



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**REGISTROS NEOTECTÔNICOS NO DISTRITO FEDERAL:
IMPLICAÇÕES PARA O CONDICIONAMENTO DOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

THAISA OLIVEIRA XAVIER

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 002

Orientador

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos

BRASÍLIA, MARÇO 2010.



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE**

**REGISTROS NEOTECTÔNICOS NO DISTRITO FEDERAL:
IMPLICAÇÕES PARA O CONDICIONAMENTO DOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

THAISA OLIVEIRA XAVIER

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Nº 002**

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos (UnB)
Orientador

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (UnB)
Examinador Interno

Prof. Dr. Francisco Hilário Rêgo Bezerra (UFRN)
Examinador Externo



*Quero, um dia, poder dizer às pessoas que nada foi em vão...
Que o amor existe, que vale a pena se doar às amizades e às pessoas,
que a vida é bela sim, e que eu sempre dei o melhor de mim...
e que valeu a pena.*

Mário Quintana



Dedico este trabalho a todos que me amam e aos que torceram e que de alguma forma contribuíram para sua realização, seja com palavras, com pensamentos, com amizade...



AGRADECIMENTOS

Ao Eloi, pela amizade, paciência, disponibilidade, dedicação como pessoa, profissional e educador, pelo voto de confiança para realização do trabalho, incentivo e ainda por toda ajuda durante meu tempo em Brasília e mesmo pelos momentos de ‘puxadas de orelha’ que certamente ficarão na memória, mas que contribuíram para o meu crescimento tanto profissional quanto pessoal.

À Joyce pela amizade sincera, pelas conversas acadêmicas e também de assuntos aleatórios, companhia nos estudos e dias de confinamento e as vezes de ‘tortura’ na sala do nosso orientador, pelas caronas e hospedagens.

Aos Estudantes do IG, Olavo e Ana Raíssa, pela ajuda na coleta de informações no campo.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pela estrutura, subsídios de campo e oportunidade de realização da pesquisa.

Aos Professores e funcionários do IG.

Aos Colegas do curso pela amizade e companhia.

A minha Família querida pelo apoio sempre incondicional, e compreensão pelos momentos de ausência motivados pela realização da dissertação.

Aos meus amigos queridos pela amizade sincera, apoio e incentivo, em especial a Lu (por todos os momentos), Aline Caires (principalmente pelas consultorias inusitadas em horários ainda mais inusitados).

E a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e que eu possa ter esquecido de citar o nome, não reduzindo a sua importância.

Muito Obrigada!



SUMÁRIO

Resumo	xii
Abstract	xiii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS	2
Revisão Bibliográfica.....	2
Trabalhos de campo.....	3
Análise e Tratamento de Dados	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
CAPÍTULO II.....	6
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
2.1 GEOLOGIA.....	6
<i>Grupo Canastra</i>	8
<i>Grupo Paranoá</i>	8
<i>Grupo Araxá</i>	9
<i>Grupo Bambuí</i>	9
2.2 HIDROGEOLOGIA	10
<i>Domínio Poroso</i>	12
<i>Domínio Fraturado</i>	13
2.3 GEOMORFOLOGIA.....	15
2.4 PEDOLOGIA.....	17
2.5 CLIMA.....	18
CAPÍTULO III.....	20
ARTIGO 1 - NEOTECTÔNICA: ASPECTOS CONCEITUAIS E APLICAÇÕES.....	20
Resumo	20
Abstract	20
3.1 INTRODUÇÃO.....	21
3.2 ASPECTOS CONCEITUAIS	21
3.3 MÉTODOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADE NEOTECTÔNICA.....	24
3.3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	25



3.3.2 GEOFÍSICA – SISMICIDADE	29
3.3.3 GEOCRONOLOGIA	29
3.3.4 OUTRAS TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO	29
3.4 REATIVAÇÕES NEOTECTÔNICAS	31
3.5 IMPLICAÇÕES DA ATIVIDADE NEOTECTÔNICA	32
3.6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
CAPÍTULO IV	38
ARTIGO 2 - REGISTROS NEOTECTÔNICOS NO DISTRITO FEDERAL	38
E ENTORNO	38
Resumo	38
Abstract	38
4.1 INTRODUÇÃO	39
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO DO DISTRITO FEDERAL	39
4.2.1 LITOESTRATIGRAFIA	39
4.2.2 CONTEXTO TECTÔNICO	41
4.2 EVIDÊNCIAS E REGISTROS DA NEOTECTÔNICA NO DISTRITO FEDERAL	42
4.2.1 Gráben Maranhão	43
4.2.2 Gráben São Sebastião	45
4.2.3 Vales Tectônicos de Águas Claras	48
4.2.4 Assimetria de Vales Fluviais na Bacia do Rio Jardim	48
4.2.5 Falhas em horizontes lateríticos	50
4.2.6 Estruturas em Brechas Carbonáticas Paleógenas	51
4.2.6 Leques Aluviais Cenozóicos	52
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
CAPÍTULO V	56
ARTIGO 3 - CINEMÁTICA DA REATIVAÇÃO NEOTECTÔNICA DO DISTRITO FEDERAL ..	56
Resumo	56
Abstract	56
5.1 INTRODUÇÃO	57
5.1.1 Métodos	57
5.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	59
5.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL	60
5.4 CARACTERIZAÇÕES DAS FRATURAS	61



5.5 ANÁLISE E AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS FRATURAS	66
5.6 CINEMÁTICA DA REATIVAÇÃO NEOTECTÔNICA	76
5.7 IMPLICAÇÕES NA HIDROGEOLOGIA	79
5.8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
5.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
CAPÍTULO VI	82
ARTIGO 4 - IMPORTÂNCIA DA NEOTECTÔNICA NO CONTROLE DOS AQUÍFEROS FRATURADOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS REGIÕES DE CALDAS NOVAS-GO E DISTRITO FEDERAL	82
Resumo	82
Abstract	82
6.1 INTRODUÇÃO	83
6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	84
6.2.1 Descrição dos Aquíferos - Distrito Federal	85
<i>Domínio Freático</i>	85
6.2.2 Descrição dos Aquíferos - Caldas Novas	87
<i>Sistema Aquífero Intergranular</i>	87
6.3 CONTEXTO NEOTECTÔNICO	90
6.3.1 Mecanismos	90
<i>Distrito Federal</i>	90
6.3.2 Evidências de Registros Neotectônicos – DF e Caldas Novas	92
6.3.3 Implicações	93
6.4 DISCUSSÕES	94
6.5 CONCLUSÕES	95
6.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
CAPÍTULO VII	98
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

Índice de Figuras

FIGURA 2. 1 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO DISTRITO FEDERAL COM A LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS ESTUDADOS (MODIFICADO DE CAMPOS & FREITAS-SILVA 1998).....	6
FIGURA 2. 2 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO DF. MODIFICADO DE CAMPOS & FREITAS-SILVA (1998).....	10
FIGURA 2. 3 - CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DO DISTRITO FEDERAL (ADAPTADO DE FREITAS-SILVA & CAMPOS 1998B).....	12
FIGURA 2. 4 - MAPA DE COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO DISTRITO FEDERAL (ADAPTADO DE NOVAES-PINTO 1994A E MARTINS & BAPTISTA 1998).....	16
FIGURA 2. 5 - PRECIPITAÇÃO ANUAL NO DISTRITO FEDERAL (FONTE: CAESB 2001).....	19
FIGURA 4. 1 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO DISTRITO FEDERAL, COM INDICAÇÃO DAS ÁREAS ONDE FORAM IDENTIFICADAS FEIÇÕES NEOTECTÔNICAS (MODIFICADO DE CAMPOS & FREITAS-SILVA 1998).....	43
FIGURA 4. 2 - GRÁBEN DO MARANHÃO COM CONGLOMERADOS E ARENITOS DA FORMAÇÃO ABAETÉ EOCRETÁCEO DA BACIA SANFRANCISCANA. FONTE: GOOGLE EARTH.....	44
FIGURA 4. 3 - GRÁBEN DO MARANHÃO COM CONGLOMERADOS E ARENITOS DA FORMAÇÃO ABAETÉ EOCRETÁCEO DA BACIA SANFRANCISCANA.....	44
FIGURA 4. 4 - GRÁBEN DE SÃO SEBASTIÃO (MODIFICADO DE JOKO 2002). VER QUADRO EXPLICATIVO.....	47
FIGURA 4. 5 - PERFIL DE FALHAS NEOTECTÔNICAS PREENCHIDAS POR LATOSSOLO NAS OBRAS DO METRÔ EM ÁGUAS CLARAS (MODIFICADO DE MARTINS 2000).....	48
FIGURA 4. 6 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA FORMA DA DRENAGEM DO ALTO CURSO DO RIO JARDIM E RESPECTIVAS SEÇÕES PEDO-GEOLÓGICAS, MOSTRANDO A FORTE ASSIMETRIA DOS VALES FLUVIAIS.....	49
FIGURA 4. 7 - NÍVEL LATERÍTICO APRESENTANDO FALHAMENTOS AO LONGO DA DF-120.....	50
FIGURA 4. 8 - BRECHA CARBONÁTICA GERADA A PARTIR DE PROCESSOS DE DISSOLUÇÃO E RE-PRECIPITAÇÃO SOBRE CALCÁRIOS DO GRUPO BAMBUÍ.....	51
FIGURA 4. 9 - LAJEDO DE BRECHA CARBONÁTICA EXIBINDO FRATURA GRANDE, RUGOSA E ABERTA (EM PLANTA). 52	
FIGURA 4. 10 - CONGLOMERADO MATRIZ-SUPORTADO COM CLASTOS ANGULOSOS A SUBARREDONDADOS DE SILEXITOS E QUARTZITOS IMERSOS EM MATRIZ SILTO-ARENO-ARGILOSA (EM SEÇÃO).	53
FIGURA 5.1 - MAPA GEOLÓGICO DO DISTRITO FEDERAL COM A LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS ESTUDADOS E OS RESPECTIVOS DIAGRAMAS DE ROSETAS DE CADA PONTO (MODIFICADO DE CAMPOS & FREITAS-SILVA 1998).....	58
FIGURA 5.2 - FRATURAS ABERTAS, RUGOSAS E MÉDIAS PRESENTES EM BRECHA CARBONÁTICA CENOZÓICA (EM SEÇÃO).....	62
FIGURA 5.3 - FRATURA COM PREENCHIMENTO POR QUARTZO LEITOSO (EM SEÇÃO).....	62
FIGURA 5.4 - FRATURA COM PERCOLAÇÃO, EVIDENCIADA PELA TONALIDADE AMARELADA AO LONGO DO PLANO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA (EM SEÇÃO).	63
FIGURA 5.5 - FRATURAS ABERTAS DESENVOLVIDAS EM QUARTZITO DA UNIDADE Q3 DO GRUPO PARANOÁ. NOTAR A PRESENÇA DE PARES CONJUGADOS DO CISALHAMENTO (EM SEÇÃO).....	63

