ao Planejamento Estratégico do Desenvolvimento Sustentável*. Tese de Doutorado, UFSC, 1998.

SILVA, D. J., O Espírito da Lei Brasileira das Águas: Lei Federal 9.433/97. Canadá, 2005. 20p. Trabalho não publicado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

SILVA, D. J., Desafios sociais da gestão integrada de bacias hidrográficas: uma introdução ao conceito de governança da água. **In:** 74º Congresso de L'ACFAS, Université MacGill, Montreal, Canadá. 2006.

SILVA, Rosa Beatriz G. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no estado de São Paulo. São Paulo, 1983. Tese (doutorado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 133 p.

SOLLEY *et al.* Storage capacity and water use in the 21 water-resource regions of the United States geological survey. □Department of Economics, Long Beach, CA, USA 1983.

SUGUIO. Kenitiro, , Introdução à Sedimentologia, São Paulo: Ed. Da universidade de São Paulo, 1973.

TEIXEIRA, P. F. P. Governo, Governança e (Des)envolvimento. Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Lideranças (ABDL). p. 1-8, 2004.

THOMAS, Michael Frederic, Geomorphology in the Tropics, England: Ed. Wiley, 1994.

TIEDMAN, R.C, *et al*, Characterizing a ground water basing in New England Mountain and Valley terrain. *Ground Water*, 36(4):611-621. 1998

TRUDGILL, S. Limestone topography. John Wiley and Sons Inc., New York, NY, 1985.

UNCTAD. Trade and Development Report, Unctad, New York, Geneva 1997.

UNESCO. World Information Report 1997/98I, Paris, Unesco 1997.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. 1991. Delineation of wellhead protection areas in fractured rocks. *EPA Report /570-9-91/009*, Office of Ground Water and Drinking Water, USEPA, 144 pp.

VITALE, L. Hacia una historia del ambiente en América Latina. México: Nueva Imagem, 1983. 70p.

ZÁLÁN, P.V.; WOLFF, S.; VIEIRA, E.S.; CONCEIÇÃO, J.C.P.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná Basin. In: Leighton, M.W.; Kolata, D.R.; Oltz, D.F.; Eidel, J.J. (eds). Interior Cratonic Basins. AAPG Memoir 51: 681 – 708. 1990

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004b. p. 595-612.

ZALÁN, P. V. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269-300. 2005

## Sites

- **Agência Nacional de Águas.** Disponível em <<http://www.ana.gov.br/Bacias/>>.
- **Agência Nacional de Águas.** Disponível em <<http://www.ana.gov.br/Bacias/Parana/Bacparana.htm>]>.
- **Agência Nacional de Energia Elétrica.** Disponível em <[www.aneel.com.br](http://www.aneel.com.br)>.
- **Agenda 21** (1992) – Conferencia das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – UNCED/Rio de Janeiro, RJ;
- **Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.** Disponível em <<http://www.abas.org>>.
- **Brasil. Lei N° 9433** sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos de 27 de abril de 1999. Legislação Federal;
- **Brasil. Lei N° 9795** sobre a Política Nacional de Educação Ambiental de 27 de abril de 1999. Legislação Federal;
- **Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução N° 15** de 11 de janeiro de 2001. Legislação Federal.);

- **EMBRAPA**.Disponível<<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/aguasub.com>
- **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> .
- **Leinz, Viktor e Amaral; Sérgio Estanislau** - Geologia Geral 8. ed. rev. e atual. São Paulo: Comp. Ed. Nacional, 1980;
- **Projeto Aquífero Guarani**. Disponível em <<http://www.aquiferoguarani.hpg.com.br>>.
- **SCOTese, Paleomap Project** [www.earthhistory.com](http://www.earthhistory.com), 2002.

## **ANEXO 1**

## **ANEXO 2**

## **ANEXO 3**

## **ANEXO 4**

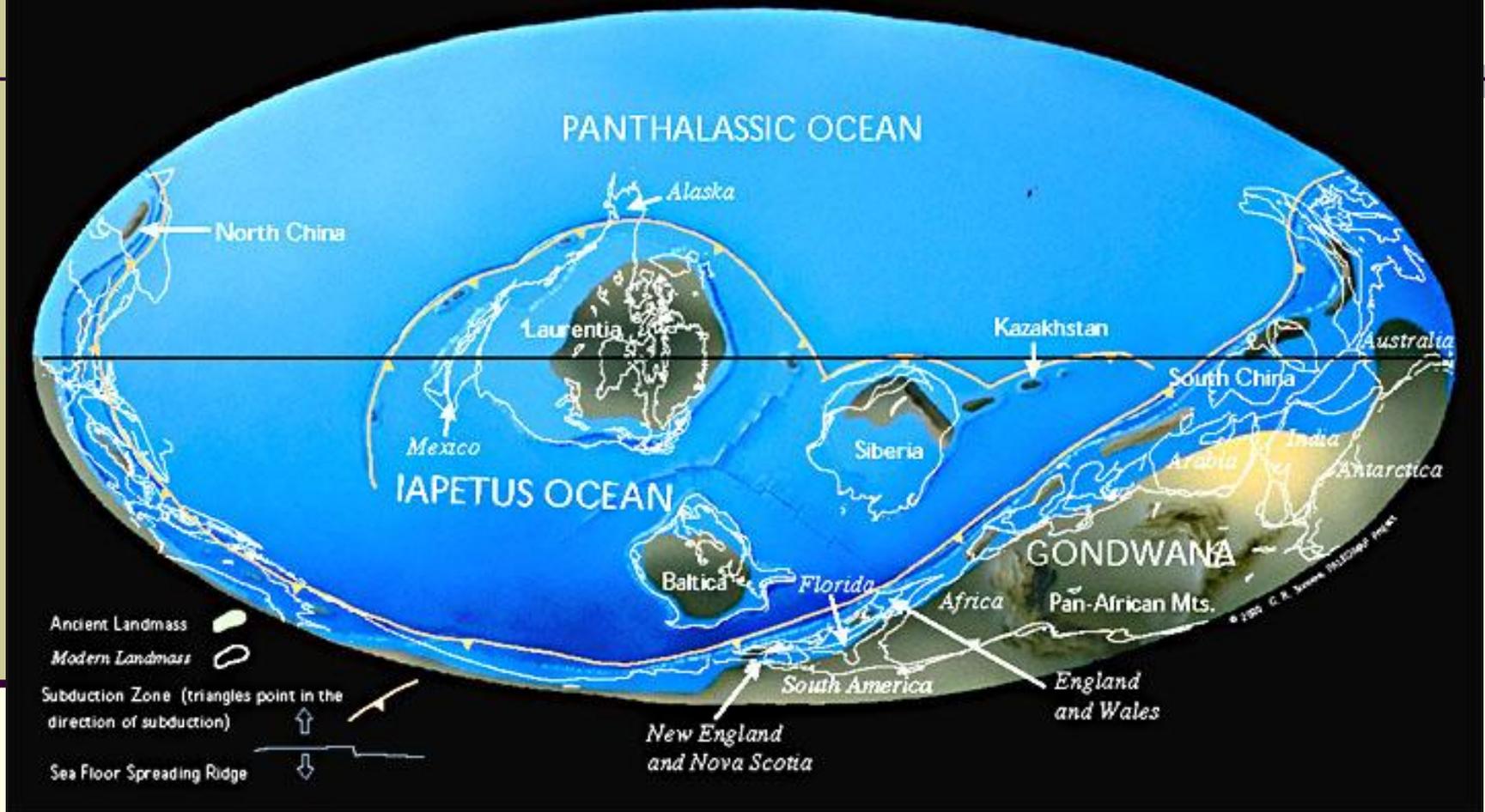
## Anexo 5

## Anexo 6





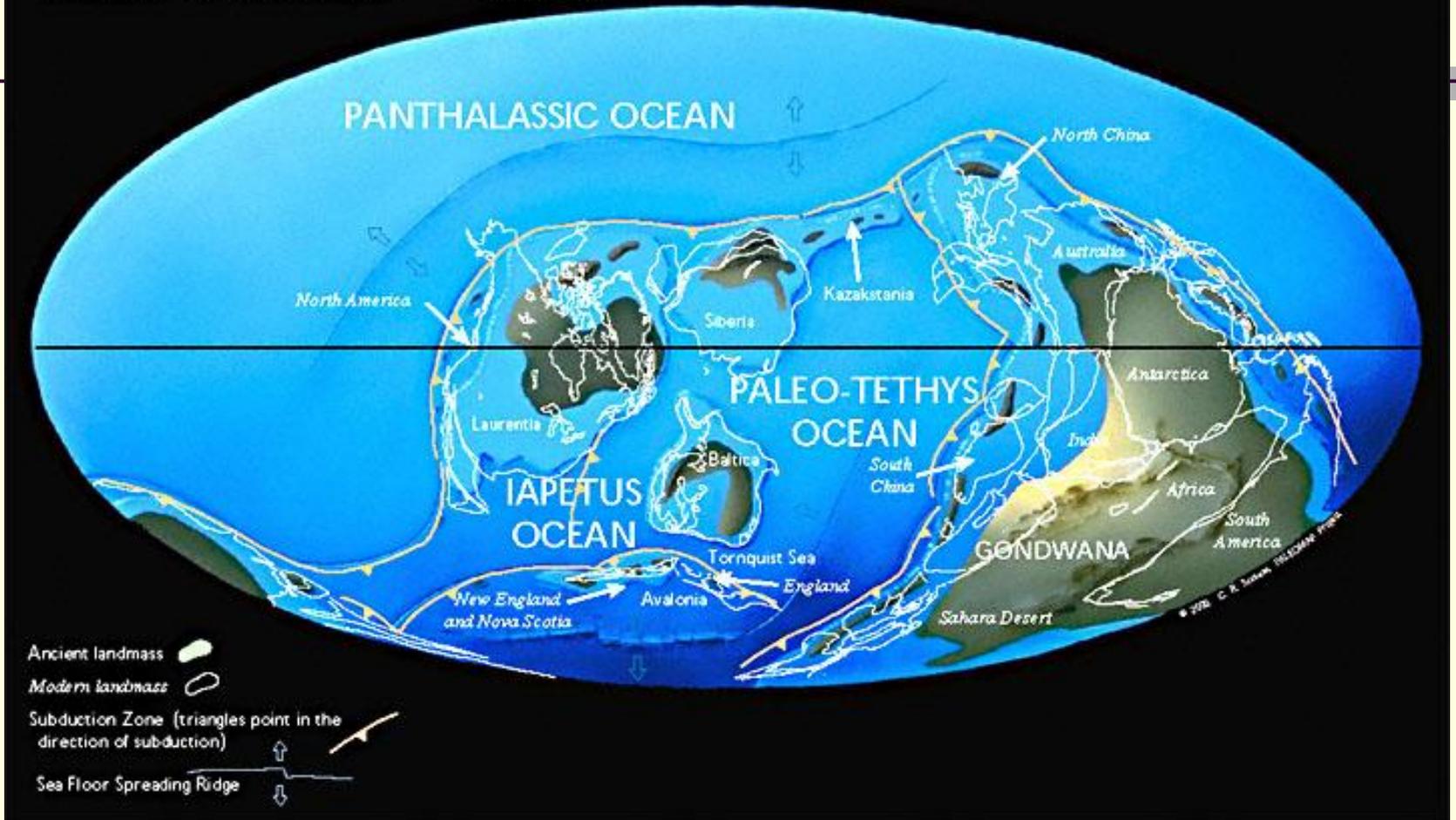
# Late Cambrian 514 Ma



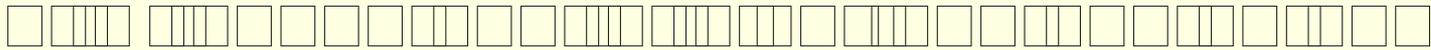
Ao longo do cambriano aparecem conchas em grande numero no Planeta. Continentes se encontravam inundados por mares rasos O supercontinente de Gondwana abrangia a maior parte do planeta ao sul



