



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA – PPGG

TESE DE DOUTORADO

CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E PARAMETRIZAÇÃO DE DEPÓSITOS TRANSICIONAIS RECENTES E SUA APLICAÇÃO NA MODELAGEM DE RESERVATÓRIOS PETROLÍFEROS

Tese de Doutorado apresentada em 31 de Março de 2008 para obtenção do título de Doutor em Geodinâmica pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Autor:

YOE ALAIN REYES PÉREZ

Comissão Examinadora

PROF. DR. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO (DG/PPGG/UFRN - ORIENTADOR)

PROF. DR. WALTER EUGÊNIO DE MEDEIROS (DFTE/PPGG/UFRN)

PROF. DR. FRANCISCO HILÁRIO REGO BEZERRA (DG/PPGG/UFRN)

DR. CLÁUDIO PIRES FLORENCIO (UN/RNCE-PETROBRAS)

PROF. DR. JOSÉ ANTONIO BELTRÃO SABADIA (DEGEO/UFC)

Natal - RN, Março de 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA – PPGG

TESE DE DOUTORADO

**CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E PARAMETRIZAÇÃO DE DEPÓSITOS
TRANSICIONAIS RECENTES E SUA APLICAÇÃO NA MODELAGEM DE
RESERVATÓRIOS PETROLÍFEROS**

Autor:

YOE ALAIN REYES PÉREZ

Orientador:

Dr. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO

Tese Nº 20 / PPGG

Natal - RN, Março de 2008

A meu pai que incentivou esta tese,
A minha mãe e irmã, que estiveram sempre presentes,
A minha filha e esposa pelo tempo roubado.

AGRADECIMENTOS

Às minhas famílias cubanas, portuguesas e brasileiras por toda a força que sempre me deram.

À minha esposa Ana pela ajuda incondicional e por acreditar que esta tese seria concluída.

Ao Prof. Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho pela amizade e orientação nestes novos caminhos da Geologia.

A Daniel Gauw, Ronaldo Freire, Leonardo Menezes, Daniel Alexander, Marcus Vinícius, Fernando Feitosa, Verônica Dantas e Anderson Souza pela troca de conhecimentos, ajuda e amizade. Direta ou indiretamente todos têm seu aporte nesta tese já que, não existe pesquisa sem trabalho de equipe.

À Ana Beatriz da Petrobras/UN/RNCE pela orientação na área de geoestatística e modelagem de reservatório assim como todos os conhecimentos gentilmente aportados.

Às Prof^{as} Valéria e Fátima que sempre tiveram uma palavra gentil e deram seu apoio durante todos estes anos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte e seu Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica pela possibilidade de realizar este trabalho de tese.

À Schlumberger pela possibilidade de realizar a etapa final desta tese.

À Petrobras e FINEP pelo apoio financeiro aos projetos que possibilitaram a aquisição dos dados de campo.

E, todos que não estão aqui citados, mas que contribuíram na realização deste trabalho.

"Muitos dirão que sou aventureiro, e sou mesmo, só que de um tipo diferente, daqueles que entregam a própria pele para demonstrar suas verdades."

Che

Resumo

Neste início do século XXI a Geologia transita por novos caminhos que demandam uma capacidade crescente de trabalhar com informações de naturezas variadas, assim como a aplicação de novas ferramentas. É dentro desse contexto que a caracterização de análogos recentes tem se tornado importante para o entendimento e predição das mudanças laterais na geometria e na distribuição dos corpos e fácies reservatório. No presente trabalho foi desenvolvida uma metodologia de integração de dados geológicos e geofísicos de depósitos transicionais recentes, em ambiente tridimensional, para serem empregados como subsídio na modelagem de reservatórios petrolíferos e estudada a influência dos mesmos no cálculo de volume. Para esta finalidade foram realizados levantamentos planialtimétricos e de geofísica rasa “GPR” em três áreas da desembocadura do Rio Parnaíba. Com as informações obtidas foi possível visualizar a superposição de diferentes gerações de canais estuarinos e realizar a delimitação da geometria do canal através dos parâmetros de largura e espessura. Para a visualização e modelagem tridimensional foram empregados dois dos principais *softwares* de modelagem de reservatórios. Este trabalho foi realizado com os parâmetros coletados e os dados de dois reservatórios. O primeiro foi criado com dados de poços da Bacia Potiguar existentes na literatura e correspondentes a unidade Açú IV. Já no segundo caso foi empregada uma base de dados reais de um modelo da região do mar do norte. Nos procedimentos de modelagem dos reservatórios foram criadas diferentes rotinas de trabalho e gerados cinco casos de estudo com seus respectivos cálculos de volumes. Em seguida, foi realizada uma análise para quantificar as incertezas referentes à modelagem geológica e a influência delas no volume. Esta análise foi orientada a testar a semente geradora e os dados de análogos empregados na construção do modelo.

Palavras chaves: analogos, modelagem 3D, GPR, reservoir, canais estuarinos

Abstract

In this beginning of the XXI century, the Geology moves for new ways that demand a capacity to work with different information and new tools. It is within this context that the analog characterization has important in the prediction and understanding the lateral changes in the geometry and facies distribution. In the present work was developed a methodology for integration the geological and geophysical data in transitional recent deposits, the modeling of petroliferous reservoirs, the volume calculation and the uncertainties associate with this volume. For this purpose it was carried planialtimetric and geophysics (Ground Penetrating Radar) surveys in three areas of the Parnaíba River. With this information, it was possible to visualize the overlap of different estuary channels and make the delimitation of the channel geometry (width and thickness). For three-dimensional visualization and modeling were used two of the main reservoirs modeling software. These studies were performed with the collected parameters and the data of two reservoirs. The first was created with the Potiguar Basin wells data existents in the literature and corresponding to Açu IV unit. In the second case was used a real database of the Northern Sea. In the procedures of reservoirs modeling different workflows were created and generated five study cases with their volume calculation. Afterwards an analysis was realized to quantify the uncertainties in the geological modeling and their influence in the volume. This analysis was oriented to test the generating see and the analogous data use in the model construction.

Key works: analog, 3D modeling, GPR, reservoir, estuary channel

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização das áreas de estudo no Rio Parnaíba.....	4
Figura 2.1 - Fluxograma metodológico.	6
Figura 2.2 - Imagens <i>Spot</i> (1991 e 1999), ressaltando a intensa dinâmica nesta área estuarina com efetiva migração dos canais de maré.	7
Figura 2.3 - Reconhecimento regional	8
Figura 2.4 - Equipamentos empregados nos levantamentos plani-altimétricos	9
Figura 2.5 - Representação esquemática mostrando a relação entre altura elipsoidal, altitude ortométrica e ondulação geoidal	12
Figura 2.6 - Representação esquemática do GPR mostrando a aquisição e resposta em um perfil de reflexão	14
Figura 2.7 - Representação esquemática da CMP.....	15
Figura 2.8 - Relação linear entre a máxima profundidade de penetração do sinal de GPR e a frequência da antena escolhida.....	16
Figura 2.9 - Equipamento GPR da <i>RAMAC/GPR da MALA GeoScience</i>	18
Figura 2.10 - Módulos principais do Petrel.....	21
Figura 3.1 - Aspectos principais das escalas de observação, operação e resolução do modelo que são quantificados para representar heterogeneidades.	25
Figura 3.2 - Hierarquia das heterogeneidades num sistema deposicional estuarino....	26
Figura 3.3 - O passo a passo na construção do modelo geológico 3D de alta resolução.	35
Figura 3.4 - Principais parâmetros de ajuste no variograma.	37
Figura 4.1 - Mapa geológico da área de trabalho.....	46
Figura 4.2 - Localização da área de estudo.....	47
Figura 4.3 - Imagens de satélites mostrando a evolução da área estudada.	48
Figura 4.4 - Aquisição dos perfis de GPR longitudinais e transversais	49
Figura 4.5 - Croqui com os perfis de GPR levantados na área durante a primeira etapa de campo.	50
Figura 4.6 - Imagem Ikonos com os dados do GPS adquiridos na área durante a segunda etapa de campo	50
Figura 4.7 - Etapas desenvolvidas na construção do modelo 3D	51
Figura 4.8 - Visualização e modelagem do canal de maré interpretado nos radargramas.....	52
Figura 4.9 - Estruturas sedimentares identificadas em campo.	53
Figura 4.10 - Apresentação do radargrama com sua interpretação.....	54
Figura 4.11 - <i>Grid</i> das linhas GPR levantadas e a localização do canal imageado.	55

Figura 4.12 - Localização da área dos levantamentos.....	56
Figura 4.13 - Imagens satélites mostrando a evolução do canal de maré na área estudada.	57
Figura 4.14 - Imagem Ikonos com os dados do levantamento de GPS realizados na área durante a primeira e segunda etapa de campo.....	57
Figura 4.15 - Modelo 3D confeccionado com dados da primeira viagem	58
Figura 4.16 - Modelo 3D elaborado com dados da segunda viagem.....	59
Figura 4.17 - Campos de dunas.....	60
Figura 4.18 - Apresentação dos radargramas.....	61
Figura 4.19 - Análise temporal dos MDT.....	62
Figura 4.20 - Área de trabalho do canal.	63
Figura 4.21 - Modelo elaborado com dados da primeira viagem.	64
Figura 4.22 - Visualização dos perfis de reflexão com antena de 50 MHz e da superfície externa levantados na segunda viagem de campo.....	65
Figura 4.23 - Estruturas sedimentares identificadas em campo.....	65
Figura 4.24 - Estruturas sedimentares identificadas em campo	66
Figura 4.25 - Apresentação dos radargramas e da interpretação	67
Figura 4.26 - Exemplo da parametrização dos elementos do canal nos radargramas das linhas obtidas com antena de 50 MHz	69
Figura 5.1 - Resumo do passo-a-passo utilizado para gerar o modelo sintético e realizar a modelagem do mesmo	74
Figura 5.2 - Geração do arquivo com os dados de profundidade e perfis.....	75
Figura 5.3 - Visualização dos poços e perfis no Petrel..	76
Figura 5.4 - Poços com os perfis de raios gama e as fácies.....	77
Figura 5.5 - Visualização tridimensional dos horizontes e da zona do modelo estrutural	78
Figura 5.6 - Processo de <i>scale up</i> dos perfis de fácies e porosidade.....	79
Figura 5.7 - Modelo 3D da distribuição das fácies utilizando o algoritmo SIS.	81
Figura 5.8 - Modelo 3D da distribuição da porosidade utilizando o algoritmo SGS. .	82
Figura 5.9 - Visualização 3D da distribuição da propriedade <i>net to gross</i>	83
Figura 5.10 - Modelo 3D das fácies utilizando os análogos no modelo variográfico. .	84
Figura 5.11 - Modelo 3D da porosidade utilizando os análogos no modelo variográfico.	85
Figura 5.12 - Modelo 3D das fácies utilizando os análogos na modelagem orientada a objeto.	87