FIGURA 5.6 - FEIÇÃO SEMELHANTE A UMA ESCADA GERADA PELA INTERFERÊNCIA DE DUAS DIREÇÕES PERPENDICULARES DE FRATURAS (EM SEÇÃO).....	64
FIGURA 5.7 - FRATURAS TRATIVAS EM CALCÁRIO MICRÍTICO COM AMPLIAÇÃO DE ABERTURA DEVIDO À DISSOLUÇÃO DO CARBONATO (EM SEÇÃO).....	64
FIGURA 5.8 - QUARTZO EM CRISTAIS EUHÉDRICOS QUE PREENCHE FRATURA ABERTA DESENVOLVIDA EM ROCHA PELÍTICA DO GRUPO PARANOÁ (EM SEÇÃO).....	65
FIGURA 5.9 - AFLORAMENTO COM ALTA DENSIDADE DE FRATURAS FECHADAS DESENVOLVIDAS EM ARDÓSIAS DO GRUPO PARANOÁ (EM PLANTA).....	65
FIGURA 5.10 - ROSETA COM TODAS AS FRATURAS MEDIDAS DURANTE EM CAMPO. N= 1044 MEDIDAS DE FRATURAS.	66
FIGURA 5.11 - ROSETA DE FRATURAS FECHADAS.	67
FIGURA 5.12 - ROSETA DE FRATURAS PEQUENAS.	67
FIGURA 5.13 - ROSETA DE FRATURAS LISAS. N = 490.	67
FIGURA 5.14 - ROSETA DE FRATURAS ABERTAS. N = 425.....	68
FIGURA 5.15 - ROSETAS DE FRATURAS GRANDES.	68
FIGURA 5.16 - ROSETA DE FRATURAS RUGOSAS. N = 519.....	68
FIGURA 5.17 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO METARRITMITO ARENOSO NA UNIDADE R3, (PONTO 1). N = 129.	69
FIGURA 5.18 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO METARRITMITO ARENOSO NA UNIDADE R3, (PONTO 1), N = 129.	69
FIGURA 5.19 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO METARRITMITO ARENOSO NA UNIDADE R3, (PONTO 3) N = 14.	69
FIGURA 5.20 - DIAGRAMA DE ROSETE REFERENTE AO METARRITMITO ARENOSO NA UNIDADE R3, (PONTO 3). N = 14.	69
FIGURA 5.21 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO METARRITMITO UNIDADE R4 NO NÚCLEO RURAL LOBEIRAL, (PONTO 4). N = 38.....	70
FIGURA 5.22 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO METARRITMITO UNIDADE R4 NO NÚCLEO RURAL LOBEIRAL, (PONTO 4). N = 38.....	70
FIGURA 5.23 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q2, (PONTO 2). N = 23.	70
FIGURA 5.24 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q2, (PONTO 2). N = 23.....	70
FIGURA 5.25 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q3. (PONTO 5). N = 85.....	71
FIGURA 5.26 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q3. (PONTO 5). N = 85.....	71
FIGURA 5.27 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q3. (PONTO 7). N = 100.	71
FIGURA 5.28 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO QUARTZITO DA UNIDADE Q3. (PONTO 7). N = 100.....	71
FIGURA 5.29 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO GRUPO ARAXÁ, QUARTZO-MICAXISTO. (PONTO 6). N = 56.	72
FIGURA 5.30 - DIAGRAMA DE ROSETAS REFERENTE AO GRUPO ARAXÁ, QUARTZO-MICAXISTO. (PONTO 6). N = 56.	72
FIGURA 5.31 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AS ARDÓSIAS DA UNIDADE A DO GRUPO PARANOÁ. (PONTO 8). N = 72.	72



FIGURA 5.32 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AS ARDÓSIAS DA UNIDADE A DO GRUPO PARANOÁ. N = 72..	72
FIGURA 5.33 - ESTEREOGRAMA REFERENTE A UNIDADE PSAMO-PELITO-CARBONATADA, DO TOPO DO GRUPO PARANOÁ. (PONTO 9). N = 59.	73
FIGURA 5.34 - DIAGRAMA DE ROSETAS REFERENTE A UNIDADE PSAMO-PELITO-CARBONATADA, DO TOPO DO GRUPO PARANOÁ. (PONTO 9). N = 59.	73
FIGURA 5.35 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AS BRECHAS CARBONÁTICAS. (PONTO 10). N = 32.	73
FIGURA 5.36 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AS BRECHAS CARBONÁTICAS. (PONTO 10). N = 32.....	73
FIGURA 5.37 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO SILTITO E SILTITO ARGILOSO DO GRUPO BAMBUÍ, (PONTO 11). N= 112	74
FIGURA 5.38 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO SILTITO E SILTITO ARGILOSO DO GRUPO BAMBUÍ, (PONTO 11). N= 112.....	74
FIGURA 5.39 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO SILTITO E SILTITO ARGILOSO DO GRUPO BAMBUÍ, (PONTO 12). N= 45.	74
FIGURA 5.40 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO SILTITO E SILTITO ARGILOSO DO GRUPO BAMBUÍ, (PONTO 12). N= 45.	74
FIGURA 5.41 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AOS FILITOS DO GRUPO CANASTRA. (PONTO 13). N = 76.	75
FIGURA 5.42 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AOS FILITOS DO GRUPO CANASTRA. (PONTO 13). N = 76.....	75
FIGURA 5.43 - ESTEREOGRAMA REFERENTE AO CALCÁRIO DA BASE DO BAMBUÍ. (PONTO 14). N = 19.	75
FIGURA 5.44 - DIAGRAMA DE ROSETA REFERENTE AO CALCÁRIO DA BASE DO BAMBUÍ. (PONTO 14). N = 19.....	75
FIGURA 5.45 - ESQUEMA DEMONSTRATIVO DA COMPRESSÃO MÁXIMA (σ_1) EXISTENTE EM E-W, AO LONGO DO TEMPO GEOLÓGICO. CONSEQUENTEMENTE, OS ESFORÇOS PRODUZIDOS REATIVAM DE FORMA DIFERENCIAL AS ESTRUTURAS AO LONGO DE ANISOTROPIAS ESPECÍFICAS.	77
FIGURA 5.46 - EXEMPLO DE ANÁLISE DE LINEAMENTO CARACTERIZADO PELO ALINHAMENTO DA VEGETAÇÃO AO LONGO DE DRENAGEM RETILÍNEA, INDICADO PELAS SETAS VERMELHAS E PROJETADO PELO TRAÇO VERMELHO ATÉ O PONTO DE LOCALIZAÇÃO DE POÇO TUBULAR COM VAZÃO ANÔMALA. EXEMPLO NO CONDOMÍNIO ALTO DA BOA VISTA. ESTE POÇO APRESENTA VAZÃO DE 45 M ³ /H (GOOGLE EARTH 2009)....	79
FIGURA 6.1 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CALDAS NOVAS, GO E DISTRITO FEDERAL.....	84
FIGURA 6.2 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PRESENÇA DE CONES DE DEPRESSÃO NATURAIS NO PLATÔ DA SERRA DE CALDAS (CAMPOS ET AL. 2006).....	93

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 - RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO DOS DOMÍNIOS, SISTEMAS/SUBSISTEMAS AQUÍFEROS DO DISTRITO FEDERAL COM RESPECTIVAS VAZÕES MÉDIAS. FONTE: ADAPTADO DE CAMPOS & FREITAS-SILVA (1999)...	11
--	----



Resumo

Os processos neotectônicos apesar de pouco estudados são de fundamental importância no entendimento de reativações recentes de estruturas como fraturas e outras anisotropias originadas em período geológico anterior.

A identificação das reativações é principalmente evidenciada em feições impressas em depósitos quaternários, nos solos e no modelado da paisagem. Aliada a estas estruturas, estudos de outras áreas das geociências como hidrogeologia, geomorfologia, sismicidade, sensoriamento remoto, e outras, podem auxiliar na caracterização das feições neotectônicas. Os processos neotectônicos são particularmente importantes para o entendimento da evolução das paisagens (morfodinâmica) e para o condicionamento de direções de fluxo subterrâneo (hidrogeologia).

Esta pesquisa apresenta de forma sistemática e detalhada os principais registros da atividade neotectônica no Distrito Federal, de forma a realizar a caracterização de cada registro, bem como sua evolução.

Os principais registros da atividade neotectônica incluem: presença de falhas normais de pequenos rejeito em latossolos, existência de grábens que preservam rochas e feições recentes, alinhamento de drenagens em vales assimétricos, presença de indicativos de movimentação em materiais recentes, além do modelado da paisagem de uma forma geral.

A partir de levantamentos de campo foram coletados e analisados dados de diversas famílias de fraturas que permitiu a proposição de um modelo para a cinemática da reativação para a região.

Os dados foram abalizados estatisticamente, a fim de estudar a cinemática de reativação neotectônica do Distrito Federal. Tais reativações são evidenciadas em anisotropias e zonas de fraquezas geradas nas fases finais da orogênese brasileira. Estas anisotropias foram formadas em regime dúctil-rúptil, denominada neste trabalho de Tectônica Formadora e sua reativação ocorre em contexto de estabilidade crustal a partir do limite Neógeno - Paleógeno, denominada de Tectônica Modificadora.

São apresentados diagramas de rosetas e estereogramas de fraturas classificadas conforme suas feições mais importantes: tamanho, preenchimento, densidade e abertura. Foi feita ainda a correlação das áreas com maior incidência de fraturas neotectônicas com os poços de vazões anômalas para se verificar o controle da cinemática proposta na hidrogeologia local.

Os esforços neotectônicos promovem a abertura de fraturas e outras anisotropias que controlam o fluxo subterrâneo. Desta forma, as reativações neotectônicas têm papel fundamental no controle da distribuição destes aquíferos, na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, no condicionamento da profundidade econômica dos aquíferos, na influência do potencial quantitativo do aquífero e no controle do hidrotermalismo eventualmente observado em reservatórios subterrâneos.

A hidrogeologia das regiões do Distrito Federal e Caldas Novas-GO é representada por aquíferos fraturados. Os principais controles dos sistemas aquíferos fraturados incluem a densidade, abertura, interconexão e atitude das fraturas. Desta forma, foi estabelecida uma analogia entre os sistemas aquíferos destas regiões de forma a destacar o papel da neotectônica nos contrastes hidrogeológicos das duas áreas.

Na região de Caldas Novas as reativações neotectônicas foram mais expressivas que no Distrito Federal, de forma que naquela região existem fraturas com grande abertura a até 1000 metros de profundidade, enquanto na maior parte do território do Distrito Federal a menor intensidade das reativações é responsável pela manutenção de fraturas até no máximo 250 metros de profundidade.

Palavras-Chave: Neotectônica, Hidrogeologia, Aquífero Fraturado.



Abstract

The neotectonic processes, despite of small number of studies, are of fundamental importance in the understanding of reactivation of recent structures as fractures and other anisotropies originated in previous geological period.

The identification of the reactivation is mainly evidenced in quaternary deposits, in the soils and in the landscape. Associated to these structures, studies of other Earth Sciences as hydrogeology, geomorphology, seismology, remote sensing, and others, are able to help in the characterization of the neotectonic features. The neotectonic processes are particularly important to the understanding of the landscapes evolution of the (morphodynamic) and for the groundwater flow directions (hydrogeology).