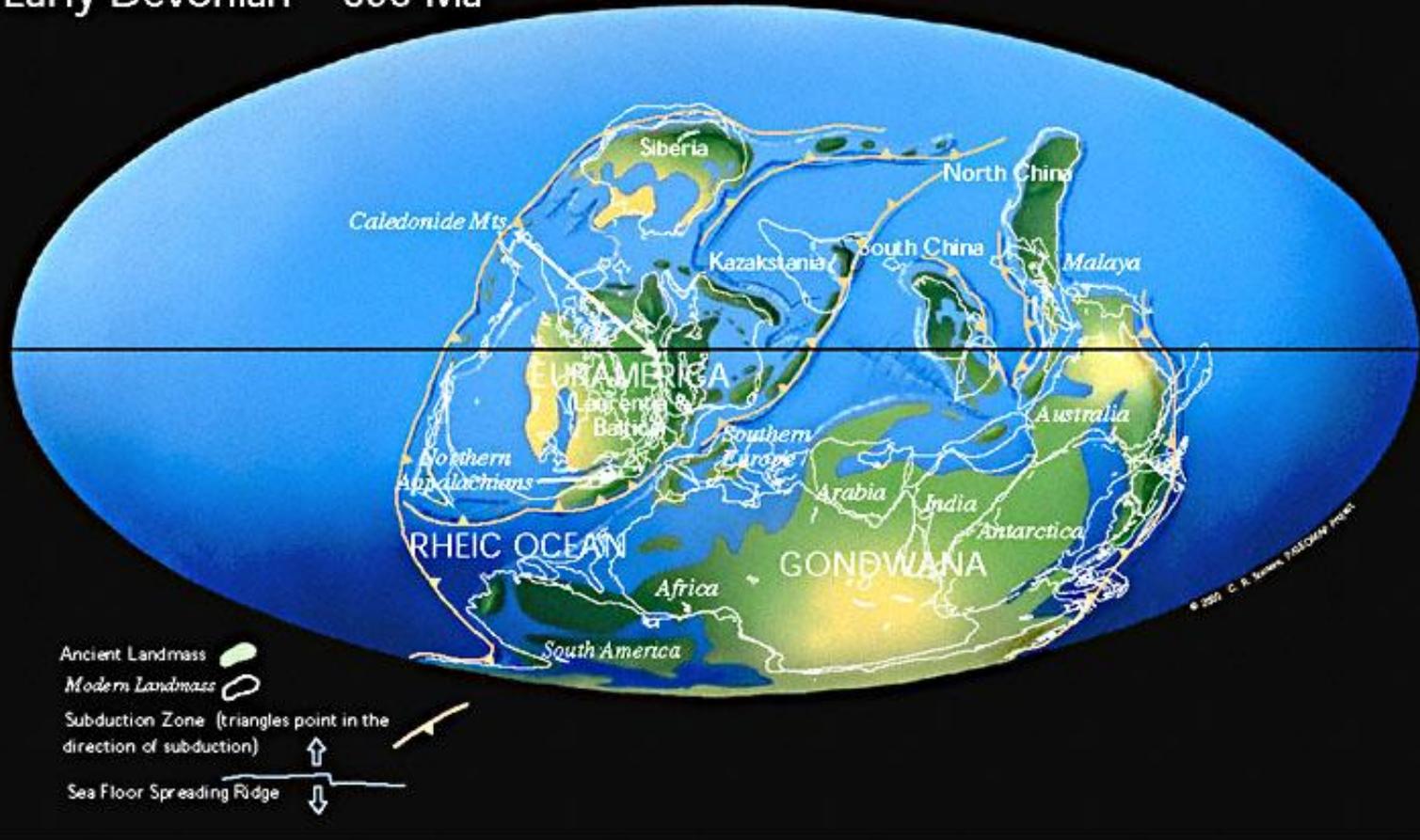
# Middle Ordovician 458 Ma



Mares antigos separavam os continentes emersos de Laurentia, Sibéria e Gondwana. O fim do Ordoviciano foi um dos momentos mais importantes da história da vida na Terra, marcando o início da extinção em massa do Ordoviciano.

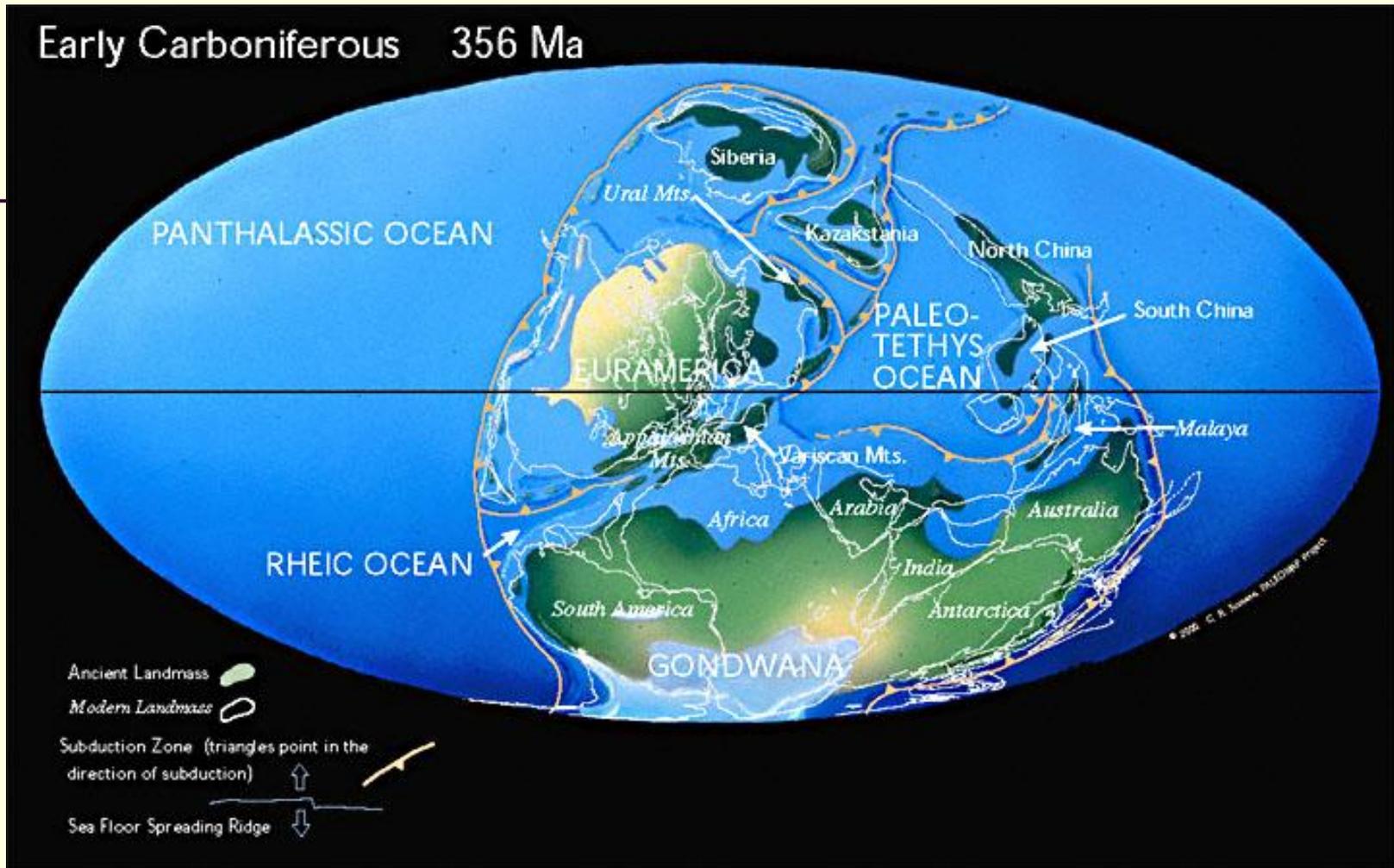


# Early Devonian 390 Ma



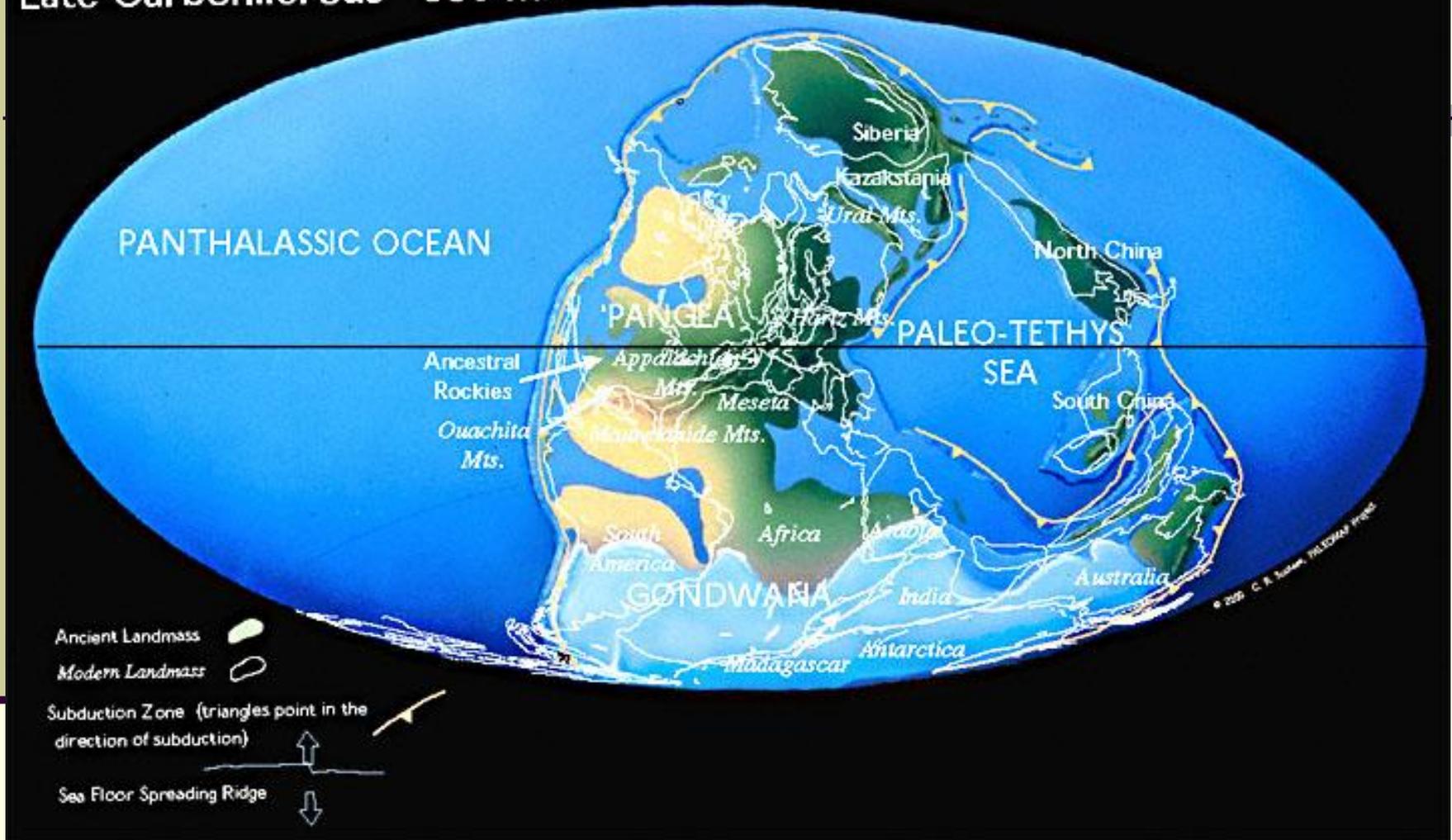
Os oceanos antigos como o Atlântico e o Índico estavam a se formar. Florestas crescem pela primeira vez nas regiões tropicais cobrem parte da América do Norte. Escarpamentos e montanhas se elevam. Primeiros sedimentos das bacias oceânicas se depositam. A vida marinha continua a diversificar-se.