Figura 5.13 - Modelo 3D da porosidade condicionada a modelo de fácies orientado a objeto.	88
Figura 5.14 - Seção N-S nas propriedades geradas com os dados de análogos.	89
Figura 5.15 - Resumo do passo-a-passo utilizado para realizar a modelagem.....	90
Figura 5.16 - Visualização 3D do modelo estrutural com os planos de falhas	91
Figura 5.17 - Modelo 3D da distribuição das fácies utilizando o algoritmo SIS.....	92
Figura 5.18 - Modelo 3D da distribuição da porosidade utilizando algoritmo SGS...93	
Figura 5.19 - Visualização 3D dos contatos gás/óleo e óleo/água.....	94
Figura 5.20 - Modelo 3D das fácies utilizando os análogos na modelagem objeto ...	95
Figura 5.21 - Modelo 3D da porosidade condicionada a modelo de fácies orientado a objeto.	96
Figura 5.22 - Resumo processo de análise de incertezas no Petrel	98
Figura 5.23 - Esquema da organização dos dados na análise de incertezas.....	98
Figura 5.24 - Rotina de trabalho para analisar influência da semente geradora	99
Figura 5.25 - Rotina de trabalho para analisar a semente geradora e parâmetros	101
Figura 5.26 - Rotina de trabalho para analisar a sensibilidade dos diferentes processos no cálculo de volume do modelo orientado a objeto.....	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Valores das propriedades físicas de alguns materiais geológicos	16
Tabela 3.1 - Sumário dos métodos digitais de coleta de dados em análogos.	29
Tabela 4.1 - Parâmetros de aquisição dos perfis de GPR com antenas de 200 MHz ..	49
Tabela 4.2 - Parâmetros de aquisição dos perfis de GPR com antenas de 100 MHz ..	49
Tabela 4.3 - Parâmetros de aquisição dos perfis de GPR	63
Tabela 4.4 - Dados da parametrização de largura e espessura dos canais.....	70
Tabela 5.1 - Valores dos variogramas utilizados na modelagem orientada a <i>pixel</i>	80
Tabela 5.2 - Resultados do cálculo de volume no Petrel.....	83
Tabela 5.3 - Resultados do cálculo de volume no Petrel.....	86
Tabela 5.4 - Valores dos parâmetros largura e espessura do análogo.....	86
Tabela 5.5 - Resultados do cálculo de volume no Petrel.....	89
Tabela 5.6 - Valores dos variogramas utilizados na modelagem orientada a <i>pixel</i>	91
Tabela 5.7 - Resultados do cálculo de volume no Petrel.....	94
Tabela 5.8 - Resultados do cálculo de volume no Petrel.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo <i>pixel</i>	99
Gráfico 5.2 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo <i>pixel</i> com dados de análogos.....	100
Gráfico 5.3 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo objeto.....	101
Gráfico 5.4 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo objeto.....	102
Gráfico 5.5 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo nos casos testados no modelo objeto	103
Gráfico 5.6 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo <i>pixel</i>	104
Gráfico 5.7 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de gás resultado da variação no modelo <i>pixel</i>	104
Gráfico 5.8 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de óleo resultado da variação no modelo objeto.....	105
Gráfico 5.9 - Histograma da distribuição do cálculo de volume de gás resultado da variação no modelo objeto.....	105
Gráfico 5.10 - Gráfico de sensibilidade do volume de óleo no modelo <i>pixel</i>	107
Gráfico 5.11 - Gráfico de sensibilidade do volume de gás no modelo <i>pixel</i>	108
Gráfico 5.12 - Gráfico de sensibilidade do volume de óleo no modelo objeto.....	109
Gráfico 5.13 - Gráfico de sensibilidade do volume de gás no modelo objeto.....	110

ÍNDICE

Resumo

Abstract

Capítulo 1 - Introdução e Objetivos.....1

1.1 - Apresentação	2
1.2 - Justificativa	2
1.3 - Objetivos	3
1.4 - Localização e Vias de acesso	4

Capítulo 2 - Metodologia5

2.1 - Reconhecimento regional.....	7
2.2 - Coleta dos dados.....	9
2.2.1 - Levantamentos plani-altimétricos.....	9
2.2.1.1 - Sistema de posicionamento global (GPS).....	10
2.2.1.2 - Estação total.....	12
2.2.2 - Levantamentos geofísicos.....	13
2.2.3 - Processamento das informações geofísicas.....	19
2.3 - Modelagem 3D dos depósitos recentes	20
2.4 - Modelagem de reservatórios	21

Capítulo 3 - Estado da arte sobre heterogeneidades, análogos e modelagem de reservatórios.....23

3.1 - Introdução	24
3.2 - Heterogeneidades de Reservatório	24
3.3 - Estudo de análogos	27
3.3.1 - Coleta de dados.....	29
3.3.1.1 - Tecnologia digital de resolução baixa a média.....	30
3.3.1.2 - Tecnologia digital de alta resolução.....	30
3.3.1.3 - A tecnologia de subsuperfície de alta resolução.....	31
3.3.2 - Integração de dados, a análise e a construção de modelos.....	32
3.3.3 - Os avanços futuros e os desafios.....	32
3.4 - A modelagem geológica	33
3.5 - A geostatística na modelagem de reservatórios	36
3.5.1 - As redes neurais e análise de incertezas.....	40

Capítulo 4 - Caracterização de Análogos Recentes.....42

4.1 - Estuários.....	43
4.2- Estuário do rio Parnaíba.....	45
4.2.1 - Caracterização geológica da área	45

4.3 - Área de desembocadura	47
4.3.1 - Modelo estatístico 3D	51
4.4 - Área do farol.....	56
4.4.1 - Modelos estatísticos 3D	58
4.5 - Área do canal.....	62
4.5.1 - Modelos estatísticos 3D	63
4.6 - Parâmetros de largura e espessura.....	68
Capítulo 5 - Modelagem de Reservatórios.....	71
5.1 - Introdução	72
5.1.1 - Formação Açú	72
5.1.2 - Formação Ness	73
5.2 - Modelagem de reservatórios	73
5.2.1 - Reservatório sintético da Bacia Potiguar.....	74
5.2.2 - Modelo estático	75
5.2.3 - Modelagem das propriedades.....	79
5.2.3.1 - Modelagem estocástica a <i>pixel</i>	80
5.2.3.2 - Modelagem com dados do análogo	83
5.2.4 - Reservatório do Mar do Norte.....	90
5.3 - Análise de incertezas	97
5.3.1 - Análise de incertezas no modelo da Bacia Potiguar.....	97
5.3.2 - Análise de incertezas no modelo do Mar do Norte	103
Capítulo 6 - Conclusões	111
Referências Bibliográficas.....	115

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 - APRESENTAÇÃO

Esta tese é parte dos requisitos exigidos para a conclusão do Curso de Doutorado desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) do Centro de Ciências Exatas e da Terra (CCET) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Os custos envolvidos na execução desta tese foram financiados com recursos dos projetos: **Estratigrafia Física de Depósitos de Maré como Análogos na Predição de Reservatórios em Subsuperfície**. Agência: *FINEP/FNDCT/CT-PETRO/PETROBRAS* (Sigla: *POTIMARÉ*) e **Estudo de Afloramentos e de Depósitos Recentes, como Análogo de Reservatório da Formação Açú (Unidade 4)** *CNPq/CT-PETRO* (Sigla: *MAPAÇU*).

1.2 - JUSTIFICATIVA

A compreensão da natureza geológica só pode ser atingida pelo conhecimento da sua estrutura e de seus diferentes estágios evolutivos. Isto torna necessária a obtenção de informações nas mais diversas escalas espaciais e temporais. Na maioria das vezes os estudos de depósitos recentes são capazes de estabelecer a ligação entre um passado remoto e o presente, levando-se em alguns casos, a estabelecer prognósticos do futuro.

Os depósitos de ambiente transicional, apesar da sua importância no registro geológico, têm sido pouco estudados com as aplicações de técnicas modernas de mapeamento digital, envolvendo tecnologias de modelagem e visualização tridimensional. No mapeamento digital são empregados métodos para construção de modelos 3D, integrando dados sedimentológicos, levantamentos plani-altimétricos, fotomosaicos digitais de alta resolução (Caracuel *et al.* 2000, Xu *et al.* 2002) e as integrações dos modelos digitais do terreno (MDT) com dados de *Ground Penetrating Radar* ou GPR (Gawthorper *et al.* 1993, Bristow 1995, Jol *et al.* 2002).

A construção de um modelo geológico passa necessariamente pela delimitação, descrição e reconhecimento dos atributos desse objeto, e estas são tarefas que devem

ser executadas do modo mais qualificado possível. As etapas subsequentes do trabalho e os resultados serão todos dependentes dos atributos impostos aos dados originais.

Os reservatórios são estudados a partir da integração de dados de superfície e subsuperfície. O potencial de qualquer modelo, baseado ou não em um conjunto de informações, será em grande parte um reflexo da qualidade do modelo geológico elaborado ou interpretado. Assim sendo, para enfrentar os problemas de exploração e produção de hidrocarbonetos, a utilização de modelos análogos oferece um apoio fundamental tanto na pesquisa de novas fronteiras exploratórias como na definição mais adequada da forma de exploração.

A definição de modelos físicos ou conceituais, a partir dos quais são reconhecidas as prioridades exploratórias ou realizadas simulações de fluxo, é tarefa complexa. Isso se deve a dificuldade de caracterizar com precisão a disposição espacial e características intrínsecas das rochas nas diferentes escalas de observação. Com base em dados, informações e concepções consistentes com a realidade geológica investigada, pode-se então realizar simulações a partir da elaboração de modelos numéricos que se sustentem na base de dados conhecida e que permitem projeções para as áreas não conhecidas (Paim *et al.* 2003).

1.3 – OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é integrar dados geológicos e geofísicos de depósitos transicionais recentes, em ambiente 3D, para serem empregados como subsídio na modelagem tridimensional de reservatórios petrolíferos.

Para isso, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma metodologia para parametrização dos canais de maré;
- Selecionar as áreas para realizar as sondagens geofísicas;
- Medir os parâmetros largura e espessura dos canais com base em radargramas;
- Realizar modelagem representando as características geométricas dos depósitos estudados;
- Realizar análises de incertezas em um reservatório sintético da Bacia Potiguar e outro do Mar do Norte utilizando-se os parâmetros espessura e largura.

1.4 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de levantamentos de dados está localizada na desembocadura do Rio Parnaíba limite dos estados do Piauí e Maranhão (Figura 1.1). O acesso à área pode ser feito por uma rede de vias tendo a BR-222, BR-343, BR-304, a CE-364 e a PI-216 como as principais e uma gama de estradas de terra transitáveis como vias secundárias.

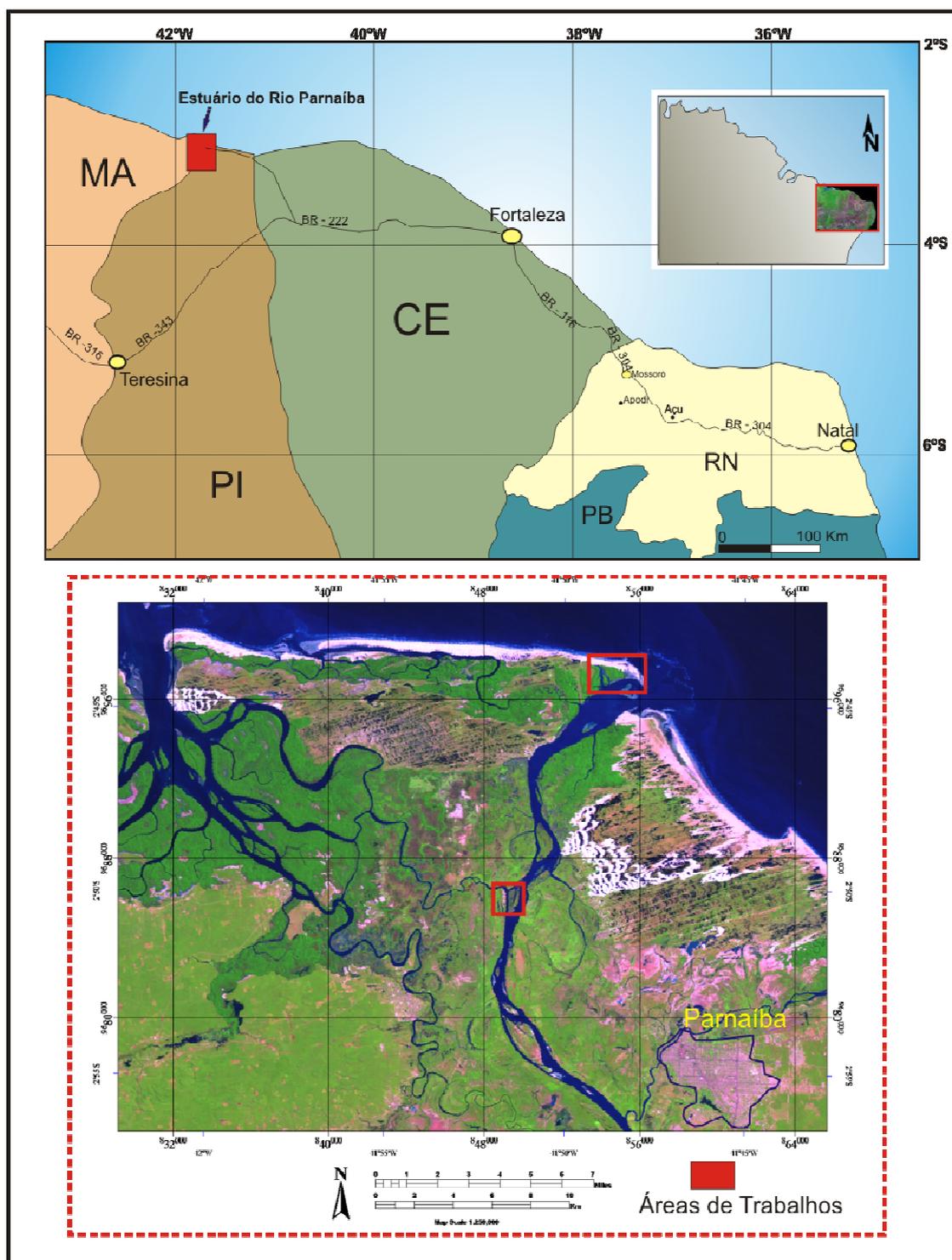


Figura 1.1- Localização das áreas de estudo na foz do Rio Parnaíba (imagem Landsat ETM, composição RGB 321).

METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta tese foi dividida em quatro etapas denominadas respectivamente de: reconhecimento regional, aquisição dos dados, modelagem 3D dos depósitos recentes e modelagem de reservatório. O fluxograma abaixo (figura 2.1) sumariza as etapas metodológicas adotadas nesta tese.

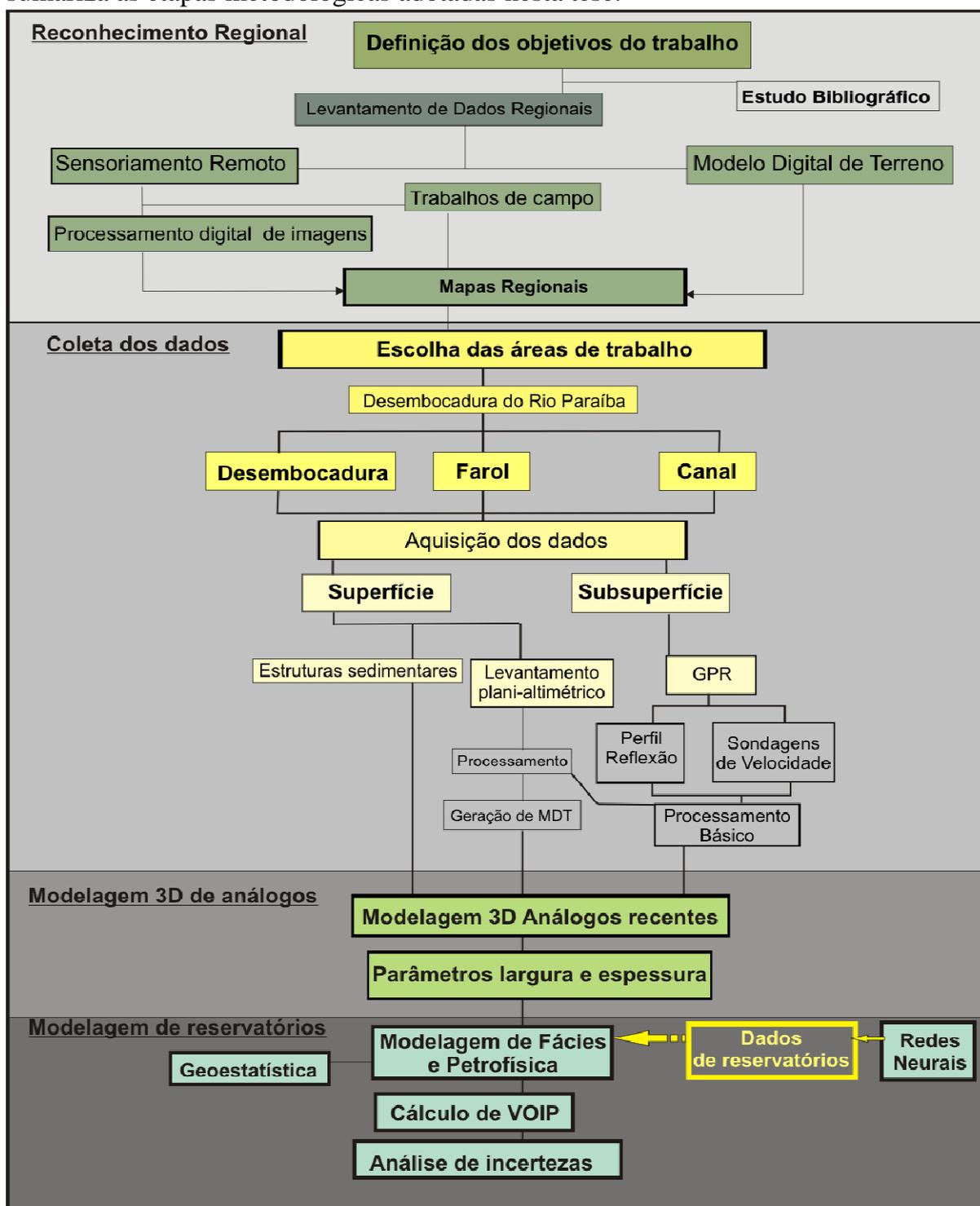


Figura 2.1- Fluxograma metodológico.

2.1– RECONHECIMENTO REGIONAL

O reconhecimento regional foi apoiado por produtos de sensores remotos, tendo sido usadas imagens SPOT (figura 2.2), *Landsat* (figura 2.3), CBERS, Ikonos e dados altimétricos do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Os principais trabalhos de campo foram realizados na porção setentrional do litoral do nordeste brasileiro onde há predomínio da ação de meso e macromarés, mais especificamente no denominado “Delta do Rio Parnaíba”. Esta etapa teve como produto final a seleção das áreas onde foram realizadas as aquisições dos dados de campo.

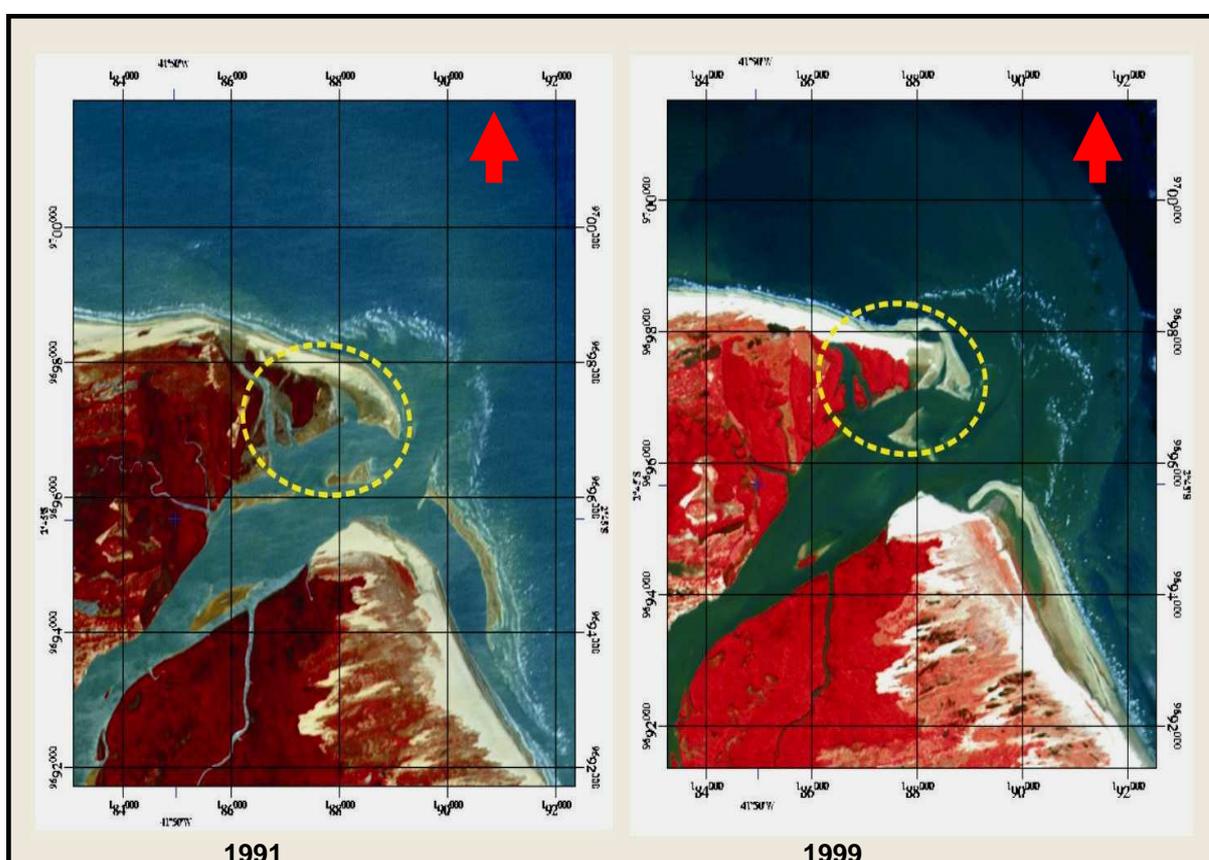


Figura 2.2- Imagens *Spot* composição colorida RGB 321 (1991 e 1999), ressaltando a intensa dinâmica nesta área estuarina com efetiva migração dos canais de maré.

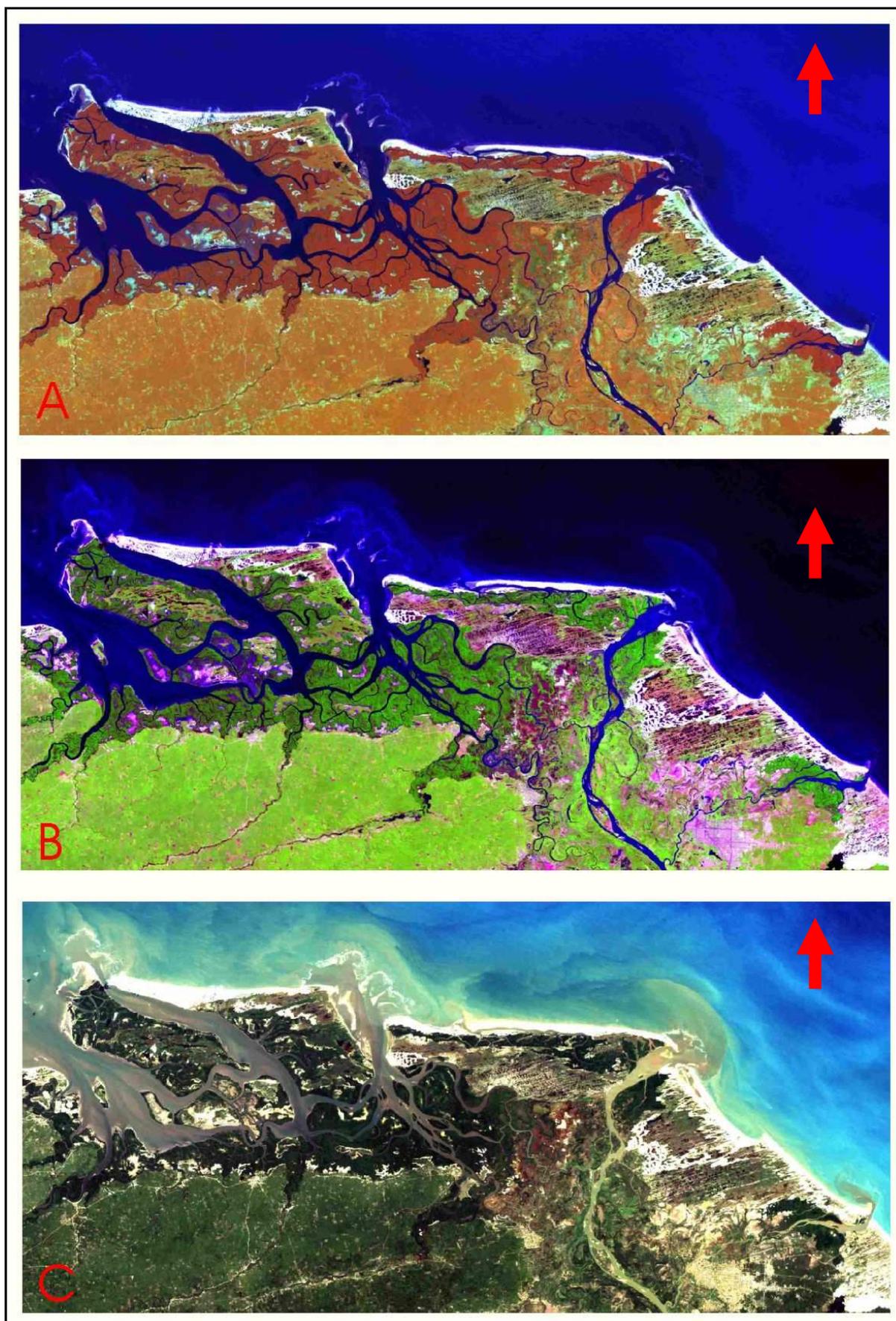


Figura 2.3 – Reconhecimento regional. A-Composição colorida RGB 451 ressaltando os canais de maré. B-Composição colorida RGB 543 mostrando a área de influência da maré. C-Composição colorida RGB 321 ressaltando as barras de maré e sedimentos em suspensão.