This work analyzes statistically the set of measures carried out in fieldwork, in order to develop a systematic study of the kinematics of neotectonic reactivation of the Federal District, Brazil.

The main registers of the neotectonic activity include: presence of normal faults of small reject in latosoils, existence of graben that preserve recent rocks, alignment of streams in asymmetrical valleys, indicative of movement in recent materials, besides the landscape of a general form.

Based on data from several families of fractures collected in fieldwork, it was proposed a model for the kinematics of reactivation for the region.

The data were analyzed statistically in order to systemically study the kinematics of neotectonic reactivation of the Federal District. Such reactivations are evidenced in anisotropies and weaknesses zones generated in the final phases of the Brazilian Orogenesis. The anisotropies had been formed in ductile-ruptile regimen, called in this work of the Earlier Tectonic and its reactivation occurs in a context of crustal stability from the limit Neogene - Paleogene, called of Modifier Tectonic.

Roses and stereograms diagrams of fractures are presented, and these structures are classified by the most important features: size, filling, density and opening. It was performed the correlation of areas with higher incidence of neotectonics fractures with the wells with anomalous yield to verify the proposed kinematic control of the local hydrogeology.

The analysis of the several fractures families allowed the proposal of a model for the kinematics of the reactivation for the region. Thus, this reactivation promotes the opening of fractures and other anisotropies that control groundwater flow. Then, the Neotectonic reactivation plays a fundamental role in the controlling the aquifers distribution, in determining the hydrodynamic parameters, in determining the economic depth of aquifers, the influence of the quantitative potential of the aquifer and the control of hydrothermalism that may be observed in some reservoirs. It was developed an analogy between the aquifers in these regions in order to highlight the role of neotectonics in the hydrogeological contrasts of these two areas.

The Hydrogeology of the Federal District and Caldas Novas-GO regions are represented by fractured aquifers. The main controls of these aquifers include the density, openness, interconnection, attitude of the fractures.

In the Caldas Novas region the neotectonic reactivations had been more significant than in the Federal District area, what is responsible to keep large fractures up to 1,000 meters depth, while in the most part of the Federal District territory the lesser intensity of the tectonic reactivation is responsible to maintain open fractures at most 250 meters depth.

Keywords: Neotectonic, Hydrogeology, Fractured Aquifer.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os processos neotectônicos impõem forte controle na reativação e abertura de estruturas planares geradas nos estágios finais dos processos tectônicos neoproterozóicos. A abertura, densidade, interconexão e padrão geral das atitudes das fraturas como direções e mergulhos são os principais controles dos sistemas aquíferos fissurados que são os mais importantes do ponto de vista quantitativo na região do Distrito Federal.

Os recursos hídricos subterrâneos, por sua vez, têm apresentado importância crescente no abastecimento humano, industrial e no segmento de serviço. Isto demonstra a necessidade de ampliação do conhecimento dos aquíferos, que são de fundamental importância para o desenvolvimento do Distrito Federal.

A experiência na construção de poços tubulares na região do Distrito Federal tem mostrado o aumento do número de poços secos ou de baixa vazão. Desta forma, um dos principais objetivos deste trabalho é identificar as principais direções de fraturas - que são as regiões de maior produção de água, o que ressalta a importância dos aquíferos fraturados. E ainda, através da identificação e quantificação destas estruturas, torna-se possível a identificação e definição dos mecanismos e cinemática da deformação recorrente no Distrito Federal - reativações neotectônicas. Demonstrando, desta forma, a correlação entre a reativação de fraturas, por processos neotectônicos e a configuração dos aquíferos da região.

Consequentemente, este estudo pretende minimizar os riscos relacionados ao uso, desenvolvimento e exploração dos mananciais subterrâneos. Os resultados também deverão ser importantes para as ações de proteção e gestão dos aquíferos, como, por exemplo, na execução de projetos de recarga artificial dos aquíferos fraturados da região.

A importância da água subterrânea para o Distrito Federal é indiscutível, sendo que atualmente estima-se que, pelo menos, 15% do abastecimento total seja realizado pela exploração dos aquíferos fraturados da região, entre as quais a cidade de São Sebastião, os condomínios, indústrias, clubes esportivos, zonas rurais e outras situações.

A justificada para a realização do presente trabalho é baseada em dois aspectos: necessidade de ampliação do conhecimento sobre o controle da circulação de água subterrânea nos meios fraturados e ausência de estudos sistemáticos sobre a neotectônica da região. Mesmo considerando o amplo conhecimento hidrogeológico do Distrito Federal, as questões da implicação neotectônica no controle dos aquíferos nunca foram estudadas de

forma sistemática. Assim o conhecimento destes controles deve ser ampliado para a otimização da gestão destes recursos.

1.2 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho incluem:

- ✓ Confecção de um texto sobre aspectos conceituais e principais aplicações dos processos neotectônicos;
- ✓ Caracterização detalhada dos registros neotectônicos e as implicações das diversas estruturas neles indicadas;
- ✓ Definição do conjunto de tensores neotectônicos, e consequentemente caracterizar a cinemática da tectônica reativadora de esforços e a provável rotação destes tensores desde a separação sul-atlântica;
- ✓ Determinação do comportamento das fraturas em superfície nas diferentes rochas presentes na região do Distrito Federal, e consequentemente ampliar o conhecimento do sistema aquífero da região;
- ✓ Comparação dos sistemas aquíferos das regiões do Distrito Federal com aqueles presentes na região de Caldas Novas, destacando os parâmetros físicos e as condições de circulação das águas subterrâneas.

A partir deste estudo pretende-se definir as principais direções neotectônicas responsáveis pela maior circulação de água subterrânea e mostrar a importância das fraturas subhorizontais de alívio para a interconexão de zonas aquíferas.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir de uma série de atividades sequenciais, as quais incluíram as seguintes ações:

Revisão Bibliográfica

Realizou-se revisão bibliográfica prévia sobre o tema apresentado, que inclui trabalhos publicados sobre neotectônica desde aspectos conceituais sobre o tema, trabalhos clássicos até artigos mais atuais. Também foi feita pesquisa de dados publicados sobre o Distrito Federal, que inclui artigos, inventários, trabalhos técnicos, teses e dissertações, relatórios de estágios supervisionados e outros.

Esta atividade foi mais intensa no início de desenvolvimento da pesquisa, mas foi realizada em todo o período de realização do trabalho.

Trabalhos de campo

Inicialmente, foram realizadas pesquisas de campo para a identificação e estudo dos pontos com os registros e evidências propostas, incluindo a elaboração de desenhos esquemáticos dos registros neotectônicos identificados e sua determinação detalhada.

Posteriormente foram realizadas visitas de campo para coleta de dados e caracterização de fraturas. Essas estruturas foram quantificadas e qualificadas segundo suas características de abertura, presença ou não de preenchimento, tamanho, densidade, persistência, textura da superfície de atrito e ainda foram realizadas medições da direção e mergulho destes planos de fraturamento. Para coleta de dados de campo, houve a colaboração de 2 estudantes de graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Foram medidas 1044 fraturas em 14 pontos/áreas estudados nos diferentes tipos litológicos do Distrito Federal e entorno. Nesta etapa, teve-se a preocupação de se obter medidas em grandes exposições mais recentes (exemplo, novos cortes de estradas e grandes áreas de exploração de areia). Não foram utilizadas áreas de pedreiras de exploração de calcários, uma vez que as detonações nestas áreas modificam de forma significativa as estruturas (principalmente abertura e densidade).

Análise e Tratamento de Dados

A partir dos dados coletados nos trabalhos de campo, foram confeccionados diagramas de rosetas e estereogramas, separados por característica das fraturas identificadas e também por ponto de estudo em campo. Para confecção das rosetas e estereogramas utilizou-se o software *Rock Works*. A partir destes diagramas, e baseando-se em outros conceitos de geologia estrutural, foram feitas as análises da cinemática modificadora da região.

Com base em todos os dados obtidos e representados através das rosetas e também baseando no conhecimento já publicado sobre a hidrogeologia do Distrito Federal e a região de Caldas Novas, foi feita uma analogia e interpretação de todos os dados, aplicando-se o foco do trabalho que é a demonstração das implicações da neotectônica na configuração da hidrogeologia do Distrito Federal.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A configuração deste trabalho foi elaborada dividindo-se o tema de estudo em partes, as quais são organizadas em artigos científicos a serem submetidos a revistas especializadas de geociências. Desta forma, o formato do texto segue capítulos sequenciais diferentes do padrão de uma dissertação de mestrado clássica, onde quatro capítulos representam temas específicos organizados na forma de artigo.

Mesmo considerando a opção de apresentação na forma de artigos, ressalta-se que, foi

realizada no desenvolvimento deste trabalho todo o método tradicional de elaboração de uma dissertação convencional, tais com revisão bibliográfica, elaboração de capítulo com a caracterização da área e considerações finais e conclusões.

Para melhor apresentação final da dissertação, os artigos não foram organizados no formato das revistas para as quais serão submetidos. Os artigos foram preparados na forma de texto corrido, incluindo a numeração sequencial das figuras e referências bibliográficas ao final de cada artigo. Na parte final da dissertação é apresentada uma lista de referências bibliográficas completa, incluindo as citadas nos artigos e todas as citadas nos demais capítulos.

A seguir, é apresentado um guia contendo as informações que estão contidas em cada capítulo:

- ✓ **Capítulo I: Introdução** - informações e considerações gerais sobre a pesquisa realizada, bem como os métodos de pesquisa, orientações para o trabalho, justificativas, objetivos, organização da dissertação etc.
- ✓ **Capítulo II: Caracterização da Área de Estudo** - neste capítulo são apresentados os aspectos do meio físico da região, incluindo geologia, geomorfologia, pedologia, hidrogeologia, recursos hídricos e clima.
- ✓ **Capítulo III: Artigo 1: Neotectônica: Aspectos Conceituais e Aplicações** - neste capítulo é feita uma revisão sobre aspectos conceituais e principais aplicações de estudos de processos neotectônicos, baseando-se em trabalhos anteriormente publicados. Estes trabalhos abrangem diversas áreas de geologia aplicada, e servem como exemplo de identificação de atividade neotectônica e suas aplicações.
- ✓ **Capítulo IV: Artigo 2: Neotectônica no Distrito Federal: Registros e Implicações** - neste capítulo inicialmente é feita uma revisão geral da deformação Brasileira no Distrito Federal, e posteriormente a identificação das principais evidências de reativação neotectônica na região, mostrando casos conhecidos e novas propostas, as quais são estudadas com base em seus aspectos geológicos, pedogenéticos e geomorfológicos.
- ✓ **Capítulo V: Artigo 3: Cinemática da Deformação Neotectônica no Distrito Federal** - este artigo retoma a identificação e caracterização das estruturas do artigo anterior de forma quantitativa, com o objetivo de definir o arranjo dos tensores atuais sob os quais ocorreram as reativações neotectônicas apresentadas. A partir da análise quantitativa e qualitativa de fraturas (parâmetros como frequência, persistência, e penetratividade), é proposta a cinemática da deformação e as principais direções de



reativações recentes. Por fim é feita a correlação com a tectônica formadora, propondo as direções preferenciais dos esforços reativados.