# Early Carboniferous 356 Ma



a i c i c a b , c a a i c  
c i a a a a a i c a  
c i a a a a a a i c a ,  
i c a , i c a , i a , a a a c a  
c a a a c a a c a i a a a c  
a a c a c a a c c , b a a  
a a a i a a

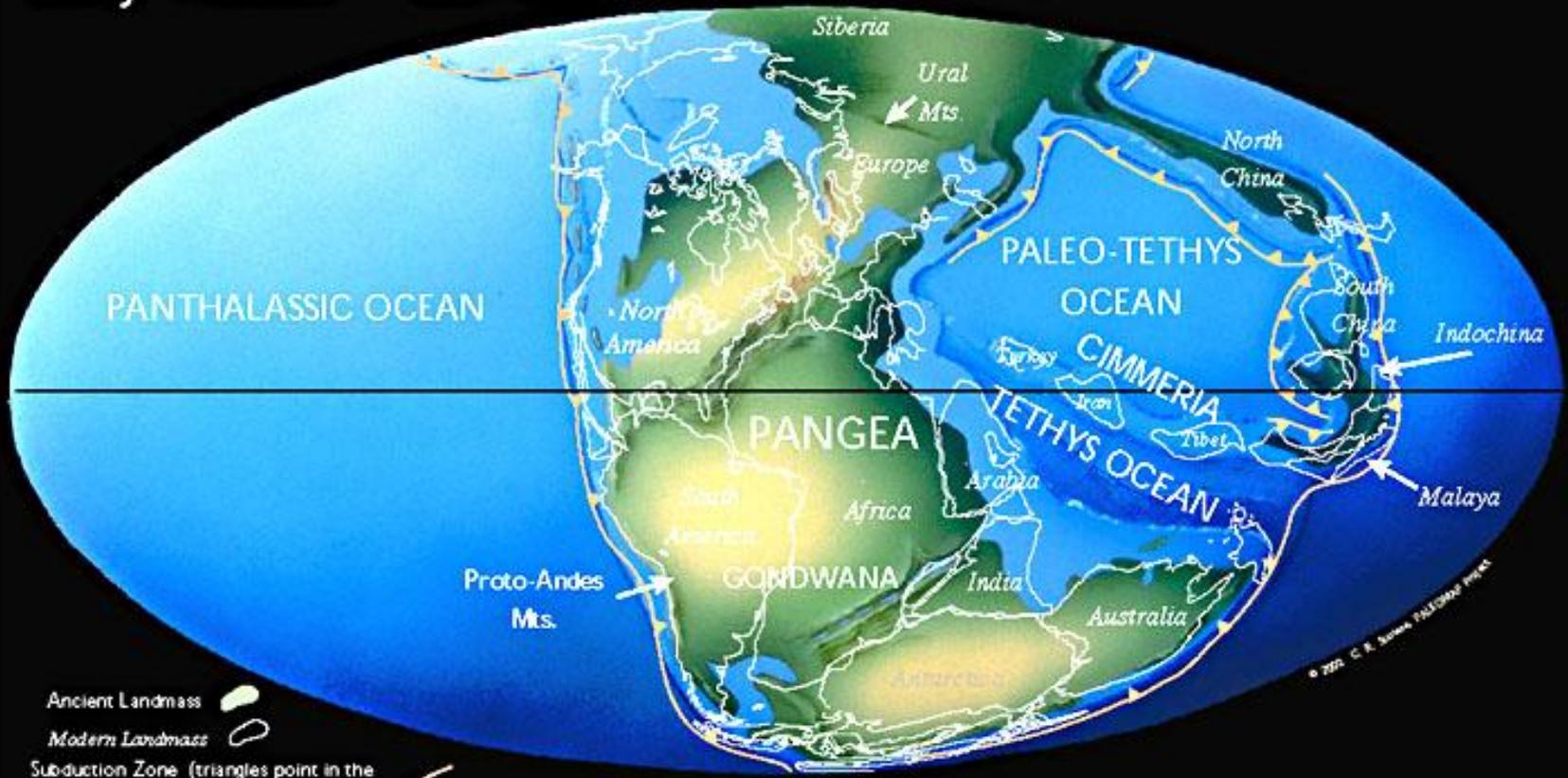
# Late Carboniferous 306 Ma



As placas tectônicas do Norte colidiram com o Gondwana para formar a parte oeste do Pangea. O gelo cobre grande parte do hemisfério norte, a partir da região polar até a faixa da equatorial.



# Early Triassic 237 Ma

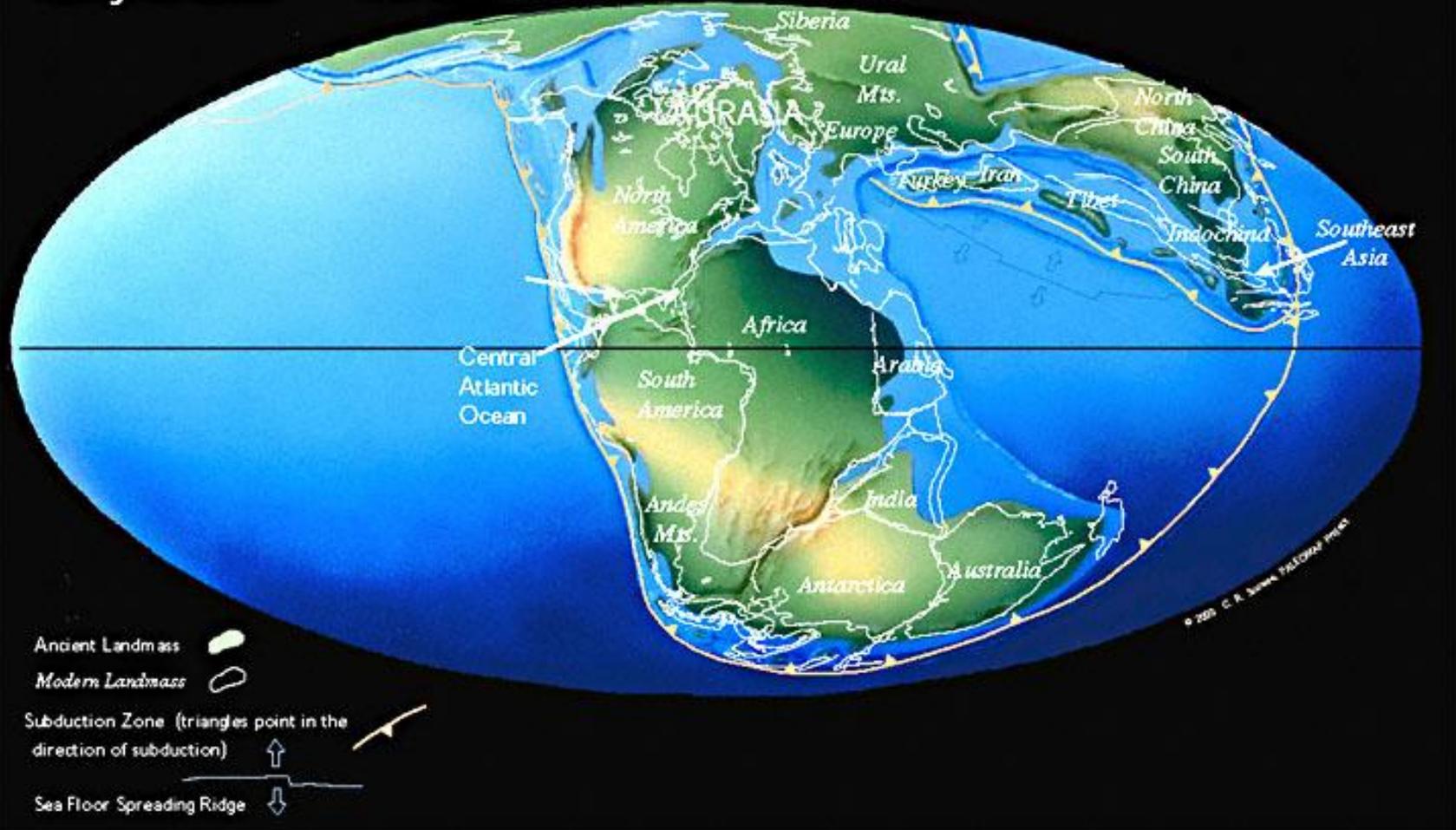


Ancient Landmass   
 Modern Landmass   
 Subduction Zone (triangles point in the direction of subduction)   
 Sea Floor Spreading Ridge 