2.2- COLETA DOS DADOS

Os estudos envolveram duas abordagens objetivando a obtenção de informações bidimensionais e tridimensionais através de técnicas modernas de imageamento e de mapeamento digital. Os dados a serem levantados foram divididos em dados de superfície e de subsuperfície. Nos dados de superfície foram realizados levantamentos de seções colunares e levantamentos plani-altimétricos com o uso de técnicas convencionais de topografia e com GPS geodésico. Com o GPS foram adquiridos dados tridimensionais das superfícies externas enquanto para a abertura das malhas GPR foi utilizada uma Estação Total. Para aquisição dos dados de subsuperfície foi utilizado o GPR, auxiliado por levantamentos topográficos para correção altimétrica. Os dados de subsuperfície foram adquiridos em forma de perfis de reflexão e sondagens de velocidade (*Common Mid Point -CMP*).

2.2.1-LEVANTAMENTOS PLANI-ALTIMÉTRICOS

Os dados obtidos nos levantamentos plani-altimétricos foram empregados para definição das malhas de perfilagem geofísica, correção topográfica das linhas de GPR, georreferenciamento dos dados de campo e confecção dos modelos digitais do terreno. Foram utilizados uma Estação Total e um GPS Geodésico (figura 2.4).



Figura 2.4- Equipamentos empregados nos levantamentos plani-altimétricos. A-Bastão e prisma da Estação Total. B-Estação Total Trimble 3305 DR e tripé. C-GPS Geodésico, Hiper – RTK da marca *Topcon*.

2.2.1.1– Sistema de posicionamento global (GPS)

O sistema GPS (*Global Positioning System*) foi projetado de forma que o usuário em qualquer parte do mundo tenha disponibilizada durante 24 horas do dia de precisão métrica (modo absoluto) e a sub-centimétrica (correção diferencial). O princípio básico usado no sistema GPS consiste na transmissão de sinais eletrônicos pelos satélites, por meio de ondas eletromagnéticas, e na captação desses sinais por receptores, de tal forma que o intervalo de tempo decorrido no percurso possa ser determinado.

O sistema GPS pode utilizar três métodos de posicionamento: absoluto, diferencial e relativo (Seeber 2003).

No método absoluto é necessário apenas um receptor, o posicionamento é obtido por meio dos sinais dos códigos, com cálculo das distâncias a partir do tempo de viagem gasto pelo sinal. Este método possui baixas precisões, pois não são empregadas técnicas de correções diferenciais. Este método é utilizado apenas para navegação e reconhecimento.

O método diferencial faz correções em tempo real, podendo ser relacionado também como um método relativo empregado nos sinais de código. O posicionamento diferencial significa a posição GPS absoluta, refinada no receptor móvel a partir de dados do receptor base. A correção em tempo real é realizada por meio de *link* de rádio entre os receptores. Esta técnica é amplamente utilizada na navegação.

O posicionamento relativo (método relativo) é a técnica mais importante nos levantamentos com GPS, proporcionado a minimização ou o cancelamento dos erros sistemáticos que ocorrem no método absoluto. Assim como no método diferencial, este tipo de levantamento também fornece indiretamente a medida da distância receptor-satélite, a partir da observação de pelo menos duas estações simultaneamente. Entretanto, neste caso se mede a diferença da fase portadora entre o sinal que chega do satélite e o gerado pelo oscilador do receptor. Nos levantamentos usando a fase portadora é necessária a solução de uma incógnita adicional para localização do ponto rastreado, denominada de ambigüidade, que é o número de ciclos inteiros identificados entre o receptor e o satélite.

As técnicas aplicadas aos levantamentos relativos tem sido largamente empregadas e otimizadas. As principais técnicas de posicionamento relativo são: estático, cinemático e semi-cinemático (*stop-and-go*).

O posicionamento estático pode ser caracterizado por um levantamento, com dois ou mais receptores fixos, rastreando pelo menos quatro satélites comuns por um período de uma hora ou mais. Neste levantamento, são obtidos componentes vetoriais entre as estações com uma precisão de 1 a 2 ppm. Um outro tipo de levantamento que utiliza os mesmos princípios do posicionamento estático é o estático rápido, porém com tempo de ocupação que varia de 5 a 20 minutos.

No levantamento cinemático um receptor é mantido fixo (base) enquanto um ou mais receptores se movimentam continuamente. A taxa de gravação para cada ponto é de apenas uma época, que representa a quantidade de leitura realizada em um ponto.

O posicionamento semi-cinemático (*stop-and-go*) é similar ao cinemático; neste caso, cada ponto adquirido é ocupado no mínimo por duas épocas. Para se trabalhar com a fase portadora, há necessidade de determinar a ambigüidade a partir da ocupação do primeiro ponto por pelo menos 10 minutos. Receptores mais modernos já apresentam solução da ambigüidade em tempo real (Seeber 2003).

Neste trabalho, para aquisição dos dados plani-altimétricos com o GPS Geodésico foi utilizado um par de equipamentos (Base e *Rover*) da TOPCON. O GPS Base usado foi o receptor Legacy-H GD L1/L2 e antena Legant. Para levantamentos com soluções de ambigüidades em tempo real, além dos acessórios empregados normalmente no uso do GPS (tripé, base nivelante, bateria e cabos), foi acoplado o rádio ao receptor. O equipamento Hiper L1-L2 foi utilizado como GPS *Rover*, o qual apresenta integrado ao seu sistema fora o receptor, a antena e o rádio. Neste levantamento foram usados também bastão e bipé como acessórios.

Nos levantamentos com GPS foram aplicados métodos de posicionamento relativo, onde foram realizados primeiramente transportes de coordenadas a partir de técnicas de posicionamento estático. Posteriormente, foram adquiridos dados plani-altimétricos usando técnicas de posicionamento com solução de ambigüidades em tempo real, denominada de RTK (*Real Time Kinematic*).

A altitude adotada oficialmente no Brasil é referida ao Geóide e as altitudes fornecidas pelo GPS são Altitudes Elipsoidais (H), referidas ao *datum* WGS84 e ambas as altitudes são correlacionadas pela ondulação geoidal (N) por meio da fórmula: $H = h + N$. A ondulação geoidal é o desnível da superfície do geóide, acima ou abaixo da superfície de um determinado elipsóide (Blitzkow 1995), conforme apresentado na figura 2.5.

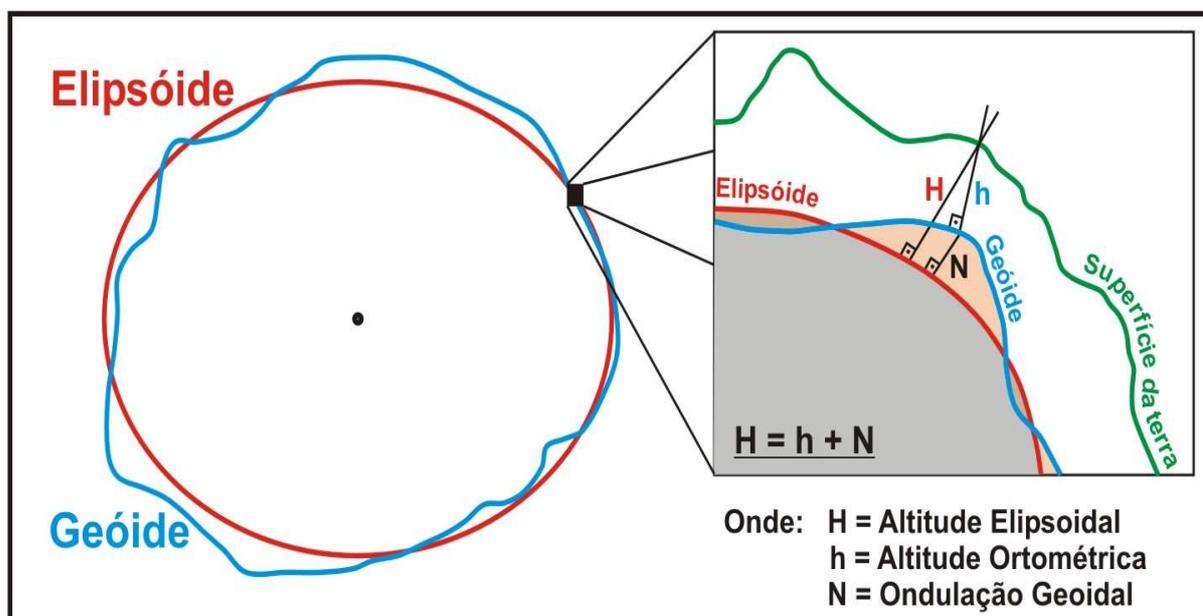


Figura 2.5 – Representação esquemática mostrando a relação entre altura elipsoidal, altitude ortométrica e ondulação geoidal (modificado de Blitzkow, 1995).

Para soluções das ambigüidades em tempo real foi utilizado o programa Survey Pro, instalado no coletor de dados Ranger 200 t. No programa foram configurados os dois receptores e especificadas: as coordenadas e altitude do GPS Base; o tipo e a altura das antenas dos GPS; a taxa de gravação dos receptores e a sintonia dos rádios para comunicação entre os dois GPS. Posteriormente, foram realizadas configurações para o levantamento dos pontos, onde se optou pela aquisição ponto a ponto definindo uma precisão de 5 mm na altitude. Após o levantamento, os dados foram exportados (programa Survey Pro) como arquivo ASCII e, posteriormente, transferidos do coletor de dados para o PC.

2.2.1.2- Estação total

A Estação Total é o conjunto que integra um teodolito eletrônico, um distanciômetro e um microprocessador que automaticamente monitoriza o funcionamento do equipamento e permitem a aquisição de dados com precisão

milimétrica. O equipamento tem capacidade de medir ângulos verticais e horizontais e distâncias horizontais verticais e inclinadas, além de processar e mostrar ao usuário uma gama de informações como, por exemplo, as coordenadas cartesianas de cada ponto coletado. Por estas características é amplamente empregado tanto em levantamentos topográficos como geodésicos.

O equipamento empregado neste trabalho foi o modelo 3305 DR, da marca TRIMBLE. Este equipamento é constituído pela estação, um tripé, dois bastões acompanhados de primas e respectivos suportes (figura 2.4). A estação foi utilizada principalmente na locação das malhas para perfilagem geofísica.