- ✓ **Capítulo VI: Artigo 4: Importância da Neotectônica no Controle dos Aquíferos Fraturados: Estudo comparativo entre a região de Caldas Novas, GO e Distrito Federal** - neste artigo encontra-se a síntese do conhecimento sobre a hidrogeologia do Distrito Federal e a região de Caldas Novas, fazendo a comparação e destacando-se as diferenças fundamentais, tais como profundidade dos aquíferos, controle hidrogeológico, variações hidrogeoquímicas, condições de circulação do fluxo subterrâneo, demonstrando a importância da neotectônica no controle dos aquíferos fraturados.
- ✓ **Capítulo VII: Considerações Finais e Conclusões** - neste capítulo são enumerados os principais resultados do trabalho, bem como as recomendações para os estudos futuros.
- ✓ **Referências Bibliográficas** - neste tópico são listadas todas as referências de literatura citadas, tanto nos artigos, quanto nas demais seções da dissertação.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 GEOLOGIA

A área de estudo é geotectonicamente situada na porção central da Faixa Brasília, no interior do escudo cristalino brasileiro e está submetida a esforços compressivos devidos à zona convergente composta pelo Cinturão Andino (a oeste) e pela zona divergente representada pela Cadeia Mesoatlântica (a leste) (Almeida *et al.* 1981).

O Distrito Federal está localizado na região central da Faixa Brasília na zona de transição entre a porção externa desta faixa e o Cráton São Francisco. As unidades de rocha que afloram no Distrito Federal pertencem aos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí (Figura 2.1).

Nos pontos estudados na área foram observadas estruturas presentes em todas as unidades do Grupo Paranoá, além dos grupos Bambuí, Araxá e Canastra.

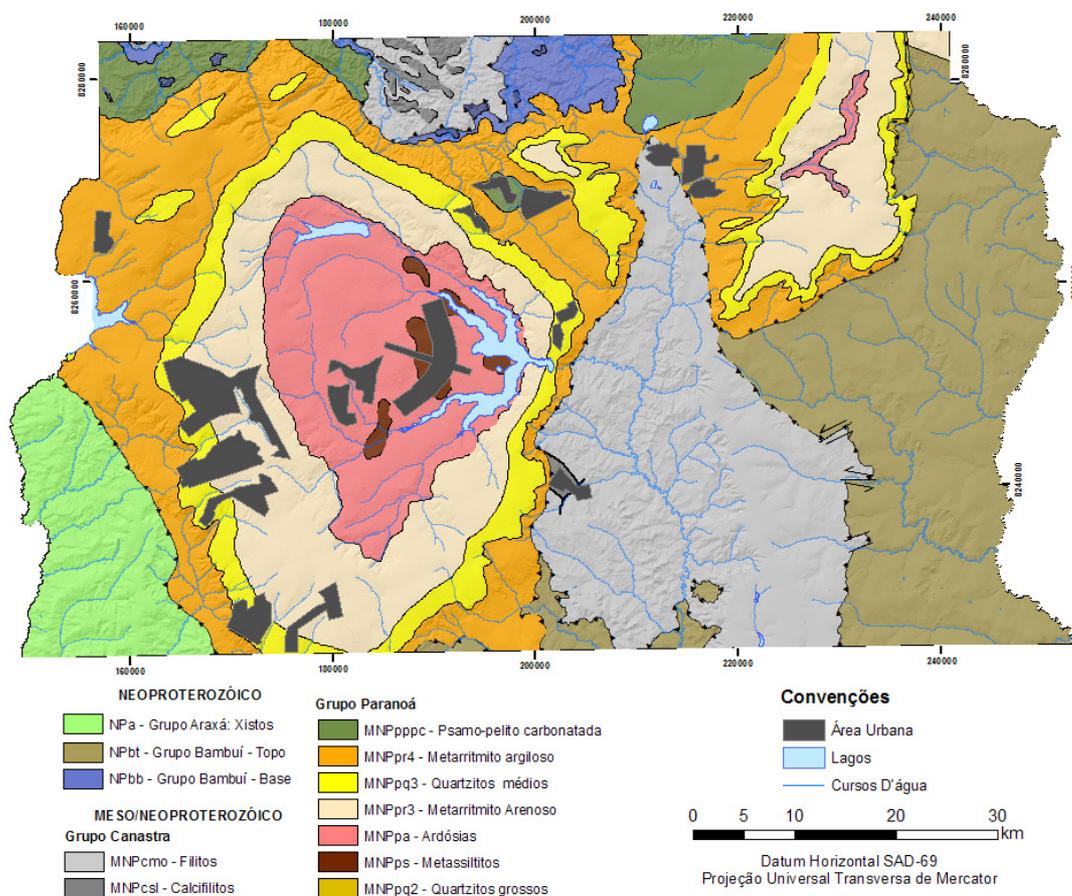


Figura 2. 1 - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal (modificado de Campos & Freitas-Silva 1998).

A Plataforma Sul-Americana possui uma composição complexa, refletindo uma história policíclica do seu embasamento, com idades desde o Paleoarqueano (3,5 Ga) ao Neordoviciano (500-480Ma) (Schobbenhaus & Brito Neves 2003).

Dentro do território brasileiro, destacam-se os crátons São Francisco, Amazônico e o possível Bloco Paranapanema (coberto pelos basaltos da Bacia do Paraná) que, durante o Neoproterozóico, convergiram e colidiram formando a Província Tocantins, orogenia que se estabilizou no Ciclo Brasileiro (~600 Ma.) (Valeriano *et al.* 2004).

A Província Tocantins foi compartimentada por Almeida *et al.* (1981) em três regiões estruturalmente distintas:

- ✓ Maciço Mediano, parte central dominada por gnaisses comumente intrudidos por rochas básicas e ultrabásicas, além de seqüências vulcano-sedimentares mineralizadas em ouro e cobre;
- ✓ Faixa de Dobramentos Uruaçu, constituída por metassedimentos pelíticos e psamíticos, cuja feição principal é a Megaflexura dos Pirineus, resultado da interseção de duas faixas de dobramentos não paralelas de idades e estilos diferentes.
- ✓ Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia, bordejando o cráton Amazônico, onde conglomerados foram depositados indicando uma transgressão marinha, seguido por uma deposição glacio-marinha em contato angular com uma unidade carbonática sotoposta por sedimentos pelíticos. Plútons graníticos, pós-tectônicos ocorrem na porção central da faixa. Depósitos de rochas terrígenas como arcósios (depósitos molássicos) marcam a sedimentação mais jovem da faixa.

Uma proposta que tem sido aceita atualmente para a compartimentação da Província Tocantins é de Fuck (1994), que a caracteriza de leste para oeste em: 1) Zona Cratônica; 2) Faixa Brasília; 3) Maciço de Goiás; 4) Arco Magmático do Oeste de Goiás e; 5) Faixa Paraguai-Araguaia.

A Faixa Brasília estende-se por cerca de 1000 km, na direção norte-sul, bordejando a margem oeste do Cráton São Francisco e a borda leste do Maciço de Goiás e é composta por rochas metassedimentares com grau de deformação progressivamente maior na direção oeste (Dardenne 2000). A Faixa Brasília tem sua compartimentação tectônica diferenciada em dois ramos: o segmento setentrional, de orientação NE e o segmento meridional de orientação NW, separados entre si pela Megaflexura dos Pirineus. A diferenciação entre os segmentos é devida, além da orientação, à estratigrafia, feições estruturais e grau de deformação (Valeriano *et al.* 2004, Freitas-Silva & Campos 1998).

Freitas-Silva & Campos (1998) propõem quatro conjuntos litológicos distintos para a

composição do contexto geológico regional do DF, os quais incluem os Grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares. Os grupos Paranoá e Canastra apresentam idade Meso/Neoproterozóico e os grupos Araxá e Bambuí idade Neoproterozóica.

A seguir são caracterizadas as unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo.

Grupo Canastra

Segundo Freitas-Silva & Campos (1998), este grupo consiste numa unidade litoestratigráfica que aflora desde o sudoeste de Minas Gerais ao extremo sul da Faixa Brasília, até a região sudeste de Goiás e norte do Distrito Federal. Embora este grupo esteja representado neste trabalho, apenas em um afloramento de filito, próximo ao Rio São Bartolomeu, este grupo representa cerca de 15% da superfície do Distrito Federal, e a quantidade de afloramentos é maior quando comparado ao Grupo Paranoá.

No Distrito Federal as litologias do Grupo Canastra são caracterizadas por fengita filitos, clorita filitos, quartzo-fengita-clorita-filitos, metarritmitos e filitos cabonosos. Quartzitos finos e micáceos ocorrem em níveis, centimétricos a decamétricos, de maneira restrita e descontínua. Neste grupo também estão presentes lentes de rochas carbonáticas que são os chamados mármores calcíticos, finos, cinza claro a escuros e maciços (Freitas-Silva & Campos 1998).

Grupo Paranoá

Faria (1995) estabeleceu a estratigrafia das rochas do Grupo Paranoá no Distrito Federal, fundamentando seus estudos na estratigrafia da área tipo de Alto Paraíso de Goiás. Das sete unidades da área tipo, apenas seis estão presentes no DF, são elas: **S**, **A**, **R3**, **Q3**, **R4** e **PPC**.

A unidade **Q2**, base do grupo Paranoá é restrita no DF, são quartzitos finos a médios com níveis conglomeráticos em direção ao topo. Estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada revirada indica retrabalhamento por meso e macro marés. A unidade **S** é composta em sua maioria por metassiltitos argilosos, ocorrendo subordinadamente metarritmitos arenosos no topo da unidade, quartzitos estratificados e lentes de metacalcário. A unidade **A** é representada por ardósias roxas com bandamentos siltosos apresentando clivagem ardosiana contundente e lentes de quartzitos. Intercalações irregulares de quartzitos finos, brancos e laminados com metassiltitos são típicas da unidade metarritmito **R3**, além das estratificações cruzadas, *hummockys* e marcas onduladas. A unidade **Q3** é composta por quartzitos finos a médios, selecionados com marcas onduladas e estratificação cruzada. Os metarritmitos argilosos da

unidade **R4** são alternâncias de metassiltitos e metargilitos com quartzitos finos. Estruturas do tipo *hummocky*, marcas onduladas, laminações cruzadas e raras gretas de contração estão presentes nesta unidade. Constituindo o topo da seqüência há a Unidade **PPC** Psamo-pelito-carbonatada composta por metargilitos, metassiltitos e ardósias intercaladas com lentes de calcário (às vezes dolomíticos) e quartzitos pretos e grossos.

Grupo Araxá

Este grupo apresenta a litologia composta por xistos variados com predominância de muscovita xistos e ocorrências restritas de clorita xistos, quartzo-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos (Freitas-Silva & Campos 1998). Ocorre limitado ao setor sudoeste do Distrito Federal, ocupando apenas 5% da área.