© 2000 C. R. Scotese, Paleogeographic Project

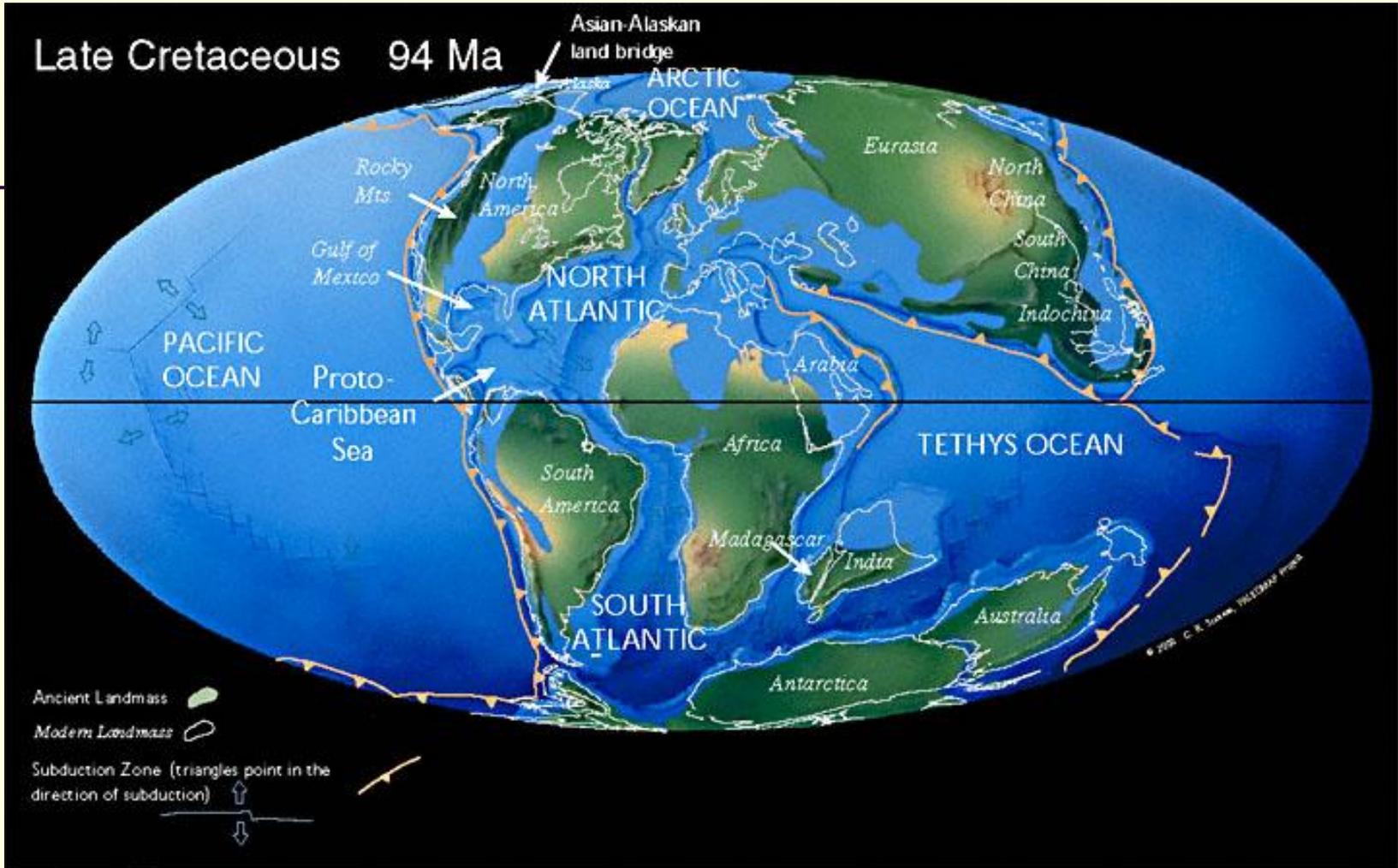
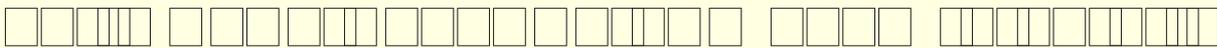
c i a a c a c i ado, permitiu que animais terrestres migrassem de um para outro da terra i a c a i i i a a a a i i i a. a i i a a a a a de Tethys.

# Early Jurassic 195 Ma



Os continentes da Laurasia e da Gondwana se juntaram e, o extenso mar de Tethys separava os continentes do norte do Gondwana. Pangea permanecia intacto, porém, os primeiros movimentos tectônicos estavam sendo sentidos. As cordilheiras dos Andes e Montanhas Rochosas iniciam o seu processo de dobramento.

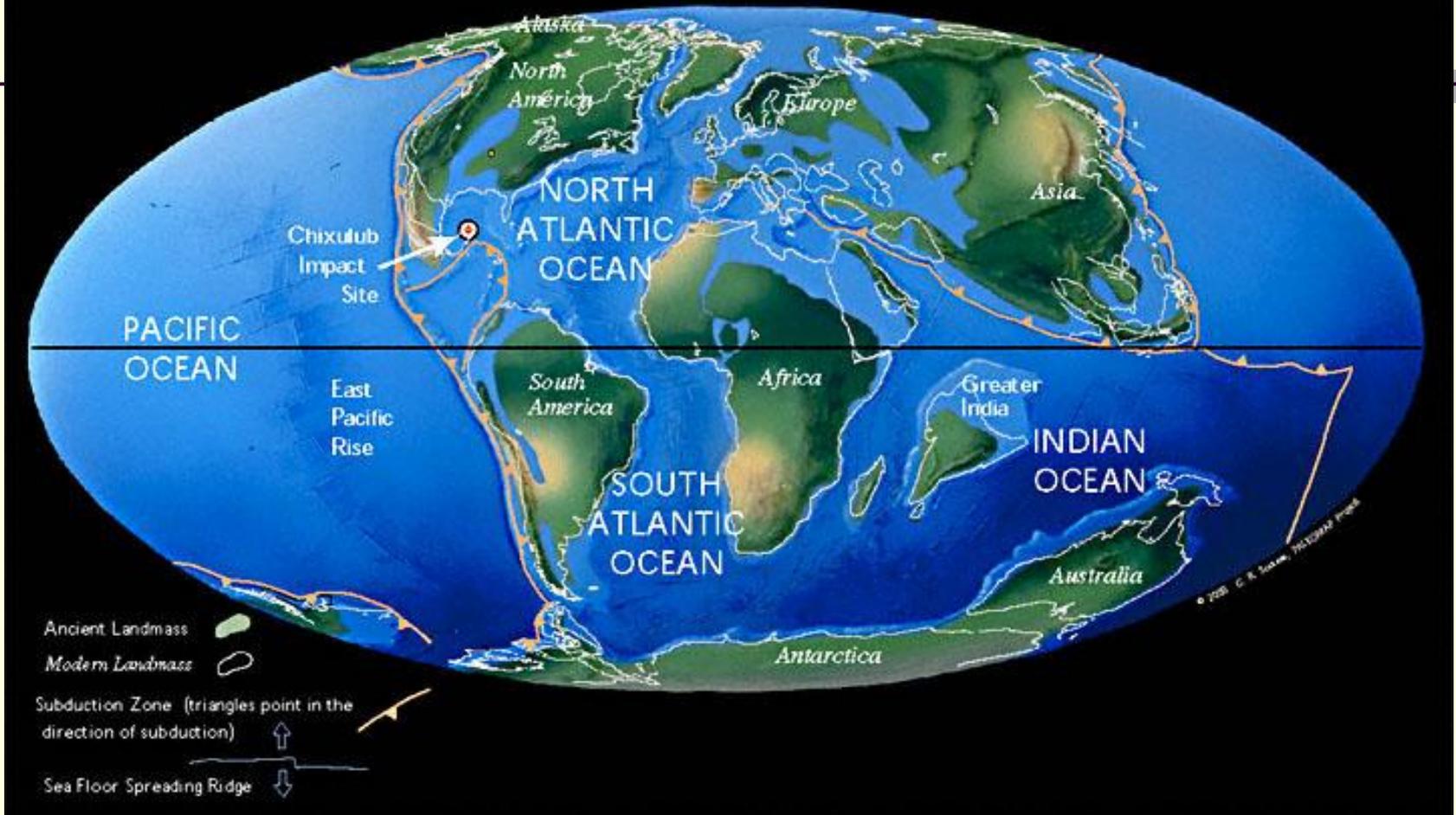




ic sul se abriu. A Índia se separou de Madagascar e a América do Sul se separou da América do Norte. Nota-se que a Europa ainda está conectada com a Ásia e a América do Sul permanece ligada à América do Norte. Soerguimento das Montanhas Rochosas.