2.2.2- LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

O GPR ou GEORADAR, como também é conhecido, gera imagens de alta resolução com base no registro do tempo de viagem das ondas eletromagnéticas. O uso do GPR como uma técnica de imageamento de depósitos sedimentares começou a desenvolver-se no final da década de 90 (Knigh 2001, Bristow & Jol 2003 e Neal 2004). Segundo Bristow e Jol (2003), o GPR é utilizado primeiramente para estudos estratigráficos, onde perfis de alta resolução ajudam na determinação da arquitetura estratigráfica, da geometria dos corpos e na correlação e quantificação das estruturas sedimentares.

Este método investiga a subsuperfície utilizando ondas de rádio com frequências que podem variar entre 1 MHz e 1000 MHz. De acordo com Robinson & Michaud (1999) estas ondas são originadas através da transmissão de um pulso por uma antena transmissora; na propagação, os pulsos emitidos sofrem reflexões, refrações e difrações em descontinuidades presentes no subsolo, que são captados, ao retornar à superfície, por uma antena receptora, os quais são amplificados e registrados (figura 2.6). A energia irradiada no solo pela antena é normalmente refletida nas interfaces onde as propriedades dielétricas mudam (Annan 2001).

Mudanças de litologia, densidade e conteúdo de água determinam a energia da onda refletida de volta para a superfície (Robinson & Michaud 1999). Em cada ponto um traço é coletado, o qual compreende uma série de registros de valores igualmente amostrados no tempo. Estes traços são então plotados sequencialmente, formando um

radargrama (Annan 2001). Ainda segundo Robinson & Michaud (1999) a profundidade de penetração do sinal do radar é controlada pela atenuação do material, o qual é primeiramente influenciado pela condutividade elétrica.

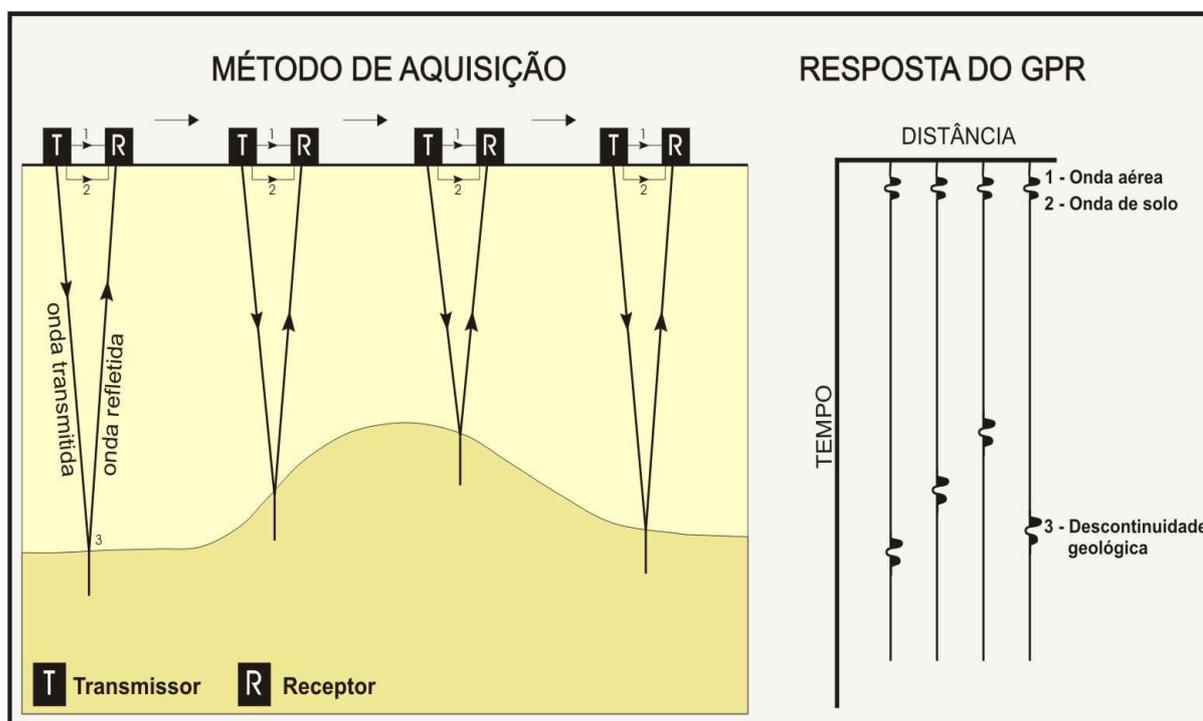


Figura 2.6 – Representação esquemática do GPR mostrando a aquisição e resposta em um perfil de reflexão. A figura mostra ainda a resposta da onda eletromagnética a diferentes meios. Modificado de Robinson & Michaud (1999).

No GPR as duas principais modalidades de aquisição de dados são: o perfil de reflexão e sondagem de velocidade (CMP, *common mid point*), Davis e Annan (1989) e Annan (1992).

Na aquisição de perfis de reflexão as antenas transmissora e receptora são mantidas a uma distância fixa. Elas são transportadas ao longo do perfil com afastamento constante (*Common Offset*). A aquisição pode ser realizada “passo-a-passo” ou no “modo contínuo”. Neste último, os disparos (de cada traço) são pré-determinados segundo um período de tempo designado ou uma distância fixa, a partir de um odômetro ou de um *Hip-chain*.

A CMP pode ser caracterizada como um experimento de campo para medir a velocidade das ondas eletromagnéticas em subsuperfície (Davis & Annan 1989). Neste experimento, as antenas transmissoras e receptoras são afastadas em sentidos opostos, em intervalos regulares, de modo que seu ponto médio permaneça fixo. Nos perfis CMP, os refletores são representados por hipérboles e as ondas de solo e ar

correspondem a linhas retas (figura 2.7). Estas hipérbolas permitem fazer estimativas das velocidades de propagação da onda eletromagnética em subsuperfície (Annan 2001).

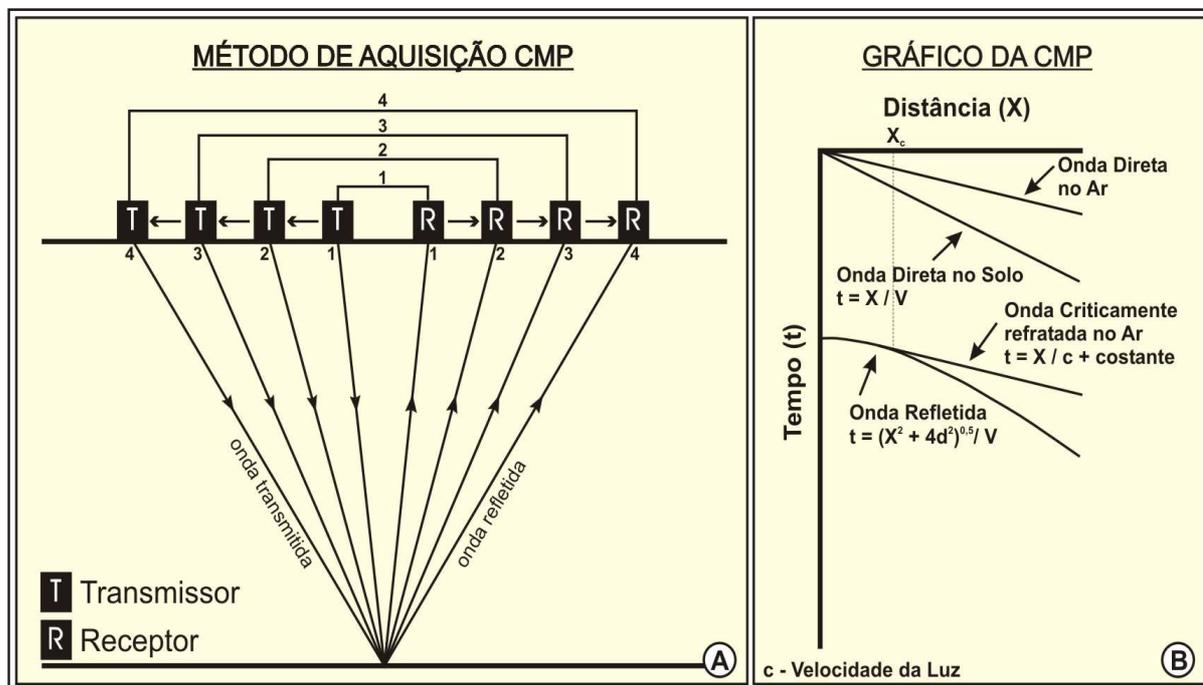


Figura 2.7 – Representação esquemática da CMP. (A) Representação da aquisição (Robinson & Michaud 1999); (B) Eventos idealizados do tempo de chegada em função da separação das antenas numa sondagem CMP (Porsani 2002).

As propriedades eletromagnéticas dos materiais influenciam na propagação do sinal eletromagnético, particularmente a permissividade dielétrica (ϵ), condutividade elétrica (σ) e permeabilidade magnética (μ). A velocidade de propagação da onda (v) depende principalmente da permissividade, ou constante dielétrica dos materiais (k). Sua determinação é necessária para converter o tempo duplo de viagem do sinal (distância percorrida pelo refletor entre a transmissão e o retorno do sinal) em profundidades estimadas (Robinson & Michaud 1999).

A profundidade de penetração do sinal é controlada pelo coeficiente de atenuação do material (α), o qual é influenciado primariamente pela condutividade elétrica. Assim, camadas condutivas, constituídas de argilas e depósitos com algum conteúdo salino e de umidade causam severos problemas de atenuação do sinal. A tabela 2.2 mostra alguns valores de velocidade (V), constante dielétrica (k), coeficiente de atenuação (α) e condutividade (σ) para os diferentes tipos de materiais.

Tabela 2.1- Valores das propriedades físicas de alguns materiais geológicos, com frequência de 100MHz, modificado de Davis & Annan (1989).

Materiais	k	V (m/ns)	σ (mS/m)	α (dB/m)
Ar	1	0,3	0	0
Água doce	80	0,033	0,5	0,1
Areia seca	3-5	0,15	0,01	0,01
Areia saturada	20-30	0,06	0,1-1	0,03-0,3
Argila	5-40	0,06	2-1000	1-300
Granito	4-6	0,13	0,01-1	0,01-1

É importante observar que as antenas de alta frequência conseguem menor profundidade de penetração em relação às antenas de baixa frequência (figura 2.7), que em contrapartida apresentam maior resolução (Annan 2001). Desta forma, a escolha da antena deve ser feita em função dos objetivos propostos pela pesquisa e da profundidade dos alvos.

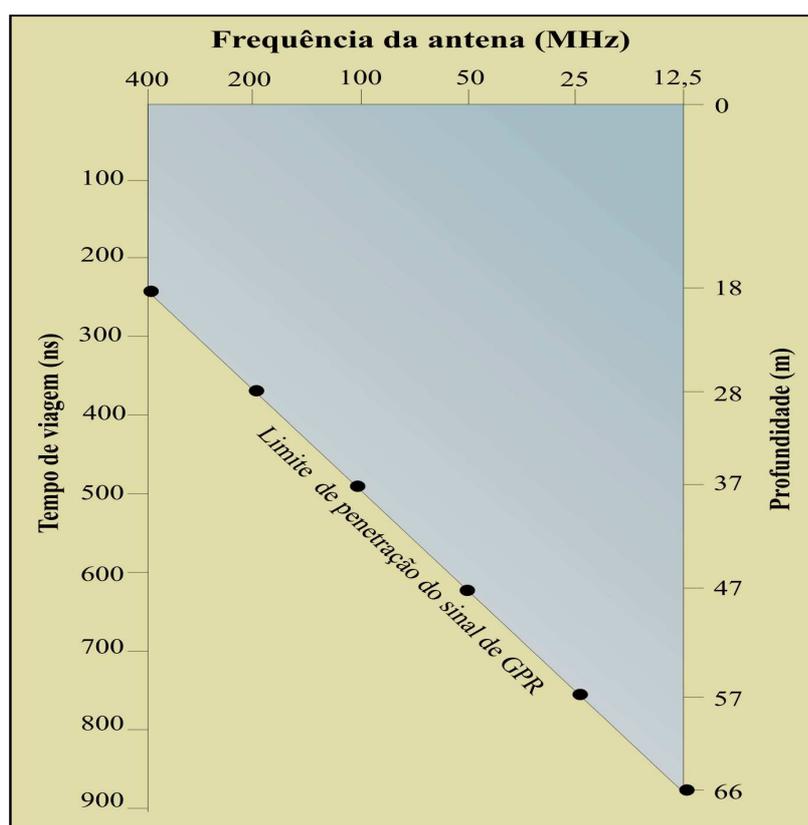


Figura 2.7- Relação linear entre a máxima profundidade de penetração do sinal de GPR e a frequência da antena escolhida. Fonte: Smith & Jol (1995).