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí é a única unidade proterozóica que se distribui ao longo de toda a borda externa da Faixa Brasília (Freitas-Silva & Campos 1998). Dardenne (1978) propôs uma coluna estratigráfica para este grupo com as seguintes formações: Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

No Distrito Federal, este grupo se distribui na porção oriental ao longo do Vale do Rio Preto onde aparece em sua unidade pelítica do topo do Subgrupo Paraopeba da Formação Serra da Saudade, com base da Formação Três Marias. A seqüência pelítica é composta por folhelhos, argilitos e ritmitos finos de coloração verde que gradam para o topo da unidade para siltitos feldspáticos ou arcoseanos.

Na porção centro-norte do Distrito Federal foram encontrados calcários e dolomitos micríticos, folhelhos, margas siltitos argilosos e ricos em mica detrítica atribuídos à base do Grupo Bambuí. Tais tipos petrográficos são inequivocamente correlacionados às formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena e ocorrem em uma faixa que corresponde a cerca de 3% da poligonal do Distrito Federal.

A seguir é apresentada a coluna estratigráfica representando as unidades descritas anteriormente (Figura 2.2).

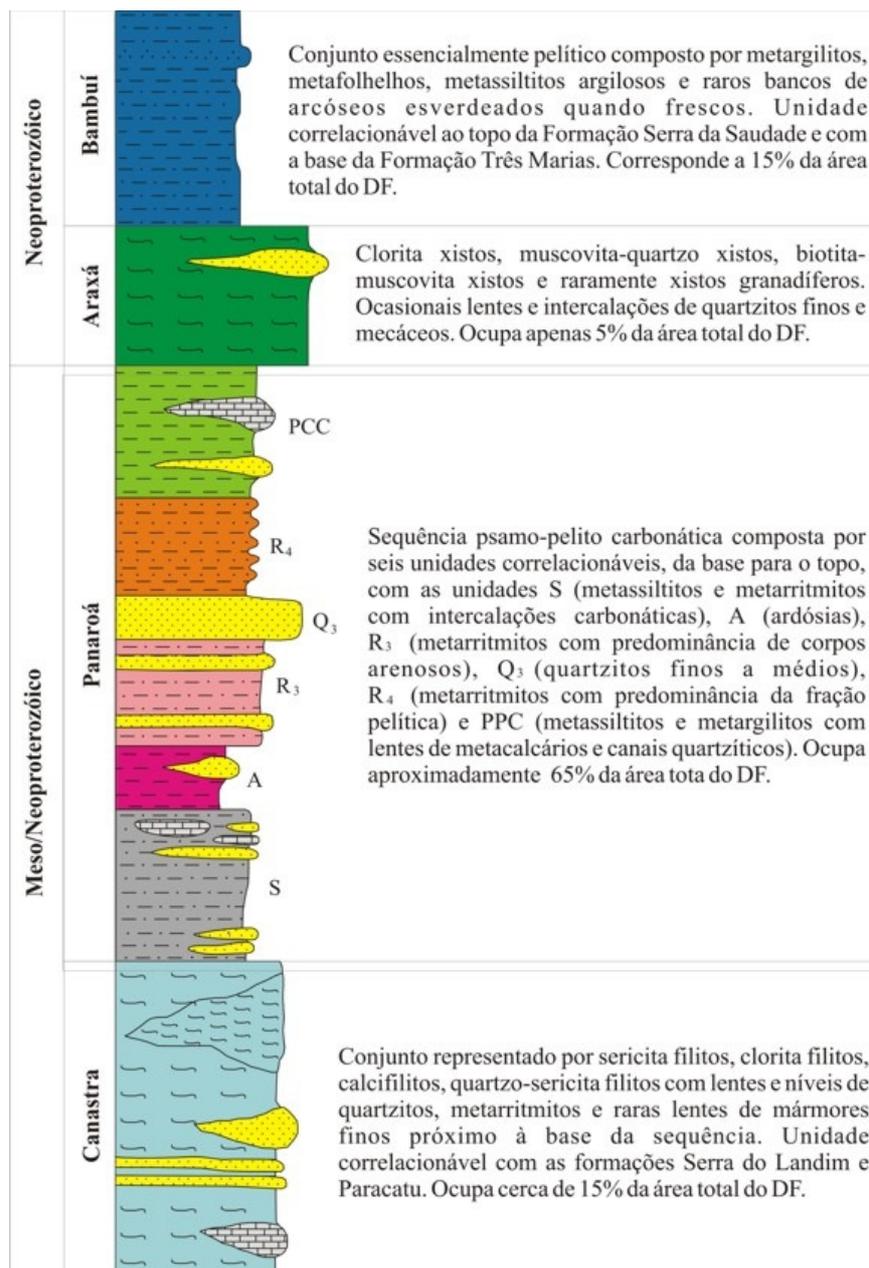


Figura 2. 2 - Coluna Estratigráfica do DF. Modificada de Campos & Freitas-Silva (1998).

2.2 HIDROGEOLOGIA

As principais informações sobre a hidrogeologia do Distrito Federal estão disponíveis em Romano & Rosas (1970), Barros (1987 e 1994), Amore (1994), Mendonça (1993), Campos & Freitas-Silva (1998 e 1999), Zoby (1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001), Cadamuro (2002), Joko (2002), Moraes (2004), Campos (2004), PGIRH (2005) e Lousada (2005).

No Distrito Federal, onde a geologia é caracterizada por rochas metamórficas, recobertas por espessos solos, podem ser diferenciados grandes grupos de aquíferos, que

correspondem à classificação maior dos reservatórios subterrâneos de água, Domínio Aquífero Intergranular e Domínio Aquífero Fraturado que inclui os reservatórios do Domínio Aquífero Físsuro-Cárstico. No caso do Distrito Federal, onde há grande variação de tipos litológicos dentro das várias unidades litoestratigráficas, a caracterização mais precisa dos vários sistemas aquíferos requer a subdivisão em subsistemas, evidenciando a real diversificação dos domínios, sistema e subsistemas aquíferos.

A Tabela 2.1 mostra a sinopse do quadro hidrogeológico do Distrito Federal e a Figura 2.3 traz a distribuição horizontal dos diferentes conjuntos de aquíferos rasos e profundos.

DOMÍNIO	SISTEMA	SUBSISTEMA	Vazão Média (m ³ /h)	Litologia/Solo Predominante
Freático	Sistema P ₁	Deverão ser definidos com o detalhamento da cartografia hidrogeológica.	< 0,8	Latossolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos.
	Sistema P ₂		< 0,5	Latossolo Argilosos.
	Sistema P ₃			Plintossolos e Argissolos.
	Sistema P ₄		< 0,3	Cambissolo e Neossolo Litólico.
Fraturado (Físsuro-Cárstico)	Paranoá	S/A	12,5	Metassiltitos.
		A	4,5	Ardósias.
		R ₃ /Q ₃	12,0	Quartzitos e metarritmitos arenosos.
		R ₄	6,5	Metarritmitos argilosos.
	Canastra	F	7,5	Filitos micáceos.
	Bambuí	-	6,0	Siltitos e arcóseos.
	Araxá	-	3,5	Mica xistos.
	Paranoá	PPC	9,0	Metassiltitos e lentes de mármore.
	Canastra	F/Q/M	33,0	Calcifilitos, quartzitos e mármore.

Tabela 2. 1 - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias. Fonte: Adaptado de Campos & Freitas-Silva (1999).

Os aquíferos do Domínio Poroso têm suas águas armazenadas nos espaços intersticiais dos solos, nos mantos de alteração rochosos denominados saprolitos e em materiais acumulados em aluviões de planícies de inundação das maiores drenagens (Campos & Freitas-Silva 1998).

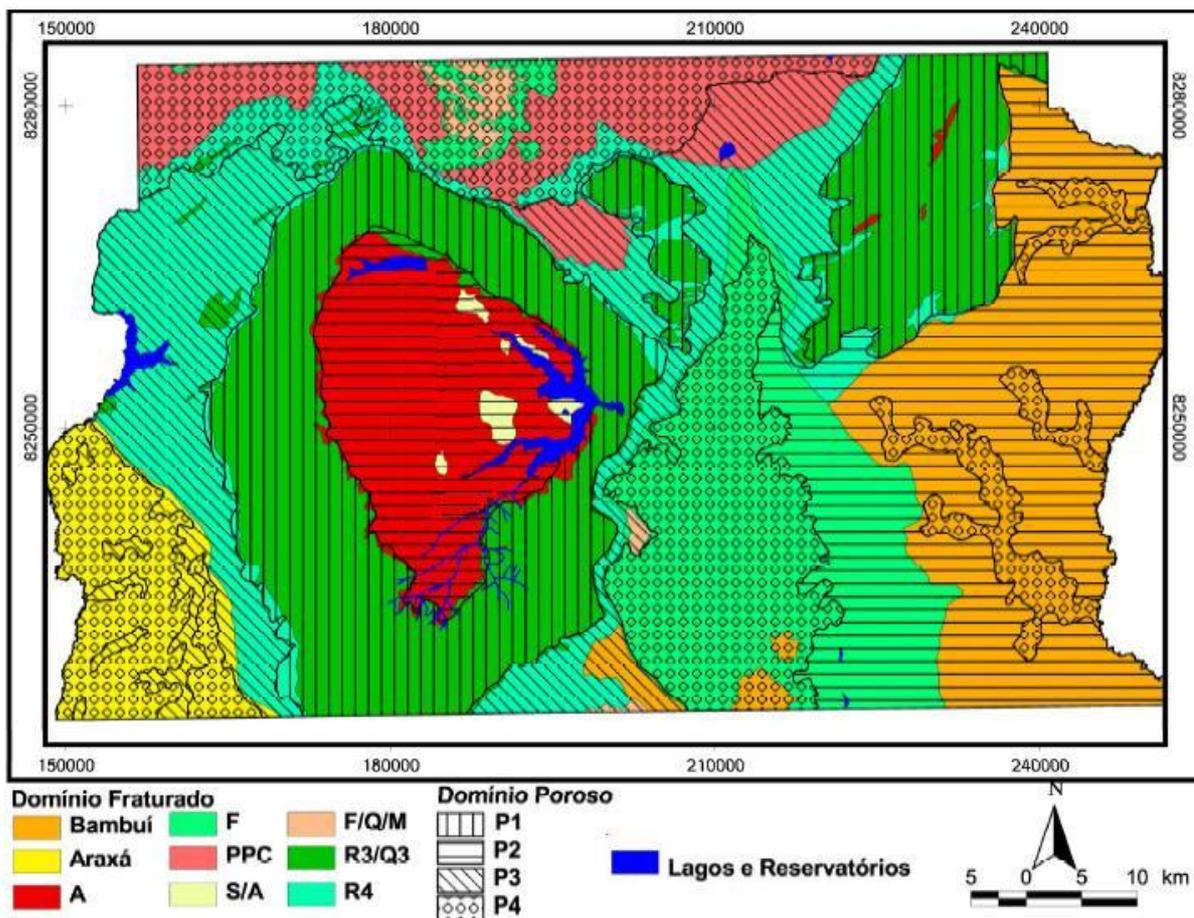


Figura 2. 3 - Contexto hidrogeológico do Distrito Federal (adaptado de Freitas-Silva & Campos 1998b).