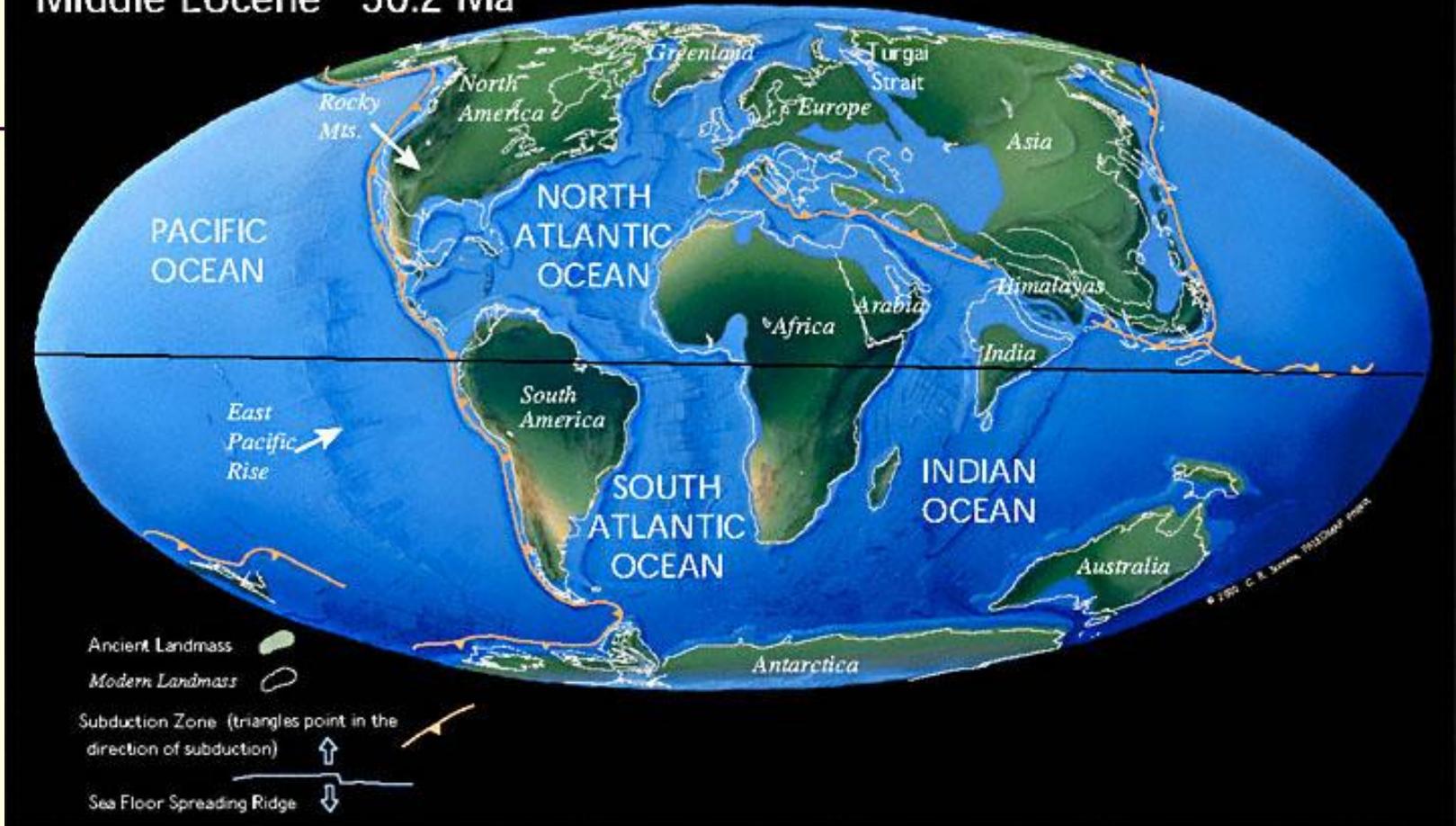


# K/T Boundary 66 Ma



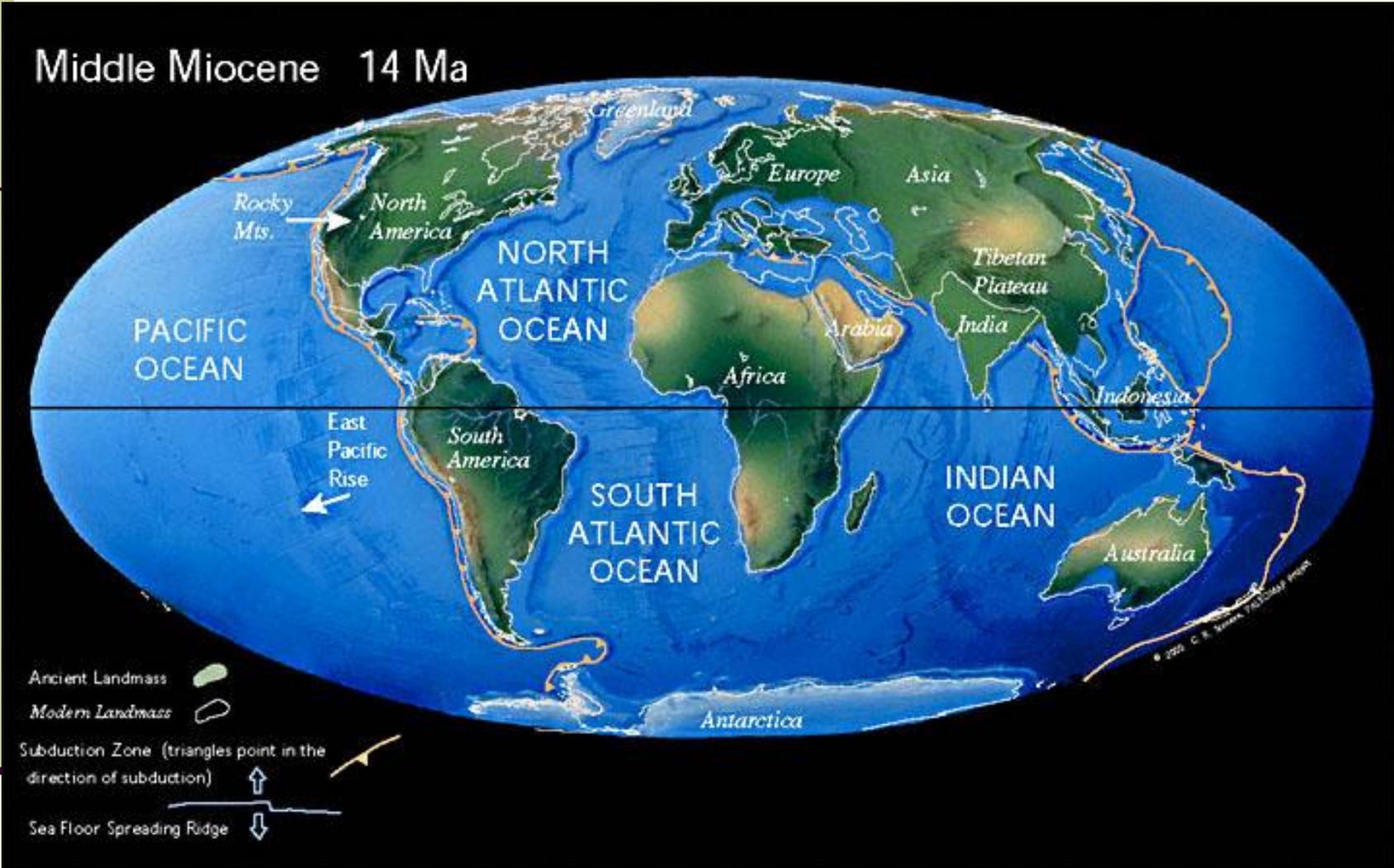
O ponto marcado com a seta mostra o local do impacto de Chixulub. O impacto do cometa de aprox. 10 km de diâmetro causou a extinção dos dinossauros e outros organismos. Os oceanos alargaram-se e a América se aproximou da margem sul da América.

# Middle Eocene 50.2 Ma



O movimento das placas tectônicas,
 formando o planalto tibetano e o Himalaia. A Índia estava presa a
 África e a América do Sul. Espanha e América do Norte
 continham a América do Norte, América do Sul, Índia, América
 do Sul e América do Sul. O movimento das placas tectônicas
 formam dobramentos modernos pelo mundo.

# Middle Miocene 14 Ma



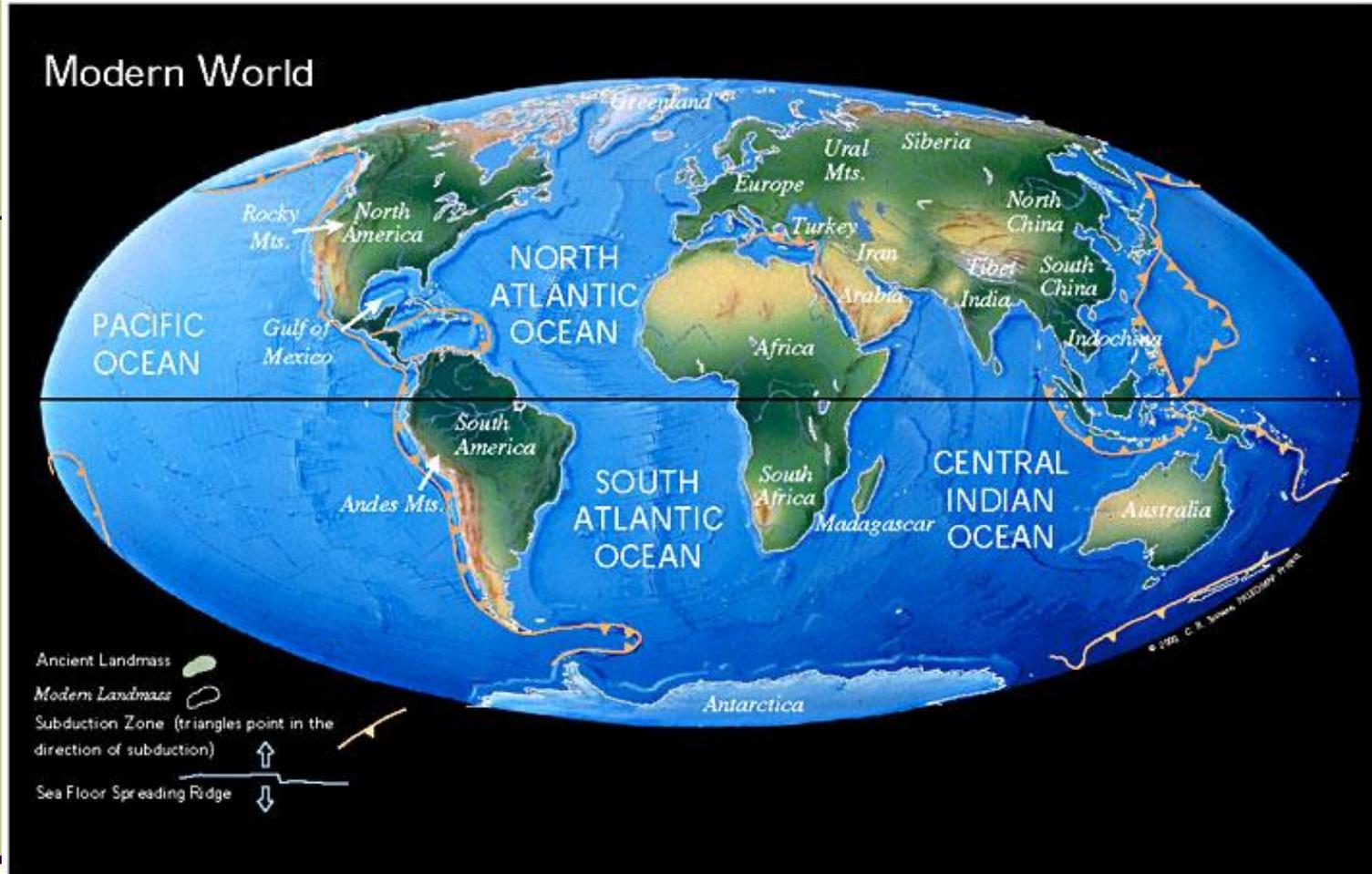
A vinte milhões de anos antes do presente a América encontrava-se coberta de gelo e os continentes ainda estavam a separar-se. O oceano Índico e o oceano Atlântico dos continentes toma um aspecto moderno, mas ainda nota-se que a Florida e partes da América estavam inundadas pelo mar.

## Last Glacial Maximum 18,000 years ago



O período glacial, conhecido como Último Máximo Glacial (LGM), ocorreu há 18.000 anos antes do presente. Houve poucos seres humanos na América do Sul durante esse período, com a maioria vivendo no norte da América do Sul e no norte da América do Norte.