Segundo Robinson & Michaud (1999), alguns parâmetros devem ser levados em consideração para o planejamento de um levantamento com GPR:

(a) Condutividade do solo – a alta condutividade do solo rende uma alta razão de atenuação das ondas eletromagnéticas e, como regra geral, o GPR não terá sucesso se a condutividade for maior que 20 mS/m;

(b) Interferências culturais – construções, cabos elétricos e carros causarão interferência se estiverem próximos da linha de levantamento;

(c) Tipo do material – areia e cascalho possuem, freqüentemente, baixa condutividade e geralmente, possuem altos contrastes, resultando em baixa atenuação e boa discriminação das feições sedimentares. Argila e silte são, freqüentemente, mais condutivas, resultando em alta atenuação;

(d) Conteúdo de umidade – a razão de atenuação é mais alta em materiais molhados do que nos secos. Ferros dissolvidos nos poros d'água aumentam a condutividade resultando em um aumento adicional na razão de atenuação;

(e) Profundidade de interesse e resolução requerida – existe uma relação entre a profundidade de penetração e resolução.

Existem dois padrões de radiação da onda eletromagnética: o padrão TE (transversal elétrico) e o padrão TM (transversal magnético). No padrão TE as antenas são orientadas perpendicularmente à direção do perfil GPR, os quais são orientados perpendicularmente à direção da estrutura de subsuperfície. O padrão TE possui a mais larga cobertura angular de um refletor em subsuperfície, ou seja, possui uma “área de pegada” GPR maior que o padrão TM (Annan 1992) sendo, portanto, o mais utilizado para o levantamento dos perfis e o mesmo utilizado na elaboração deste trabalho.

Todos os sistemas GPR consistem basicamente de quatro elementos básicos: antenas (transmissora e receptora), unidades eletrônicas (transmissora e receptora), unidade de controle e unidade display (Davis & Annan 1989). No presente trabalho foi empregado o RAMAC/GPR da MALA *GeoScience*. Este equipamento compõe-se de uma unidade de controle, antenas de 50, 100 e 200 MHz, baterias, um transmissor e um receptor eletrônico (figura 2.9).



Figura 2.9- Equipamento GPR da RAMAC/GPR da MALA GeoScience.

2.2.3- PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES GEOFÍSICAS

O processamento dos dados teve como objetivo realçar os refletores. Segundo Annan (2001), o processamento dos dados de radar envolve as seguintes etapas: a) edição dos dados; b) processamento do sinal; c) apresentação da imagem processada.

Neste trabalho, para os perfis de reflexão, foi realizado um processamento básico empregando os programas GRADIX (versão 1.11) e RADAN (versão 4.0.2), *softwares* específicos para o processamento de dados GPR. Em todos os perfis levantados foram aplicadas rotinas similares de processamento.

O processamento dos dados, com o auxílio de *softwares* específicos, é um procedimento necessário para uma melhor visualização dos dados obtidos em campo. Pode ser realizado no nível básico e avançado. O nível básico envolve as funções *Drift Removal*, *Set Time Zero*, ganho, filtros espaciais e temporais, conversão de tempo em profundidade e correção topográfica. O nível avançado reúne a deconvolução e a migração.

Para a edição dos dados de radar no presente trabalho foram empregados os *softwares* GRADIX (versão 1.11) e RADAN (versão 4.2). Cada *software* apresenta seus benefícios e limitações, sendo, portanto, utilizados de forma complementar. A remoção do *drift* (*Drift Removal*), que consiste em retirar distorções referentes à “fadiga” do equipamento, à temperatura, etc., e “**Correção do Tempo-zero**” foi feita no Gradix. Após esta etapa, o arquivo foi exportado para o Radan, onde foram executados os seguintes procedimentos:

- ✓ Ajuste do tempo zero (*Set Time Zero*) – esta operação permite ajustar o tempo inicial do registro do perfil à primeira onda que chega à antena receptora;
- ✓ Análise espectral – consiste em visualizar o espectro do perfil, a fim de remover os ruídos de alta e baixa frequência, utilizando-se de filtros;
- ✓ Ganho – permite aumentar a amplitude dos refletores em profundidade, que se mostram pouco nítidos em função da atenuação do sinal;
- ✓ Conversão de tempo duplo em profundidade – na determinação da profundidade é necessário calcular a velocidade de propagação do meio, que é obtida por meio da CMP. É importante ressaltar que a maioria dos sistemas

deposicionais apresenta heterogeneidades laterais e/ou verticais (variações de fácies), o que irá refletir em comportamentos distintos frente à propagação das ondas eletromagnéticas, resultando em diferentes velocidades. Assim, faz-se necessária a aquisição de várias CMP's, de forma a se obter um controle real da profundidade ao longo dos perfis; e,

- ✓ Conversão de arquivos - os arquivos foram convertidos em .bmp e .sgey para edição e interpretação.

Por fim, os arquivos foram carregados novamente no GRADIX para conversão do tempo em profundidade e para correção topográfica. Na conversão foram utilizados os dados obtidos nas diferentes CMP e para a correção topográfica os dados processados dos levantamentos plani-altimétricos. Finalmente, foi realizada a interpretação dos dados nos radargramas e identificados os parâmetros relacionados com a geometria do canal.

2.3- MODELAGEM 3D DOS DEPÓSITOS RECENTES

Após a coleta dos dados se faz necessário processar, integrar e analisar os variados dados digitais que foram reunidos. Na modelagem 3D foram utilizadas diversas ferramentas do *software* Gocad e definido um roteiro de funcionamento. Primeiramente, entra-se com os dados topográficos em forma de pontos, em seguida, criam-se os mapas por interpolação com base nos pontos já carregados. Posteriormente, inserem-se os radargramas exportados como imagem, com extensões jpeg, bmp, tiff, etc., e importados como objetos do tipo 2D, onde são georreferenciados. Em etapas posteriores, é feito um *drape* da imagem (rebatimento do plano da seção de GPR na superfície 3D gerada), onde se torna possível visualizar a seção adquirida em campo. Por último, faz-se a interpretação geológica.

A análise dos dados e apresentação dos resultados é realizada individualmente para cada uma das áreas de trabalho. Em seguida, integram-se todos os dados para uma melhor compreensão da dinâmica existente e são confeccionados bancos de dados parametrizados, a partir de informações obtidas nas modelagens.

2.4– MODELAGEM DE RESERVATÓRIOS

Pela complexidade e variedade dos dados, os *softwares* de modelagem de reservatórios são as ferramentas mais utilizadas para integrar os análogos aos dados de subsuperfície. Neste trabalho foi empregado o *software* Petrel em sua versão 2007.1.2.

O Petrel™ é um *software* desenvolvido pela Schlumberger, voltado à modelagem geológica de reservatórios, que permite uma integração multidisciplinar no estudo integrado de reservatórios. Nele é possível trabalhar com dados geológicos, geofísicos, petrofísicos e de produção (figura 2.10).

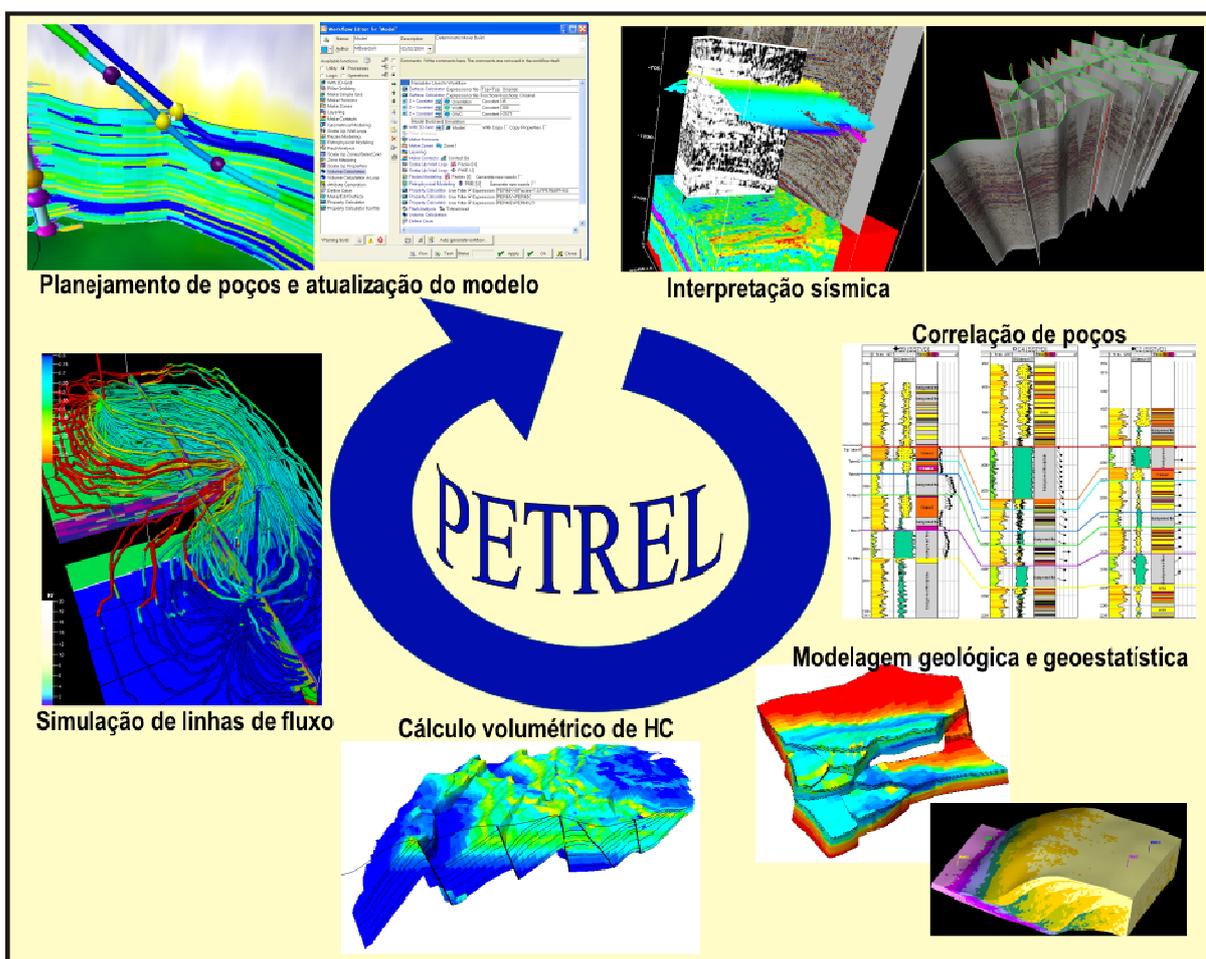


Figura 2.10 - Módulos principais do Petrel que permitem uma integração multidisciplinar no estudo de reservatórios.

Ele é dividido em vários módulos os quais possibilitam a interpretação sísmica, migração tempo-profundidade, correlação de poços, simulação de modelos estruturais e estratigráficos de alta resolução e precisão, cálculo de volume de óleo, análises de incertezas, simulações de linhas de fluxos, planejamento de novos poços, entre outras possibilidades.

Os dados de análogos recentes foram integrados a dois modelos de reservatório: um modelo sintético criado através da aplicação de redes neurais com dados de poços da Bacia Potiguar, existentes na literatura científica (intervalo Açu IV) e outro modelo de dados reais de um reservatório deltáico do Mar do Norte.