Domínio Poroso

O Domínio Poroso não é totalmente homogêneo, possuindo variações locais devido aos parâmetros hidrogeológicos, como a espessura saturada (b) e a condutividade hidráulica (K). Em função dos parâmetros b e K são subdivididos em **P1**, **P2**, **P3** e **P4**. Os aquíferos deste domínio, geralmente possuem solos com perfis rasos a profundos (até 80 metros), que apesar das variações locais podem ser considerados homogêneos, compondo aquíferos do tipo livre ou suspensos. As águas desse domínio são aproveitadas através de poços rasos, susceptíveis a contaminação por agentes externos.

O **Sistema P1** se distribui em áreas onde as formas de relevo predominantes são as chapadas elevadas, suavemente onduladas, sendo que neste sistema se encontram as mais importantes áreas de recarga regionais dos aquíferos fraturados (Freitas-Silva & Campos 1998). Os aquíferos deste domínio são do tipo intergranulares contínuos, livres, de grande extensão lateral e com importância hidrogeológica local relativamente elevada (Campos & Freitas-Silva 1998).

O **Sistema P2** é pedologicamente classificado como latossolos, varia muito em função do conteúdo de argila, e com decréscimo de estruturação com profundidade, e com o aumento da estrutura granular muito fina. As espessuras dos solos e dos saprolitos são geralmente, superiores ao Sistema P1 devido ao fato de serem materiais pelíticos e desta forma serem mais susceptíveis aos processos de intemperismo químico, além da posição morfológica sobre as chapadas intermediárias. São aquíferos intergranulares, contínuos, livres de grande distribuição lateral, com importância hidrogeológica local mediana (Campos & Freitas-Silva 1998).

O **Sistema P3** é composto por latossolos vermelho argiloso e localmente como cambissolo, com espessuras médias inferiores a 15 metros, podendo ser considerado descontínuo lateralmente. Segundo Campos & Freitas-Silva (1998) este sistema está distribuído sobre relevo de chapadas rebaixadas ou sobre rebordos e escarpas. Este sistema define aquíferos intergranulares, livres, descontínuos e com grande distribuição lateral. Apresenta pequena importância hidrogeológica relativa local, sendo aproveitado apenas para abastecimento de pequenas propriedades rurais.

O **Sistema P4** caracteriza-se por cambissolos e neossolos litólicos. São sistemas aquíferos intergranulares, descontínuos, livres e muito restritos lateralmente com pequena importância hidrogeológica local e se situam em relevos movimentados, escavados em vales dissecados com forma de relevos côncavos e convexos e desníveis significativos (Campos & Freitas-Silva 1998).

Domínio Fraturado

No Distrito Federal, o Domínio Fraturado está associado à porosidade secundária, considerando-se que os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. São aquíferos livres ou confinados, não possuem profundidade fixa, são anisotrópicos, heterogêneos e possuem as maiores vazões em poços tubulares profundos. Baseando-se em estudos de geologia estrutural e análises de variações estatísticas de vazões esse domínio foi dividido em sistemas Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí. O risco de contaminação por agentes externos é muito baixo devido ao elevado poder filtrador que o Domínio Poroso sobreposto exerce.

Os aquíferos do domínio fraturado são caracterizados pelos meios rochosos, onde os espaços ocupados pela água são representados por descontinuidades planares, ou seja, planos de fraturas, micro fraturas e falhas. Como no Distrito Federal o substrato rochoso é representado por metassedimentos, os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. Dessa forma, os eventuais reservatórios existentes nas rochas

proterozóicas estão inclusos dentro do Domínio Fraturado, onde os espaços armazenadores de água são classificados como porosidade secundária.

Por estarem restritos a zonas que variam de alguns metros a centenas de metros, os aquíferos do Domínio Fraturado são livres ou confinados, de extensão lateral variável, fortemente anisotrópicos e heterogêneos, compondo o sistema de águas subterrâneas profundas. Com raras exceções, esse domínio está limitado a profundidades pouco superiores a 250 metros, sendo que em profundidades maiores há uma tendência de fechamento dos planos de fraturas em virtude do aumento da pressão.

Os parâmetros hidrodinâmicos são muito variáveis em função do tipo de rocha e, inclusive, variando significativamente em um mesmo tipo litológico. O principal fator que controla a condutividade hidráulica dos aquíferos desse domínio é a densidade das descontinuidades do corpo rochoso.

Esses aquíferos são aproveitados a partir de poços tubulares profundos e apresentam vazões que variam de zero até valores superiores a 100 m³/h, sendo que a grande maioria dos poços apresenta entre 5 e 12 m³/h. A existência de poços secos é controlada pela variação da fração granulométrica, sendo que quanto maior a concentração de quartzitos menor a incidência de poços secos e quanto maior a presença de material argiloso (metassiltitos e ardósias) maior a ocorrência de poços secos ou de muito baixa vazão.

A classificação desse domínio em quatro conjuntos distintos, denominados de sistemas aquíferos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí é feita com base no conhecimento geológico, análise estatística dos dados de vazões e feições estruturais.

O Sistema Paranoá foi subdividido nos seguintes subsistemas: **S/A**, **A**, **R₃/Q₃**, **R₄**, e **PPC** enquanto o Sistema Canastra é integrado pelos subsistemas **F** e **FQM**. As águas subterrâneas desse domínio apresentam exposição à contaminação atenuada, uma vez que os aquíferos do Domínio Intergranular sobrepostos funcionam como um filtro depurador natural, que age como um protetor da qualidade das águas mais profundas.

A recarga dos aquíferos desse domínio se dá através do fluxo vertical e lateral de águas de infiltração a partir da precipitação pluviométrica. A morfologia da paisagem é um importante fator controlador das principais áreas de recarga regionais.

A qualidade de água nos aquíferos é devida à interação com o substrato, natureza do substrato e o tempo de circulação da água. Fatores como cobertura vegetal, espessura da zona não saturada, precipitação e uso e ocupação do solo podem alterar a qualidade da água. O pH está ligado a natureza da rocha, sendo os valores mais ácidos (5,5) associados aos quartzitos, os mais neutros (~6) às rochas pelíticas e os mais básicos (até 10) às rochas

carbonáticas. A concentração de cálcio e magnésio é anômala em rochas carbonáticas, mas, no geral, é baixa tal como a alcalinidade e dureza.

Campos (2004) destaca que a super e sobrexploração do aquífero são problemas que merecem a devida atenção, pois a água subterrânea é um recurso hídrico estratégico para complementar o abastecimento público nas épocas de seca, além de sua preservação ser um fator relevante na manutenção das vazões dos recursos hídricos superficiais. Assim, destaca-se a importância do monitoramento dessas águas visando a racionalização do seu uso.

2.3 GEOMORFOLOGIA

O Projeto RADAMBRASIL, realizado entre as décadas de 70 e 80 realizou uma análise sobre a geomorfologia do estado de Goiás. De acordo com o relevo, altimetria, características genéticas e a interação do relevo com a litologia e estrutura são definidas, no estado de Goiás, cinco unidades e onze subunidades geomorfológicas. A área do Distrito Federal foi colocada como pertencente à subunidade Planalto do Distrito Federal englobado pela unidade Planalto Central Goiano.

O Planalto Central Goiano é associado com as áreas de dobramento e rejuvenescimentos Brasileiros e caracterizado por formas de relevo variadas, diversidade em rochas metamorfizadas e altitude variando de 400 a 1200m.

O Planalto do Distrito Federal está assentado sobre as rochas do Grupo Paranoá capeadas por uma cobertura detrítico-laterítica, revestindo os grandes interflúvios levemente dissecados com vegetação de cerrado em toda extensão plana dessa subunidade favoreceu a criação de diversas cidades satélites, incluindo em seus limites a Chapada dos Veadeiros.

O relevo dissecado ao norte/nordeste dessa subunidade foi originado por canais fluviais devido à erosão regressiva, expondo as camadas de rochas subjacentes. Na área de contato com a subunidade Planalto do Alto Tocantins, uma falha de empurrão coloca as rochas do Grupo Canastra sobre as do Grupo Bambuí e está relacionada a presença de escarpas descontínuas no desnível topográfico entre as duas subunidades.

Novaes Pinto (1987) e Martins & Baptista (1998) analisando os indicadores de paisagem no Distrito Federal, concluem que as feições geomorfológicas têm sua origem associada ao clima (intemperismo) e à geologia (rochas e eventos tectônicos). Com intemperismo diferencial químico intenso nas rochas, houve o aplainamento por corrosão e denudação lenta, formando extensos níveis de relevo plano a suave ondulado. Nesse trabalho são consideradas cinco unidades geomorfológicas: região de Planaltos (chapadas), Planaltos Intermediários (áreas de dissecção intermediária), Planícies (região dissecada de vales), Escarpas, que compõem a passagem entre Planaltos e Planícies e Rebordos, que perfazem a

transição entre Planaltos e Planaltos Intermediários (Figura 2.4).

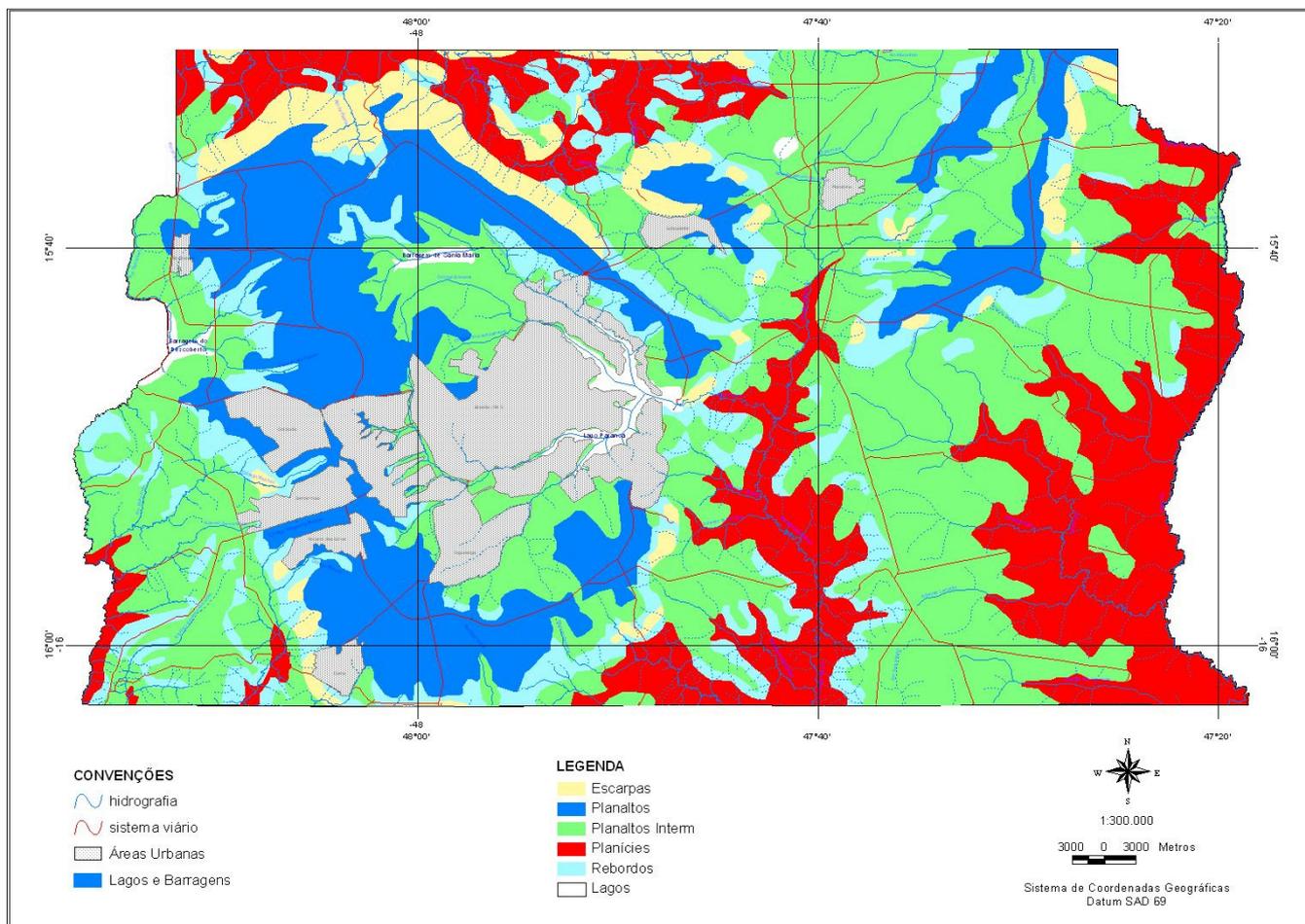


Figura 2. 4 - Mapa de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal (adaptado de Novaes-Pinto 1994a e Martins & Baptista 1998).