# 16- Na atualidade o mundo possui zonas climaticas bem definidas

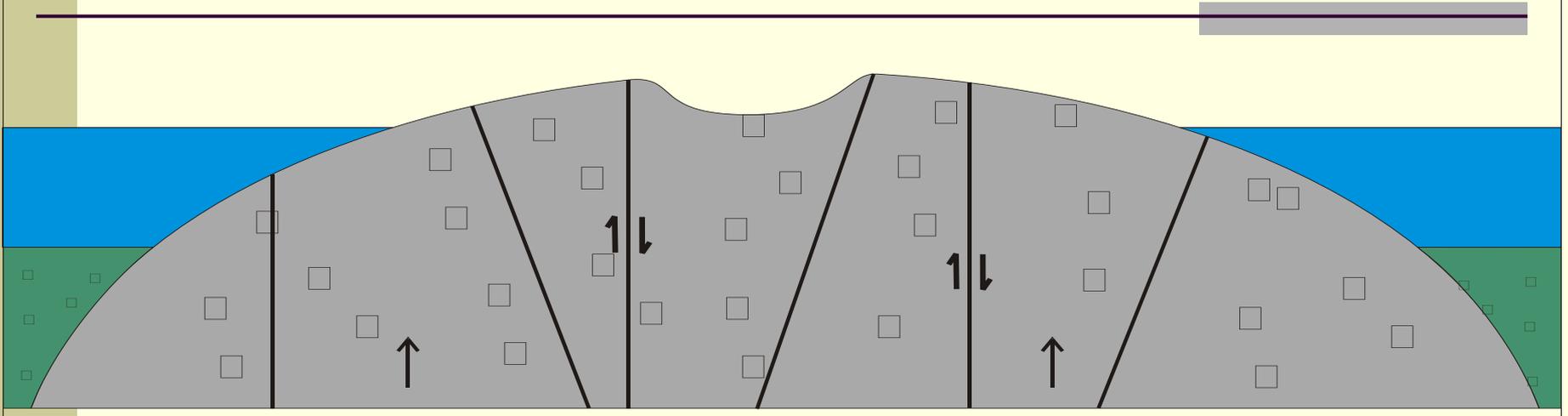


Atualmente, a crosta terrestre está sendo fragmentada em placas tectônicas, causando um espessamento da crosta e um maior quantidade de terras emergidas. O processo de subducção libera gases na atmosfera que contribuem ao efeito-estufa.





ci a a a a a a a a

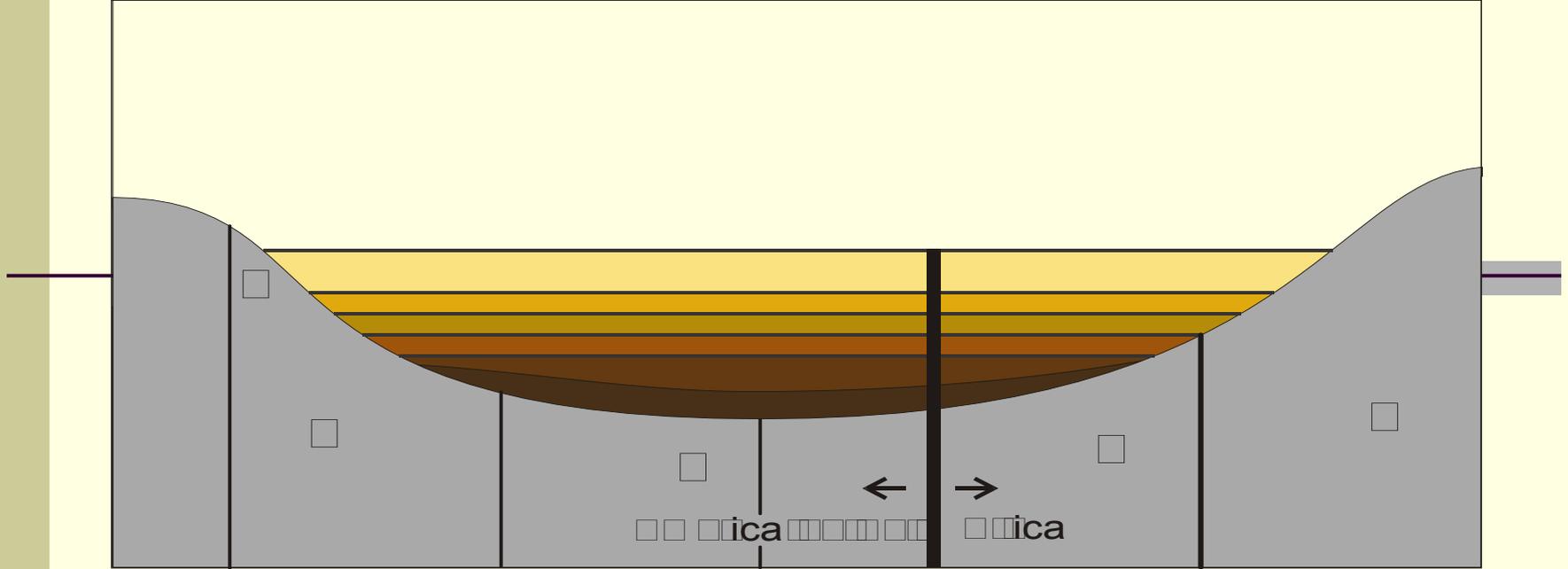


a a a a a a a a

Surgem as sinéclises, áreas rebaixadas no interior do continente causadas por movimentações de partes do escudo que encontravam-se previamente fraturadas.

a i a a a a a a a a a a a a

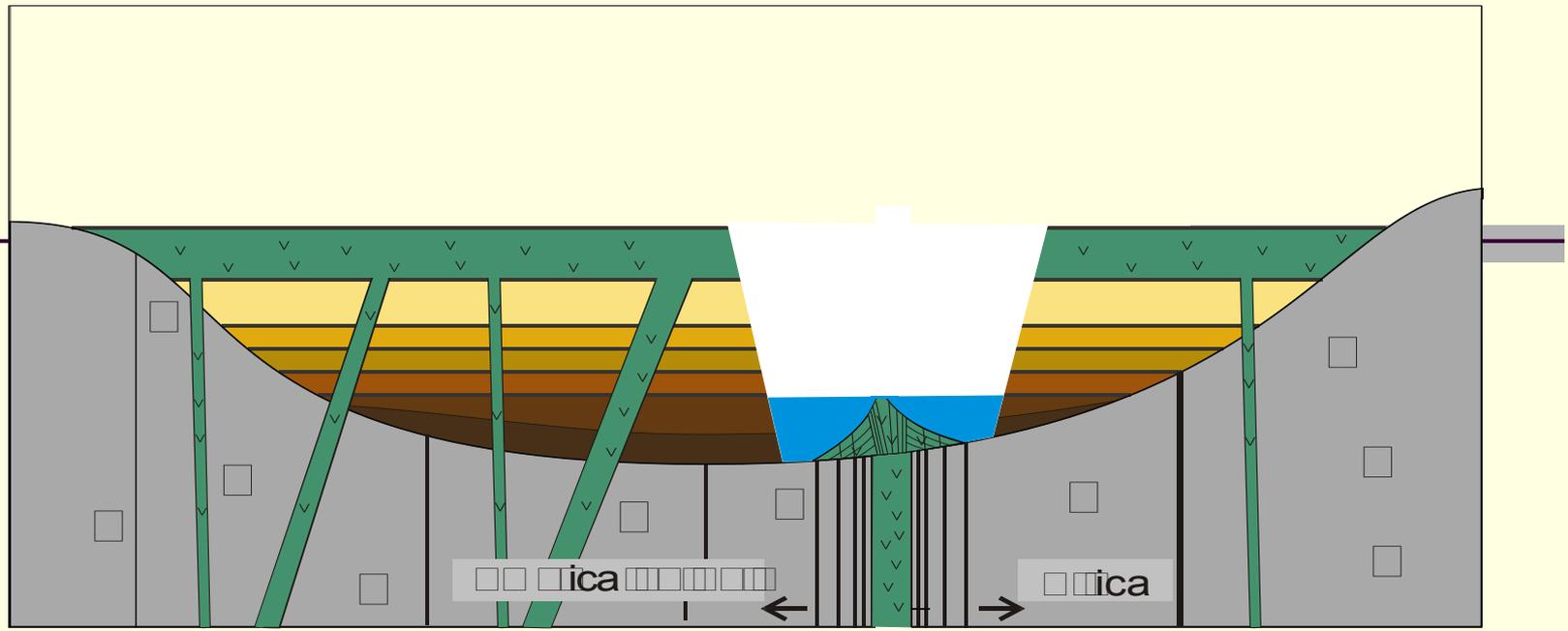




O interior da chamada Bacia Sedimentar do Paraná segue por mais de 200 milhões de anos sendo preenchida por extensos depósitos sedimentares que iam dispendo-se uns sobre os outros horizontalmente.

Através das características destes sedimentos, é possível identificar qual era o ambiente em que ele foi gerado (ambientes de sedimentação). Na Bacia do Paraná estes sedimentos são muito variados e relacionados a tipos distintos de ambiente, como por exemplo: fundo de mar raso ou profundo constituído pelas águas do oceano chamado Proto-Pacífico que, antes do surgimento dos Andes, inundava, por vezes, partes da Bacia. Ou ainda a influencia dos rios e das chuvas em climas mais quentes, a ação das geleiras em períodos glaciais, etc.

Por fim o ultimo ambiente que perdurou sobre todos os outros era árido, configurando um grande deserto coberto por dunas. As rochas originadas pelos sedimentos deste antigo deserto configuram hoje os arenitos de formação Botucatu, e correspondem a camada onde se localiza o Aquífero Guarani em Santa Catarina, mostrando a íntima relação que este sistema aquífero possui com a evolução geológica, geomorfológica e climática do Estado.

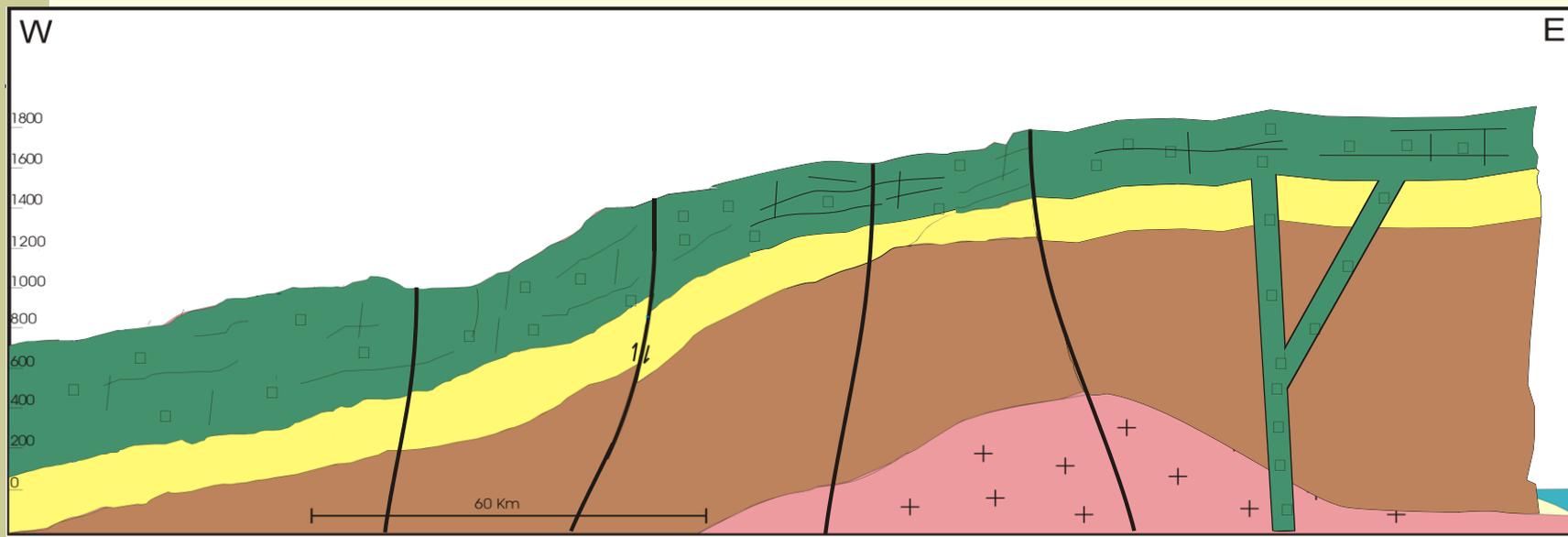


Por volta de 160 milhões de anos atrás, o subcontinente sul americano inicia o seu processo de separação com o continente africano. Este processo de separação causa rompimento e fragmentação do embasamento rochoso, sendo seguido de eventos de vulcanismo que cortam todas as camadas de rocha até a superfície, preenchendo, por fim, a parte superior da Bacia do Paraná com lavas que logo transformara-se em rocha ao entrarem em contato com a atmosfera. Constituindo os basaltos e os diabásios da Fm. Serra Geral.