Uma típica rotina de trabalho de modelagem de reservatório foi realizada no sentido da maior para a menor escala. Seguindo, aproximadamente, os seguintes passos: (1) determinar topo, base e contato óleo/água; (2) preencher com as fácies usando simulação de variáveis discretas para obter realizações equiprováveis e assim como simulação orientada a objeto; (3) preencher o reservatório com a porosidade condicionando a distribuição faciológica; (4) calcular o volume de óleo *in place* (VOIP).

Em seguida, foi realizada uma análise de incertezas nos dois modelos, para quantificar as incertezas referentes à modelagem geológica e a influência do mesmo no cálculo de volume de óleo.

ESTADO DA ARTE SOBRE HETEROGENEIDADES, ANÁLOGOS E MODELAGEM DE RESERVATÓRIOS

3.1-INTRODUÇÃO

Os depósitos sedimentares apresentam heterogeneidades desde microscópicas até megascópicas, as quais resultam da variabilidade temporal e espacial dos processos que controlam desde a geração, transporte e deposição dos sedimentos, nas escalas de grão e fácies, até o preenchimento de bacias sedimentares, na escala da arquitetura deposicional (Caers 2005).

A maneira como as propriedades sedimentológicas de um depósito sedimentar relacionam-se entre si constitui um dos problemas fundamentais da Geologia. A compreensão entre a variabilidade temporal e espacial dos processos sedimentares e as propriedades sedimentológicas dos depósitos gerados por estes processos é de grande importância econômica (Sawakuchi & Giannini 2006). Por exemplo, para a modelagem de reservatórios petrolíferos, um dos grandes paradigmas é a caracterização das heterogeneidades faciológicas e petrofísicas. Segundo Tyler & Finley (1991), extraem-se, em média, apenas 34% do total de óleo contido nos reservatórios. Uma parcela significativa do óleo apresenta-se economicamente ou tecnologicamente não recuperável. Isto se deve, em parte, à dificuldade em caracterizar adequadamente o efeito das variações das propriedades petrofísicas sobre o fluxo do óleo assim como a incapacidade em prever as heterogeneidades do reservatório nas diversas escalas.

3.2 - HETEROGENEIDADES DE RESERVATÓRIO

As heterogeneidades de reservatórios podem ser definidas como o resultado da variação espacial das propriedades do reservatório nas mais diversas escalas, sendo as principais a faciologia, a geometria externa e a geometria interna e conectividade entre os corpos. Também pode ser expressa como uma função da arquitetura do reservatório refletindo o estilo deposicional original e as subseqüentes modificações diagenéticas e estruturais.

As características finais dos depósitos sedimentares são influenciadas por diversos fatores que atuam desde a escala de bacia (gigaescala), nas arquiteturas

estratigráficas (megaescala), nos elementos arquiteturais (macroescala), nas feições sedimentares (mesoescala) e até os atributos de texturas (microescalas). A quantificação dos parâmetros a serem modelados está mostrada na figura 3.1, em que são apresentadas as distintas escalas a fim de compor o banco de dados utilizado na definição do modelo geológico (Paim *et al.* 2003). Em geral se busca para servir como modelo geológico ao modelo tridimensional dos afloramentos análogos. Esta etapa é importante pois uma vez considerados as semelhanças e diferenças entre os análogos e reservatórios, o modelo poderá ser gerado. A análise das heterogeneidades procura reduzir as incertezas dos modelos a partir da integração de dados e favorece, portanto, o melhor conhecimento e a previsão do comportamento do reservatório.

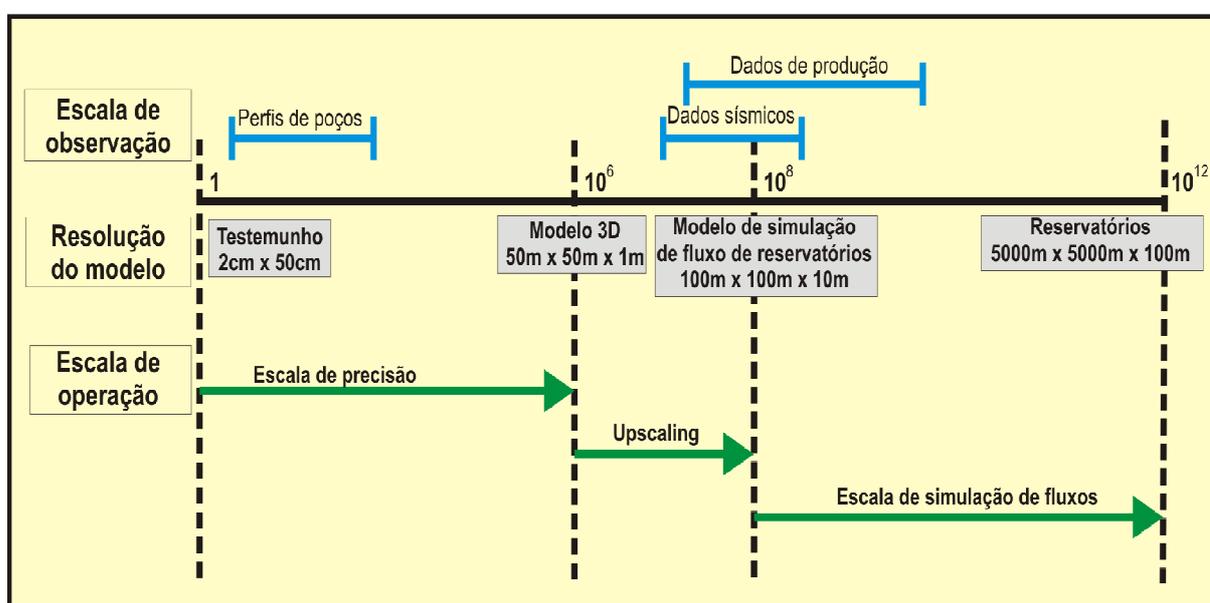


Figura 3.1- Aspectos principais das escalas de observação, resolução do modelo e escala de operação que são quantificados para representar heterogeneidades.

Os métodos tradicionais de descrever reservatórios como mapas de contorno e de parâmetros não estão totalmente capacitados para representar adequadamente as heterogeneidades internas dos reservatórios. Estes métodos são baseados em dados de poços, que geralmente são muito espaçados entre si, não sendo possível correlacionar um mesmo corpo entre dois poços, gerando assim uma incerteza que pode ter grande impacto na modelagem de reservatórios (Gauw 2007).

Segundo Jiang & Butler (1996), as relações genéticas entre litofácies e sistema deposicional, e entre litofácies e propriedades petrofísicas fazem das heterogeneidades parâmetros mapeáveis e previsíveis.

As heterogeneidades deposicionais são aquelas inerentes às mudanças faciológicas e relações geométricas. Porém, existe também heterogeneidades referentes a processos diagenéticos que resultam em uma mudança na porosidade e permeabilidade original. Contudo, ambas influenciam no padrão do fluxo (Shebl 1995), apesar das heterogeneidades deposicionais apresentarem um controle dominante (Hamilton *et al.* 1998).

Dentro desse contexto é que a caracterização de análogos recentes se torna importante para o entendimento dos processos físicos que depositaram os sedimentos e na predição de mudanças laterais na geometria e na distribuição dos corpos e fácies do reservatório. Um exemplo das diferentes hierarquias das heterogeneidades num sistema deposicional estuarino podem ser observados na figura 3.2.

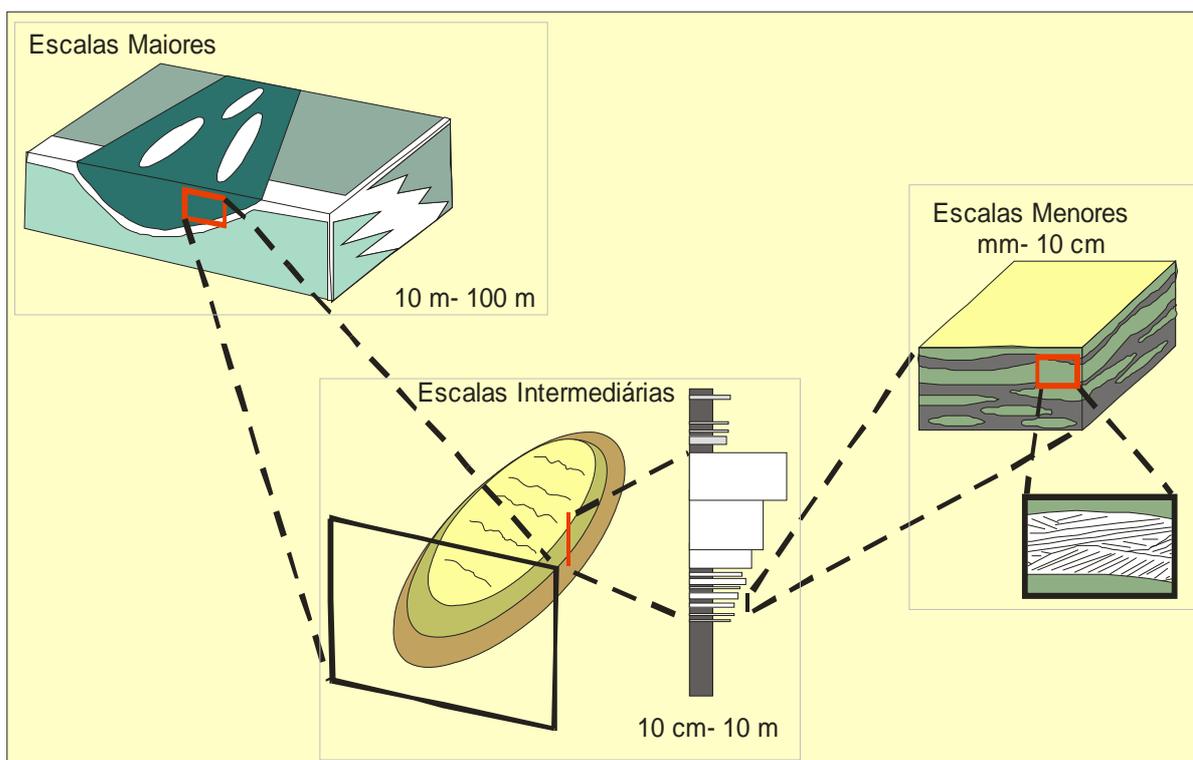


Figura 3.2- Hierarquia das heterogeneidades num sistema deposicional estuarino. Modificado de Peijs-van Hilten *et al.* (1998) e Yoshida *et al.* (2001).

Os passos principais para o estudo das heterogeneidades são: (1) a caracterização das heterogeneidades e unidades passíveis de serem discernidas em giga e megaescala, buscando definir as variações no tempo e no espaço dos padrões de preenchimento, utilizando para tanto sondagens regionais e seções sísmicas; (2) a definição das heterogeneidades e unidades em macroescala, pelo detalhamento dos

sistemas deposicionais alvos e pelo reconhecimento dos elementos arquiteturais e geométricos que os constituem, utilizando dados de poços, de afloramentos, levantamentos *Ground Penetrating Radar* (GPR); (3) a identificação das heterogeneidades em mesoescala, via definição do arcabouço faciológico que caracteriza os vários elementos arquiteturais, através de poços, testemunhos, perfis elétricos e descrição de afloramentos e (4) a avaliação das heterogeneidades em microescala, através de análises petrográficas e petrofísicas das rochas.

Uma outra abordagem mais centrada nos estudos de reservatórios foi proposta por Hamilton *et al.* (1998), que constitui-se em: (i) definir a arquitetura geológica dos reservatórios; (ii) investigar as tendências no fluxo de fluidos do reservatório; (iii) integrar estes dois parâmetros; e, (iv) estimar o VOIP (volume de óleo *in place*) original, a saturação de óleo residual e identificar desta forma as oportunidades de aumento de reservas.

3.3 - ESTUDO DE ANÁLOGOS

Os reservatórios são estudados a partir da integração de dados de superfície (mapeamento geológico, descrição e perfilagem de afloramentos) e subsuperfície (testemunhos de sondagens, perfis e dados de poços, sísmica, etc). O potencial de qualquer modelo físico ou numérico, baseado ou não em um conjunto de informações, será em grande parte, um reflexo da qualidade do modelo geológico elaborado ou interpretado. Assim sendo, para enfrentar os problemas de exploração e produção, a utilização de modelos análogos oferece um apoio fundamental tanto na pesquisa de novas fronteiras exploratórias como na definição mais adequada de exploração de petróleo.