A região de Planaltos é subdividida em três subtipos de acordo com o nível topográfico: os subtipos superior e intermediário são sustentados por quartzitos e metarritmitos (Campos 2004), enquanto que o inferior apresenta litologias ardósianas, filitosas e xistosas.

As áreas de dissecação intermediária (Planaltos Intermediários) são controladas por rochas pelíticas, e a região corrugada de vales fluviais também conhecida como Vales Dissecados, está assentada em rochas impermeáveis com alto grau de erosão.

Apesar dos controles do clima, tipos de solos e estruturação neotectônica, Campos (2004) condiciona a evolução morfodinâmica do Distrito Federal com a geologia, observação esta também confirmada por Novaes Pinto (1987).

O trabalho de Martins & Baptista (1998) sugere uma classificação geomorfológica a partir das técnicas computacionais em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o Distrito Federal. Segundo esses autores, o Distrito Federal pode ser dividido em seis

compartimentos (Lagos, Rebordos, Escarpas, Planícies, Planos Intermediários e Chapadas Elevadas). Nesse mesmo trabalho, há ainda a classificação morfodinâmica que é entendida como processos morfogenéticos e demonstram a relação entre formação do solo, erosão e deposição.

2.4 PEDOLOGIA

Com base no mapeamento pedológico realizado pelo Serviço Nacional de Levantamentos de Solos (EMBRAPA 1978), as classes de solos, denominadas Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo Distrófico (Cd), recobrem cerca de 90% da área do Distrito Federal, e o processo pedogenético de laterização é o principal controlador da formação de solos na região.

A seguir são apresentadas e descritas as principais classes de solo mapeadas pela EMBRAPA (1978) no Distrito Federal. A nomenclatura utilizada nessa síntese foi atualizada segundo os critérios de classificação brasileira dos solos (Santos *et al.* 2006).

Latossolos (Vermelho - LV e Vermelho Amarelo - LVA): resultam de um alto grau de intemperismo e lixiviação, formando uma estrutura bastante porosa. Abrange a maior área do Distrito Federal, cerca de 55%, com mantos de até 20 metros de espessura, profundos e bem drenados, formados a partir de rochas metamórficas de baixo grau (ardósia, siltitos, metarritmitos, quartzitos e filitos) ricas em quartzo e sílica. Tais solos apresentam horizonte B com óxidos hidratados de ferro e alumínio, variável proporção de argila com estrutura 1:1 e minerais silicatados altamente resistentes, como o quartzo e o rutilo. A diferença entre o Latossolo Vermelho e o Vermelho-amarelo está relacionada com a cor do horizonte B, que varia de acordo com o tipo de óxido de ferro (Santos *et al.* 2006).

Cambissolos (Cb): são solos caracterizados por apresentar horizonte B incipiente, com certo grau de desenvolvimento, porém, ainda não suficiente para decompor minerais primários de fácil intemperização. Apresentam-se pouco evoluídos onde os horizontes A e B são pouco espessos, com espessura inferior a um metro. São extremamente erodíveis e friáveis quando expostos. Cobrem cerca de 30% da região do Distrito Federal e ocorrem preferencialmente nas vertentes das áreas dissecadas das bacias dos rios Maranhão, Descoberto, Paranoá e Preto (Cardoso 2002, in Carvalho *et al.* 2006).

Neossolos (Flúvico - RU e Quartzarênico - RQ): compreendem solos pouco desenvolvidos, em geral com espessura variável (desde centímetros até mais de 2 metros) e não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, porém, esta classe admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo o horizonte O ou o H (hístico) pouco espesso. São geralmente ricos em minerais primários ou matéria orgânica e na região do DF ocorrem,

preferencialmente, em condições de topografia acidentada.

Plintossolos (FF): solos que apresentam horizonte plíntico, dentro dos primeiros 40 centímetros do perfil. São formados sob condições de restrição à percolação de água e, comumente, são fortemente ácidos, com baixa saturação por bases. Ocorrem normalmente em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado.

Gleissolos (GX): desenvolvidos sob grande influência do lençol freático, próximo ou mesmo na superfície, evidenciada pela acumulação de matéria orgânica na parte superficial ou pela presença de cores acinzentada, indicando redução de ferro. São permanentes ou periodicamente saturados por água, o que resulta na deficiência ou ausência de oxigênio causado pelo encharcamento. Estes solos ocorrem em áreas planas e em 4,2% da região do Distrito Federal.

Nitossolos (Vermelho - NV): são profundos e bem desenvolvidos. Apresentam horizonte B nítico e argila de baixa atividade. São, em geral, moderadamente ácidos a ácidos, com saturação por bases variável.

Argissolos (PV): são de profundidade variável, apresentam horizonte B textural e argila de atividade baixa. São geralmente ácidos com saturação por bases alta.

Chernossolos (MX): compreendem solos com alta saturação por bases, argila de atividade alta e horizonte A chernozêmico. São pouco coloridos e imperfeitamente drenados.

Organossolos (O): possuem horizonte hístico com mais de 40 cm de espessura, sobre qualquer outro tipo de horizonte subsuperficial. No Distrito Federal comumente ocorrem em forte associação com gleissolos.

Os solos são importantes do ponto de vista da análise neotectônica, pois compõem a camada que é mais sensível aos movimentos tectônicos, de forma que amplas áreas com solos espessos indicam áreas tectonicamente estáveis a prolongados períodos de tempo recente (Paleógeno e Neógeno). Por outro lado, áreas com solos rasos e pouco desenvolvidos são atribuídas a áreas tectonicamente elevadas que comumente sofreram soerguimentos recentes.

2.5 CLIMA

De acordo com a classificação climática de Köppen (*in* Codeplan 1984), no Distrito Federal podem ocorrer, em função de variações de temperaturas médias e de altitude, os seguintes tipos de clima: Tropical Aw, Tropical de Altitude Cwa e Tropical de Altitude Cwb.

O clima do Distrito Federal é caracterizado pela existência de forte sazonalidade: uma estação chuvosa e quente, entre outubro e abril, e outra fria e seca, de maio a setembro. A

média pluviométrica anual varia entre 1.200 e 1.800 mm, onde o mês de janeiro apresenta o maior índice pluviométrico médio (320 mm/mês) e os meses de junho, julho e agosto registraram os menores (50 mm/mês). A Figura 2.5 apresenta a distribuição anual da precipitação no Distrito Federal em duas décadas (entre os anos de 1979 e 1999).

A temperatura média anual varia entre 13 e 22°C, sendo setembro e outubro os meses mais quentes (20 a 22°C) e junho, o mais frio (16 a 18°C). A umidade relativa pode, durante alguns dias de agosto e setembro, atingir o valor mínimo de 11%, enquanto que nos meses mais úmidos varia em torno de 75%. A média de insolação no período mais seco, de abril a setembro, é de 200 h/mês e no período chuvoso, de outubro a março, é bem menor, com média de 130 h/mês.

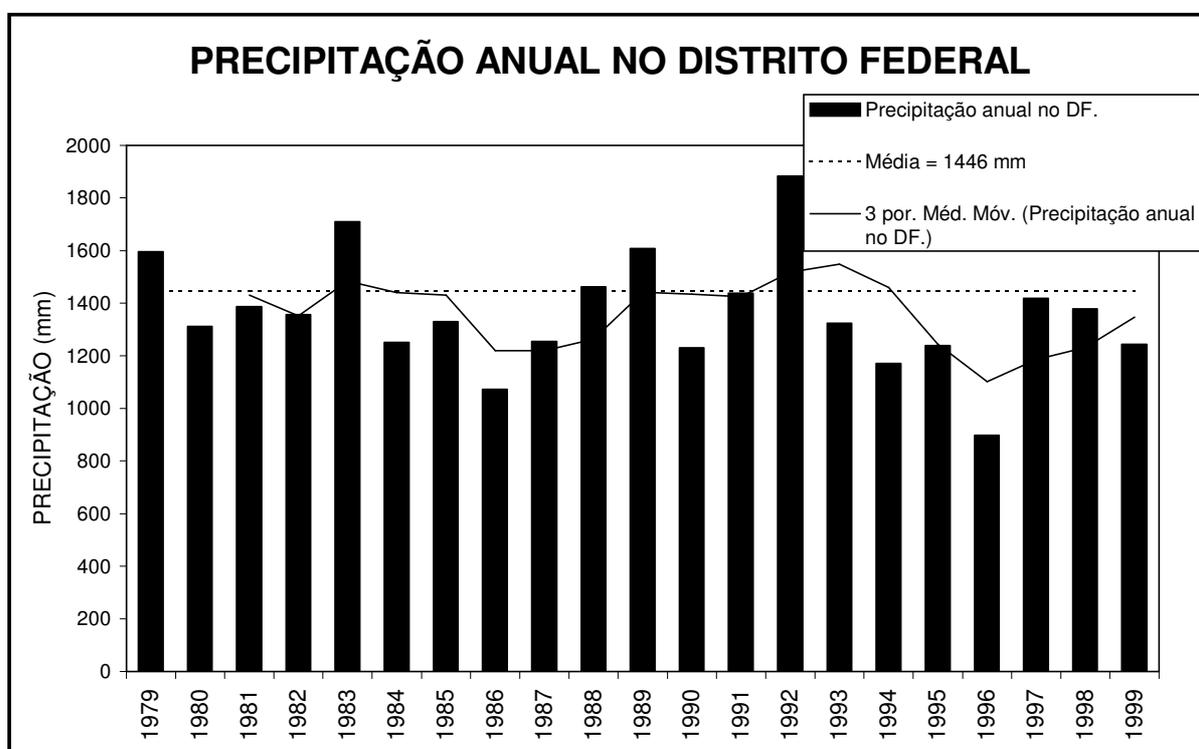


Figura 2. 5 - Precipitação anual no Distrito Federal (Fonte: CAESB 2001).