Esta movimentação que afasta o continente sul americano da África corta a Bacia do Paraná deixando fragmentos em solo africano e trazendo a parte mais expressiva desta bacia, no interior da América do Sul, fazendo com que se origine o oceano atlântico sul.



## A evolução da Serra Geral



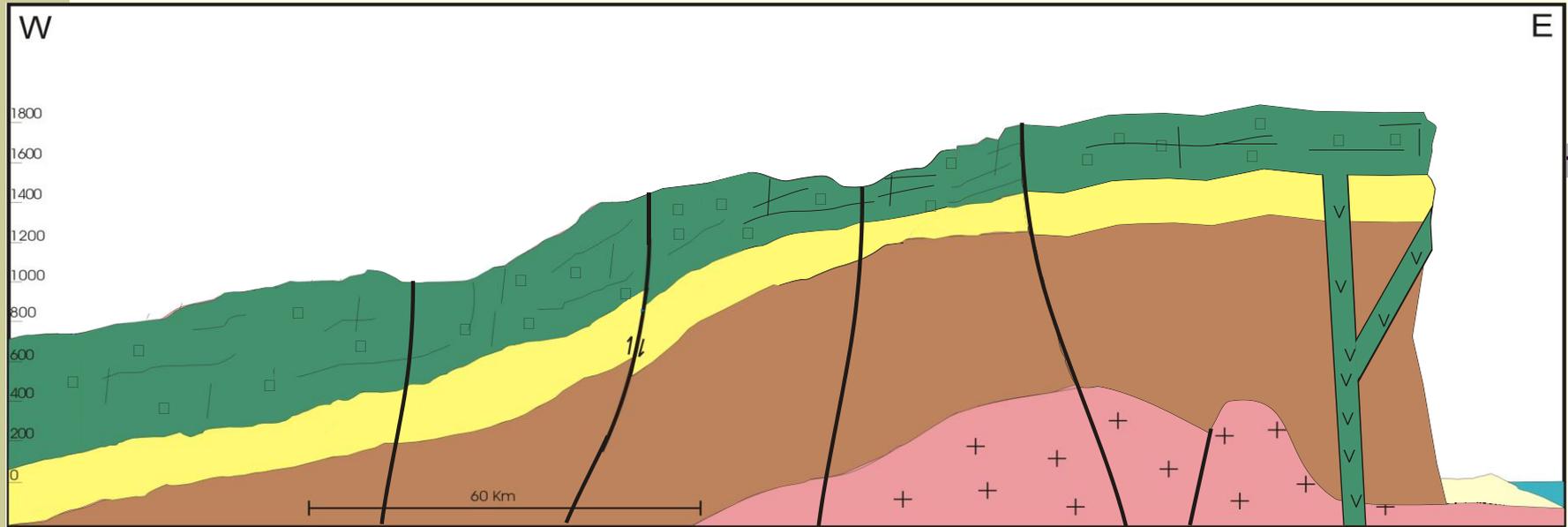
A Bacia do Paraná , na área onde hoje encontra-se o Estado de Santa Catarina estendia-se por solo africano enquanto os continentes estavam atachados.

Após o início da separação entre América do Sul e África a aproximadamente 160 milhões de anos antes do presente, a Bacia foi dividida ficando uma pequena parte de suas rochas na porção continental africana e outra parte, bem mais expressiva, na América do Sul. O oceano Atlântico Sul começava a existir dispendo-se entre os dois continentes.

Com este evento origina-se na porção sul americana uma escarpa, que configurava um corte em perfil das rochas da Bacia do Paraná.

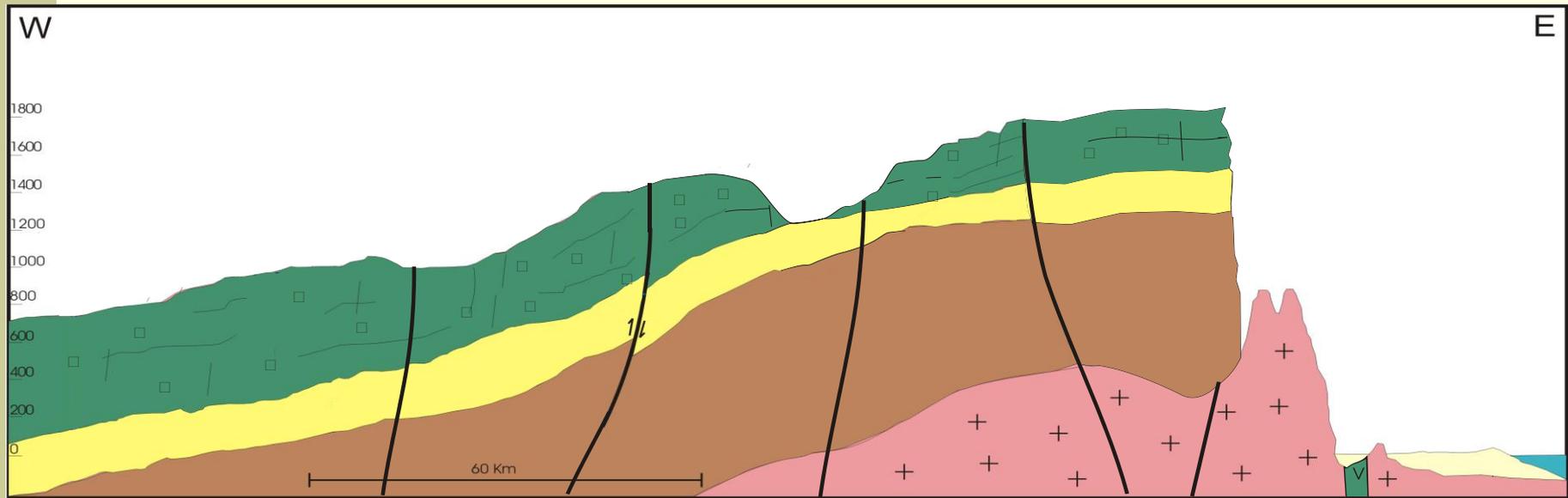
Esta encosta abrupta recém estabelecida, representaria o estagio inicial da forma de relevo que hoje conhecemos como Serra Geral.

A parte da Bacia que permaneceu no continente africano contém a mesma seqüência de rochas sedimentares cobertas pelas lavas do magmatismo Serra Geral, apresentando também fosseis similares



Com o passar do tempo, esta grande escarpa que agora encontra-se exposta a ação dos processos intempéricos começa a ser trabalhada por agentes erosivos que vão desgastando e modelando a encosta, iniciando assim o seu processo de recuo em direção ao interior do continente.

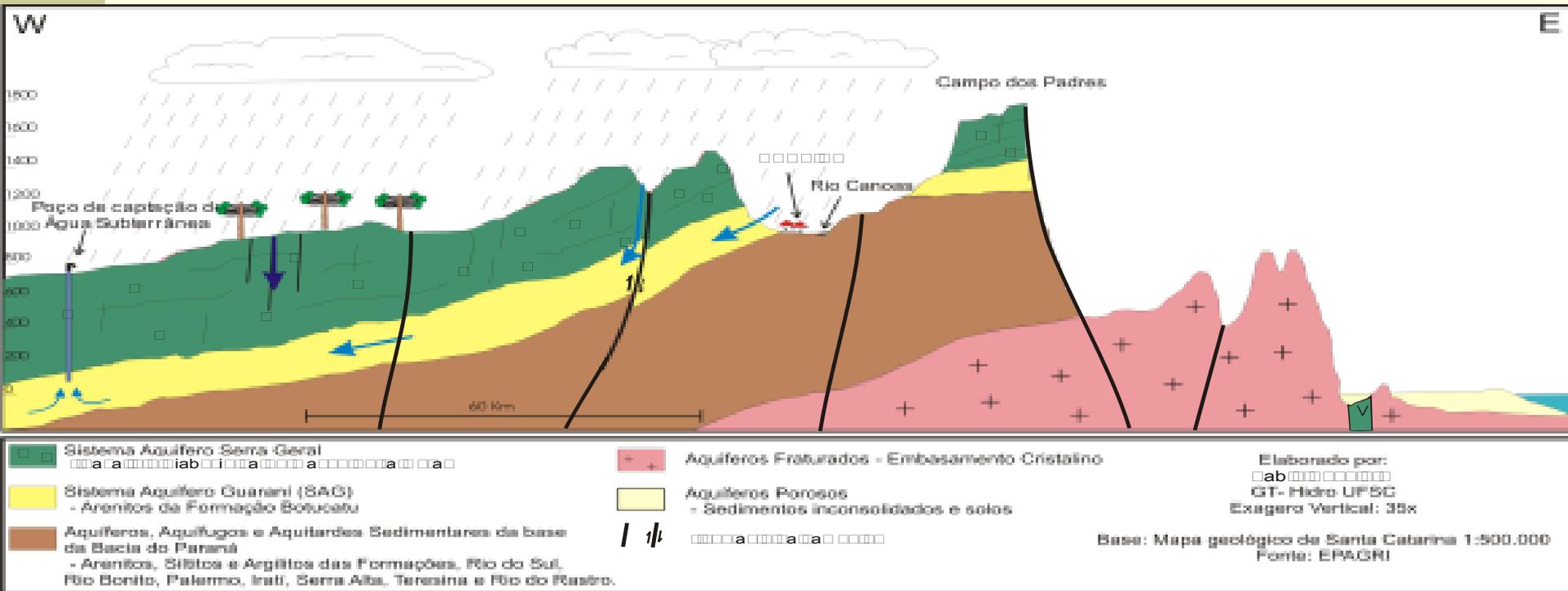
As transformações climáticas que iam se sucedendo ao longo dos milhares e milhões de anos que se passavam, determinavam os diferentes tipos de processos erosivos atuantes, podendo estes serem representados pela ação dos rios em climas úmidos, movimentação das geleiras em regimes glaciais, etc.



Contudo, o diversificado processo de evolução da Serra Geral não era apenas controlado pela ação do intemperismo.

As rochas cristalinas que configuram a base da bacia, sofreram diversas movimentações, sobretudo nas proximidades da costa atlântica. Estas movimentações teriam sido causadas pela separação dos continentes que continuava a ocorrer. Inicialmente, as rochas do embasamento da bacia, que encontravam-se fragmentadas em grandes blocos, teriam sido rebaixadas pelo alívio da pressão da crosta que fora causado devido às forças distensivas da separação. Posteriormente estes blocos moveram-se lentamente para cima formando as serras da costa atlântica brasileira como a Serra do Mar as Serras do Leste Catarinense.