Um modelo de reservatório é uma representação computacional dos parâmetros petrofísicos de porosidade, permeabilidade, saturação de fluidos, etc. Dado que a medida direta destes parâmetros é limitada torna-se necessária uma extrapolação da sua distribuição. Um melhor conhecimento dos parâmetros petrofísicos está associado a uma melhor compreensão da distribuição da fácies, sendo que os dois em conjunto podem ser empregados para prever a qualidade e a arquitetura do reservatório.

Os principais dados usados na modelagem de reservatórios estão baseados nas interpretações e correlações das superfícies sísmicas (Sherlock *et al.* 2007). Os dados

de poços são usados para definir escalas adicionais e determinar as propriedades dos horizontes geológicos que serão representadas nas células do *grid*. Entender a distribuição entre as superfícies sísmicas e as heterogeneidades geológicas entre elas permanece atualmente como um dos grandes desafios em se modelar os reservatórios. Além disso, como o tamanho da célula da maioria dos grides varia entre 50-200 m, existe o desafio de incorporar heterogeneidades em pequena escala. É crítico, então, o emprego de valores realísticos para as distribuições das fácies. Estudos de eventos sedimentares recentes podem dar alguma indicação da relação existente entre os processos deposicionais e a distribuição das fácies (Kenyon *et al.* 1995). Porém, a arquitetura preservada é fortemente controlada pelas mudanças após o soterramento ao longo do tempo (Jervey 1988).

Os afloramentos foram utilizados durante muito tempo para estudos de análogos e para a compreensão da geologia nos campos de petróleo (Collinson 1970; Glennie 1970). Os análogos satisfatórios são aqueles que geologicamente possam ser comparados ao sistema que está sendo estudado e que tenham uma exposição tridimensional suficiente para capturar as diferentes heterogeneidades. O estudo de análogos é a chave fundamental na melhoria da compreensão da arquitetura, geometria e na distribuição das fácies.

Estudos de análogos têm sido realizados de forma qualitativa e recentemente de forma quantitativa (Willis & White 2000). Os tradicionais estudos quantitativos (Dreyer *et al.* 1993; Chapin *et al.* 2004; Bryant & Flint 1993; Reynolds 1999) são focalizados no levantamento de dados de afloramento para “popular” os espaços interpoços dos modelos através de métodos geoestatísticos com algoritmos baseados em objeto e *pixel* (Floris & Peersmann 2002).

A reconstrução tridimensional é a maneira que parâmetros como a sinuosidade de canal, a conectividade e a continuidade dos corpos arenosos podem ser definidos. Tais parâmetros são fundamentais no controle da produção de hidrocarbonetos (Pringle *et al.* 2004a; Larue & Friedmann 2005). Os avanços e as técnicas utilizadas na obtenção dos bancos de dados quantitativos são apresentados a seguir.

3.3.1- COLETA DE DADOS

As técnicas empregadas para os estudos sedimentológicos de análogos têm evoluído do tradicional mapeamento geológico e registro de perfis (Barnes & Lisle 2004), para medições realizadas em fotomosaicos bidimensionais (Arnot *et al.* 1997) até a reconstrução tridimensional do afloramento (Menezes 2004). A localização e georreferenciamento avançaram da triangulação simples pelo uso de GPS de mão (Bryant *et al.* 2000) às aproximações integradas através de técnicas de aquisição digital e de GPS geodésico. As técnicas modernas permitem aquisição rápida e precisa de conjuntos de dados digitais (Thurmond 2004; Pringle *et al.* 2004b; McCaffrey *et al.* 2005). Um resumo das principais técnicas é esboçado a seguir (tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Sumário dos métodos digitais de coleta de dados em análogos (modificado de Pringle *et al.* 2006)

Método de coleta de dados digitais	Resolução	Aplicações	Vantagens	Desvantagens	Custo
Fotogrametria aérea digital	~5-25m	Mapeamento de grandes áreas e geração de modelos digitais do terreno.	Rápida aquisição e grandes áreas cobertas. Permite trabalho remoto.	Alto tempo de processamento (dias), baixa resolução.	Baixos quando se têm fotos aéreas em arquivo.
Fotogrametria terrestre digital	~0.1-0.5m	Estudo em detalhes da parte frontal dos afloramentos.	Aquisição rápida, poucos tempo de campo .	Tempo médio de processamento e interpretação (dias)	Relativamente baixo.
GPS de mão	~1-5m	Localização de pontos e mapeamento regional	Localização instantânea.	Grande erro na altitude (Z)	Muito baixo
RTK GPS	Menos de 10mm	Modelos digitais, levantamentos de afloramentos.	Coleta instantânea dos pontos, tempo médio de processamento.	Pouco útil na parte frontal dos afloramentos	Alto
Estação Total	3mm-10m	Levantamento de afloramentos.	Levantamento das frentes dos afloramentos.	Aquisição lenta, os dados precisam de processamento.	Médio
LIDAR (laser scanner)	5mm-20m	Levantamento 3D do afloramento ou da topografia.	Rápida aquisição	Alto tempo de processamento	Muito alto
GPR	~0.5-1m	Levantamento em subsuperfície.	Informações da subsuperfície com alta resolução, permite criar modelos 3D	Aquisição lenta, processamento lento. Funciona em algumas condições.	Modera-mente alto

3.3.1.1- Tecnologia digital de resolução baixa a média

A fotogrametria aérea digital (Pringle *et al.* 2004b) gera comparativamente um amplo conhecimento de uma área de estudo se comparado com outras técnicas de campo. Empregando os métodos fotogramétricos semi-automáticos podem ser gerados os modelos digitais de terreno (MDT) em 3D. Os MDT resultantes levam alguns dias para serem criados e permitem rapidamente localizar as zonas estratigráficas e estruturais mais interessantes. Os MDT criados podem ser posteriormente utilizados nos modelos de subsuperfície e integrados a outros dados digitais usados para uma “viagem virtual de campo”. A desvantagem principal da fotogrametria aérea digital é que a resolução normalmente não é boa para estudos detalhado de afloramentos (tabela 3.1).

Para áreas pequenas, durante os trabalhos de campo, os MDT podem ser criados usando-se um GPS. Até recentemente, os sistemas de mão eram relativamente inexatos especialmente na altitude (z). Uma maior exatidão posicional é obtida com uso do GPS geodésico; este método pode ser usado para se obter uma precisão de 0.05 - 0.1 m, a depender do local e das condições e posições dos satélites. A geração mais recente do dual-frequência RTK GPS permite aos usuários precisões de medidas (x,y,z) de milímetros e leituras realizadas em tempo real. Podendo se trabalhar com tempo especificado ou os intervalos de distância e os pontos selecionados pelo usuário.

Outra tecnologia que tem sido utilizada quando a exatidão e a precisão são menos importantes que a velocidade e a coleção de grandes volumes de dados é a fotogrametria terrestre digital (tabela 3.1). Este método usa câmeras digitais para realizar imagens de alta-resolução tomadas em diferentes posições e que posteriormente serão calibradas pelas medições realizadas nos afloramentos. As imagens resultantes são combinadas para criar modelos de superfície coloridos com precisão de até 0,1 m. Dados de variações de espessura e geometrias de canal podem ser obtidos.

3.3.1.2- Tecnologia digital de alta resolução

A captação de dados digitais empregando o LIDAR (*Light Detection and Ranging*) ou laser scanner (tabela 3.1) está se tornando uma das tecnologias modernas mais aplicadas ao estudo de análogos (Bellian *et al.* 2005). A tecnologia LIDAR combina um feixe de laser de baixa energia com um sistema sensorial de alta

sensibilidade, para modelar tridimensionalmente superfícies sólidas com rapidez e precisão. O sensor mede o tempo que um pulso de laser leva para atingir a superfície e retornar ao equipamento. Além do posicionamento espacial para cada ponto (x, y, z), este também apresenta os valores de reflectividade, que definem a intensidade de retorno do laser. Este atributo é importante no modelamento, pois diferentes feições podem ser identificadas a partir de imagem geradas com base na reflectividade. Como no levantamento são obtidos milhares de pontos rapidamente (até 12.000 pontos por segundo), o produto final é uma nuvem de pontos que representa a superfície do corpo imageado dentro de um domínio 3D, gerando assim grande volume de dados com alta exatidão (Pringle *et al.* 2006).

Com o *Laser Scanner* é possível a realização de trabalhos de campo com custos relativamente baixos e reduzir o tempo de levantamento, quando comparado às formas tradicionais.

3.3.1.3- A tecnologia de subsuperfície de alta resolução

Os testemunhos e perfis obtidos de poços rasos ou diretamente nos afloramentos são empregados em alguns estudos para se reconhecer as fácies e as propriedades das rochas (Browne & Slatt 2002). Tais dados geralmente são usados para melhorar a correlação entre afloramento e os dados de subsuperfície. Porém, ainda com uma analogia alta entre eles, estes dados não oferecem uma resposta direta da arquitetura sedimentar tridimensional.

Os dados geofísicos de subsuperfície com alta resolução têm a vantagem de aportar dados de uma área grande e podem ser integrados nos modelos digitais tridimensionais (tabela 3.1). Os dados de sísmica rasa têm sido empregados em estudos de análogos com pouco sucesso (Coleman *et al.* 2000). Já os levantamentos de GPR têm sido empregados com grande sucesso em estudos de afloramentos análogos e depósitos recentes (Bristow *et al.* 2000; Young *et al.* 2003; Jol *et al.* 2003; Staggs *et al.* 2003; Pringle *et al.* 2003). A integração do GPR e do GPS geodésico embora ofereça um alto nível de precisão dos dados que estão sendo levantados, requer um tempo demorado de trabalho de campo.

3.3.2-INTEGRAÇÃO DE DADOS, A ANÁLISE E A CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Após a coleta dos dados se faz necessário processar, integrar e analisar os variados dados digitais que foram reunidos. Pela complexidade e pela variedade dos mesmos (perfis de afloramentos, GPS geodésico, dados geofísicos e suas interpretações, nuvens de pontos do LIDAR, etc.) os *softwares* de modelagem de reservatórios (Petrel, Gocad, Roxar) são geralmente a ferramenta mais utilizada para integrar os análogos aos dados de subsuperfície. Além da manipulação destas bases de dados estes *softwares* proporcionam uma conexão direta entre geólogo e engenheiro de reservatório e permitem incorporar o resultado na simulação numérica do comportamento de fluxos de fluidos em meios porosos.

3.3.3- OS AVANÇOS FUTUROS E OS DESAFIOS

Os futuros desenvolvimentos da capacidade de processamento computacional, dos desenvolvimentos de novos *softwares* e de equipamentos de levantamento digital de campo terão um grande impacto no levantamento dos dados de análogos. Os progressos tecnológicos tornarão procedimento comum a aquisição de dados tridimensionais. Os sistemas GPS se tornarão mais precisos, robustos e permitirão carregamentos dos dados diretos para PCs remotos, facilitando assim o seu processamento em tempo real. A tecnologia LIDAR será adaptada para trabalhos de campo com desenvolvimento de *softwares* de classificação litológica semi-automatizada. Os equipamentos de GPR ficarão mais compactos e precisos, permitindo realizar levantamentos tridimensionais mais rápidos e de melhor resolução.

As novas aplicações de algoritmos geoestatísticos tais como análises multiponto e elaboração de objetos com características mais geológicas, com formas arredondadas, sinuosas e curvilíneas serão desenvolvidas para uma melhor relação entre os análogos e os reservatórios. O aumento das resoluções sísmicas nos levantamentos tridimensionais permitirão uma aproximação nas formas e estruturas sedimentares dos reservatórios e assim refinar os análogos que serão correlacionados.

A importância dos estudos de análogos sempre estará relacionada com a resolução e precisão dos dados adquiridos e com a seleção do análogo correto.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)