Esta nova topografia que se desenvolvia entre o litoral atlântico e a “paleo” Serra Geral condicionou a evolução do relevo de toda a porção oriental do Estado



Atualmente, com o recuo da escarpa da Serra Geral, pode-se ver o afloramento das rochas do embasamento cristalino mais antigo. Estas rochas que outrora encontrava-se soterradas pela seqüência de sedimentos da bacia do Paraná agora pronunciam-se no relevo em forma de serras. Junto com o embasamento cristalino podemos observar também, ao longo do litoral, os diques de diabásio da Fm. Serra Geral estas são rochas pretas que apresentam-se em filamentos cortando o embasamento, os diques são intrusões de rochas magmáticas com um aspecto tabular vertical, que cortam as estruturas das rochas circundantes, é como se fosse o “duto” pelo qual a lava do interior da terra consegue acesso até a superfície. Neste caso podemos entender que estes diques de diabásio que vemos ao longo da costa catarinense e em costões da praia são um resquício de um tempo em que a bacia do Paraná cobria todo o litoral catarinense e o processo de separação de América do Sul e África iniciava-se.

Voltando dois slides percebe-se como estes diques que cortaram todas as rochas e alimentaram os derramamentos basálticos na parte superior da bacia, encontram-se hoje aflorando próximo ao litoral.







200000 300000 400000 500000 600000 700000

# GEOLOGIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

## Perfil Transversal Litoral - Planalto Catarinense



7120000

7040000

6960000

6880000

6800000

7120000

7040000

6960000

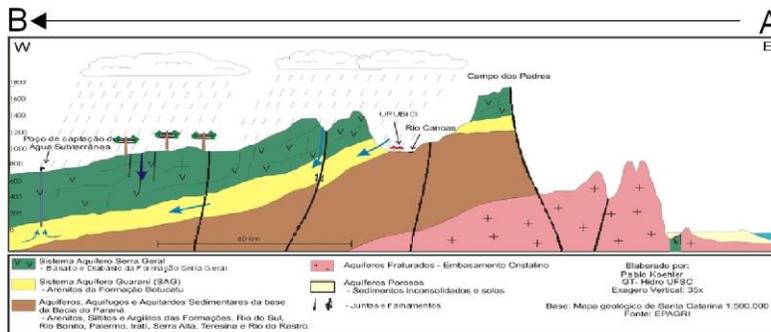
6880000

6800000



### Legenda

- Hidrografia
- Quaternário
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Rio do Rastro
- Formação Teresina
- Formação Serra Alta
- Formação Irati
- Formação Palermo
- Formação Rio Bonito
- Formação Rio do Sul
- Rochas Alcalinas
- Embasamento Cristalino



Fonte: Mapa Geológico DNP - 1986 escala 1:500.000  
 Limites estaduais: Mapa Político Estado de Santa Catarina - SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento do Estado de Santa Catarina - 1:500.000 Cartografia: Pablo Koehler

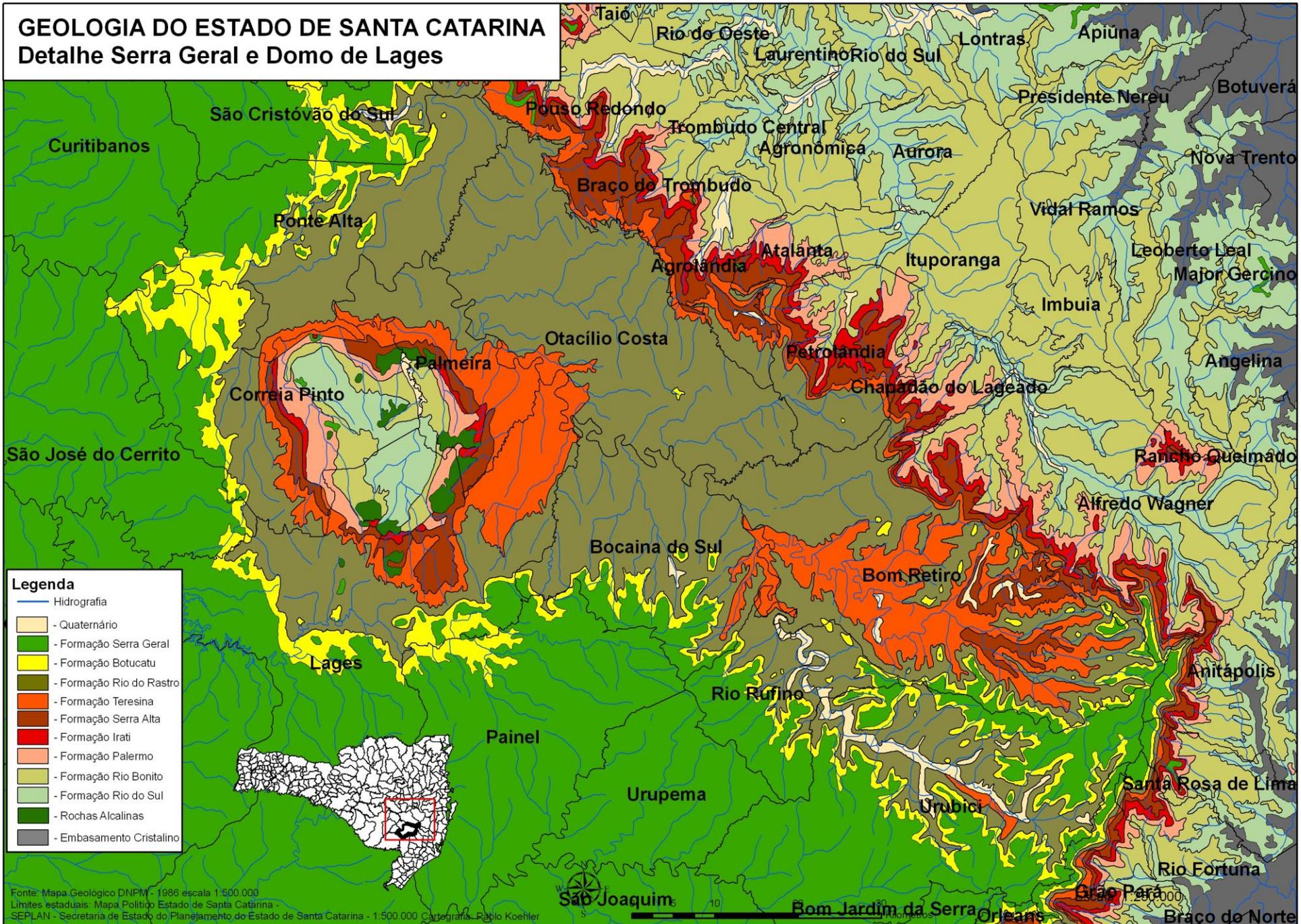
0 5 10 20 30  
 Kilômetros

Escala: 1:250.000

200000 300000 400000 500000 600000 700000

# GEOLOGIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

## Detalhe Serra Geral e Domo de Lages



Fonte: Mapa Geológico DNPM - 1986 escala 1:500.000  
 Limites estaduais: Mapa Político Estado de Santa Catarina -  
 SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento do Estado de Santa Catarina - 1:500.000 Cartógrafo: Pablo Koehler

600000

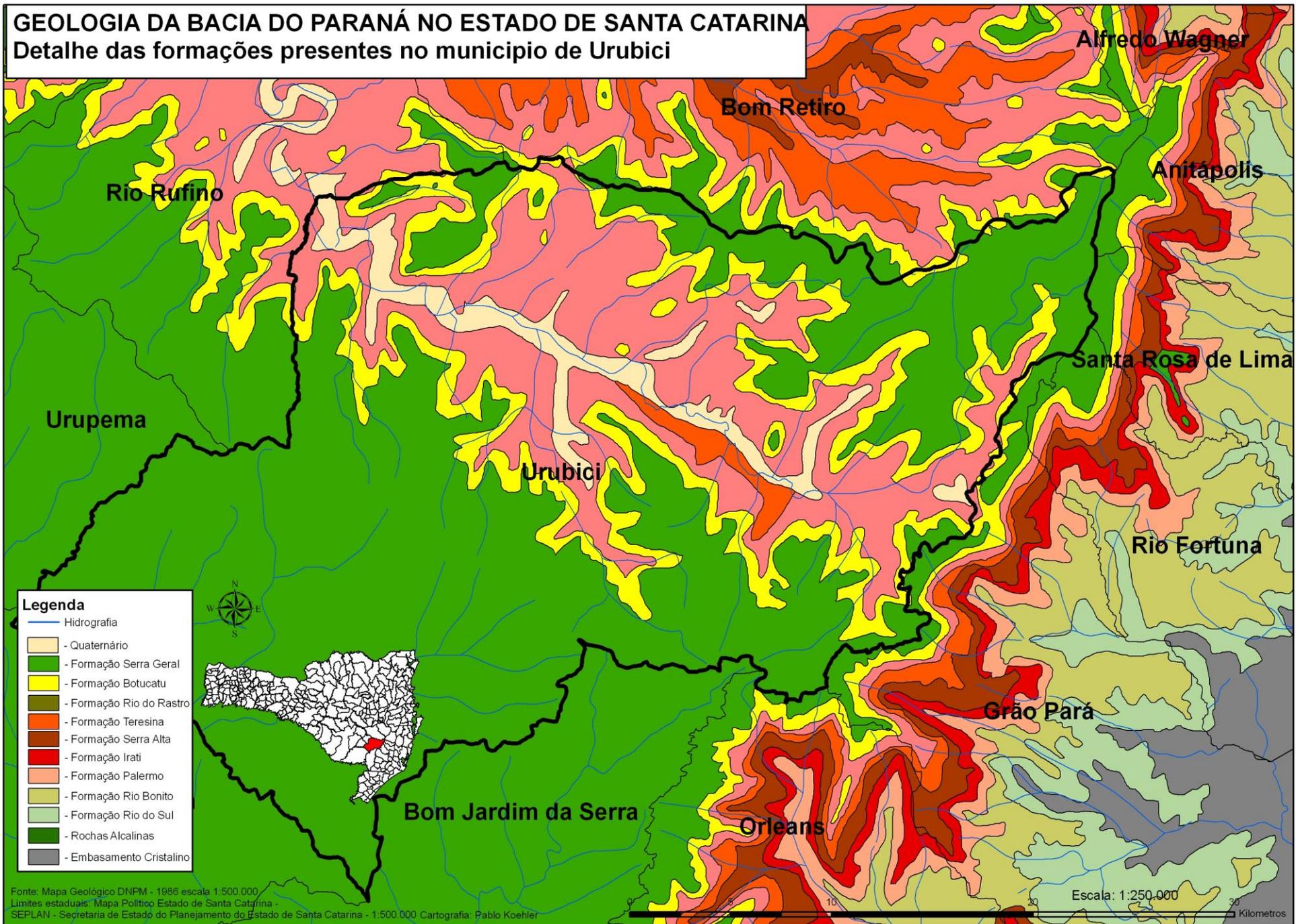
600000

6960000

6960000

# GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ NO ESTADO DE SANTA CATARINA

## Detalhe das formações presentes no município de Urubici



Fonte: Mapa Geológico DNPM - 1986 escala 1:500.000.  
Limites estaduais: Mapa Político Estado de Santa Catarina -  
SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento do Estado de Santa Catarina - 1:500.000 Cartografia: Pablo Koehler