CAPÍTULO III

ARTIGO 1 - NEOTECTÔNICA: ASPECTOS CONCEITUAIS E APLICAÇÕES

Resumo

Este trabalho apresenta uma síntese sobre os aspectos conceituais, as terminologias e aplicações da neotectônica, trazendo ainda considerações importantes sobre a ciência, bem como sua utilização e implicações, propondo métodos para seu estudo. Os processos neotectônicos apesar de pouco estudados são de fundamental importância no entendimento de reativações recentes de estruturas como fraturas e outras anisotropias originadas em período geológico anterior. A Neotectônica corresponde à tectônica ressurgente que atua sobre anisotropias e zonas de fraquezas geradas em fases finais de eventos orogenéticos. A identificação das reativações é principalmente evidenciada em feições impressas em depósitos quaternários, nos solos e no modelado da paisagem. Aliada a estas estruturas, estudos de outras áreas das geociências como hidrogeologia, geomorfologia, sismicidade, sensoriamento remoto, e outras, podem auxiliar na caracterização das feições neotectônicas. Os processos neotectônicos são particularmente importantes para o entendimento da evolução das paisagens (morfodinâmica) e para o condicionamento de direções de fluxo subterrâneo (hidrogeologia). Este trabalho apresenta diferentes formas de aplicação e traz uma abordagem de como outras áreas de estudo com interface com a neotectônica podem auxiliar na caracterização e entendimento dos processos, exemplificando a partir de trabalhos publicados as aplicações destas áreas afins.

Abstract

This paper presents a synthesis on the conceptual aspects, terminology and application of neotectonics, and show important considerations on this science, as well its uses and implications, proposing methods for these studies. The neotectonic processes despite of little studied are of fundamental importance in the understanding of reactivation of recent structures as fractures and other anisotropies originated in previous geological period. Neotectonic corresponds to the resurgent tectonic that is developed on weaknesses zones generated in the final phases of orogenic events. The identification of the reactivation is mainly evidenced in quaternary deposits, in the soils and in the landscape. Associated to these structures, studies of other Earth Sciences as hydrogeology, geomorphology, seismology, remote sensing, and others, are able to help in the characterization of the neotectonic features. The neotectonic processes are particularly important to the understanding of the landscapes evolution of the (morphodynamic) and for the groundwater flow directions (hydrogeology). This work presents different forms of application and brings an approach showing how other areas of study with interface with the neotectonic are able to help in the characterization and understanding of these processes, exemplifying by the literature the application of these related areas.

3.1 INTRODUÇÃO

A Neotectônica é um tema pouco estudado pelos geocientistas. Entretanto, os processos neotectônicos são de fundamental importância no entendimento de reativações recentes de estruturas como fraturas, desenvolvidas em período geológico anterior.

Este trabalho traz uma síntese sobre os aspectos conceituais e a terminologia aplicada a neotectônica e ainda considerações importantes sobre esta ciência, bem como sua utilização e implicações, propondo métodos de identificação destas estruturas. O objetivo principal inclui a identificação de atividade neotectônica e sua utilização como ciência guia no entendimento de outros processos, principalmente em áreas da geologia aplicada.

Inicialmente são abordados conceitos sobre o tema do mundo e também é feita uma contextualização aos processos ocorridos em território brasileiro.

No Brasil central, os processos neotectônicos atuam sobre anisotropias e zonas de fraquezas geradas nas fases de encerramento da orogênese brasileira, modificando a configuração destas estruturas. No extremo oeste do território a neotectônica pode ser influenciada pelos processos andinos e em certas áreas do nordeste há interferência de falhas transformes no desenvolvimento de processos neotectônicos.

3.2 ASPECTOS CONCEITUAIS

O conceito de neotectônica é vinculado aos eventos de movimentação tectônica considerados recentes quando comparados aos últimos registros de eventos crustais de grande amplitude desenvolvidos em determinada região.

Este conceito é recente, tendo surgido em Geociências a partir da década de 1950, sendo sua importância fundamental, pois os estudos de caracterização neotectônica influenciam diretamente outras áreas aplicadas de estudo, como hidrogeologia, geotecnia, pedologia, geomorfologia entre outras.

Apesar dos processos neotectônicos envolverem esforços atuantes em grandes profundidades, os efeitos e reflexos são observados em níveis crustais mais rasos, e envolve questões de uso da geologia aplicada essencialmente ao Quaternário. Esse aspecto e a total falta de conhecimento desses controles em muitas regiões mostram a importância e necessidade de se desenvolver estudos relacionados ao tema.

O termo Neotectônica foi primeiramente utilizado por Obruchev (1948) que mostra que são movimentos tectônicos recentes ocorridos no fim do Terciário e início do Quaternário que possuem um papel decisivo na formação do modelado de relevo contemporâneo. Após Obruchev (1948), outros autores tiveram importância no desenvolvimento do conceito. Schultz (1939 *apud* Mescherikov 1968) e Wegman (1955) introduziram os termos *newest tectonic*

(tectônica mais jovem) e *lebendige tektonik* (tectônica viva), respectivamente. Em 1960, foi publicado um mapa sumário da neotectônica da URSS caracterizando quantitativamente as amplitudes de soerguimentos e depressões crustais durante o Neógeno-Quaternário. Este trabalho deu subsídios a maior parte dos pesquisadores que assumiram que o início do estágio neotectônico começa no Mioceno, a partir do limite entre o Paleógeno e o Neógeno.

A partir disto várias modificações vem sendo realizadas por diversos autores. As principais diferenças são no que diz respeito ao tempo e ao espaço. Essas discussões na tentativa de modificação do termo podem ser conhecidas em (Nikolaev 1962 *apud* Mörner 1989ab).

Nikolaev (1962 *apud* Nikolaev 1974) define que a neotectônica se trata de um ramo da geologia que abrange os processos tectônicos ocorrentes durante o Cenozóico Superior (Neógeno-Quaternário). Esses processos teriam reativado formas estruturais antigas ou criado formas novas de expressão evidente, parcial ou encoberta, no relevo da superfície da Terra.

Mercier (1976) caracteriza a neotectônica como sendo o elo entre fenômenos tectônicos ativos e geológicos. Segundo este autor, o estudo destes fenômenos permite uma análise mais precisa da deformação e sua cronologia. Enquanto que Angelier (1976) definiu neotectônica como sendo o período no qual se pode extrapolar observações geofísicas à luz de dados geológicos.

Segundo Jaim (1980) os movimentos contemporâneos são os ocorrentes na crosta terrestre, que se manifestavam no tempo histórico, estando em atividade até o presente e passíveis de observações imediatas. O autor ressalta que é conveniente denominar movimentos contemporâneos os dos últimos seis mil anos, durante os quais o nível oceânico se estabeleceu após o último período glacial. Desta forma, Jaim (1980) distinguiu os movimentos jovens, que ocorrem no Holoceno e os atuais, considerando os movimentos do Neógeno-Quaternário como causadores do modelado do relevo atual.

A partir de Sengör (1982 *apud* Sengör *et al.* 1985) as definições sobre neotectônica tornaram-se mais semelhantes ao conceito assumido neste trabalho. Este autor definiu o período neotectônico como sendo o tempo decorrido desde a última reorganização tectônica principal em escala regional.

Hancock (1986 *in* Hancock & Williams 1986) considera que é inútil a seleção de uma data arbitrária para o início da fase neotectônica no Neógeno ou Quaternário, aplicada globalmente para o período no qual estruturas neotectônicas teriam se formado. Este autor propõe que a fase neotectônica deve ser considerada iniciada quando a configuração atual dos limites de placas e movimentações relevantes foram estabelecidas.

Blenkinsop (1986) modificou a proposta anterior feita por Hancock (1986), definindo que o início da fase neotectônica seja estabelecido a partir dos campos de *stress* contemporâneos de uma região. Dessa forma, a comparação regional de direções significativas de compressões e extensões horizontais pode ser inferida a partir das estruturas comprovadamente ativas durante um tempo apropriado, como as determinadas por medidas *in situ* ou por soluções de planos de falhas.

Mais tarde Pavlides (1989) publicou que o termo neotectônica como sendo o estudo de eventos tectônicos jovens, os quais ocorreram após a orogenia final da região ou, mais precisamente, após a última reorganização tectônica significativa. Este autor discutiu as idéias de vários trabalhos revisados, e concluiu que o início do período neotectônico global não seria o mesmo para as diversas regiões.

Mörner (1989) apresentou um conceito mais abrangente para o termo neotectônica propondo tratar-se de qualquer deformação de terra ou deformação a nível geodésico incluindo seus mecanismos, suas origens, suas implicações práticas e suas extrapolações futuras, não importando o quão antiga sejam.

Em Mörner (1993) este autor considera que existe um “período Neotectônico” com apogeu entre 2,5 e 3,0 Ma, devido à reorganização das tensões intraplacas em contraste com as glaciações ocorridas no mesmo período. O autor considera a ação de forças compressionais, soerguimento e subsidência de placas, assim como, abertura e fechamento de estreitos, em consequência desta reorganização de esforços. Com o amplo soerguimento em uma área, é necessário que haja um equilíbrio de esforços para então ocorrer subsidência em outra região como resposta ao equilíbrio isostático da crosta, explica o autor. Esses fenômenos foram particularmente mais importantes nos períodos interglaciais.

Em território brasileiro, Hasui (1990) propõe que os estágios neotectônicos sejam considerados como a movimentação de blocos recorrentes a partir do Mesoterciário (limite entre o Paleógeno e o Neógeno). Este aparente diacronismo com relação à proposta Mörner (1993) é explicado pelas condições tectônicas regionais, que apresentam diferenças marcantes.

No primeiro caso, o último evento que afetou todo o território é representado pela separação sul-atlântica iniciada no Eocretáceo e com evolução até o limite Cretáceo-Paleógeno. Por outro lado a atividade tectônica na região do Mediterrâneo sofreu efeitos de orogênese mesozóica e evolução distensiva ativa até o Quaternário. Isto é, a definição dos processos neotectônicos deve levar em consideração o intervalo de tempo entre o último grande evento regional (orogênético) e o seu intervalo de quiescência.

Hasui (1990) após estudar a paleotectônica da Placa Americana, trata a Neotectônica a partir de duas perspectivas: a primeira considera os processos que culminaram na abertura do Atlântico até a atualidade, remontando ao Triássico ou até mesmo ao Permiano. Na segunda alternativa são incluídos somente processos referentes à deriva do continente Sul-americano, remontando ao limite entre o Paleógeno e o Neógeno. Atualmente já é consenso entre a maioria dos autores que a segunda hipótese é a mais apropriada.

O autor viabiliza a segunda alternativa como a mais provável devido à movimentação vigente que inclui manifestações intraplaca e exclui manifestações distensivas e compressivas.

Saadi (1993) tentou definir o início do período neotectônico no Brasil, a partir de dados disponíveis na literatura. O autor correlaciona a deformação neotectônica na porção intraplaca da América do Sul com eventos orogênicos da Cordilheira dos Andes.

Apesar das divergências propostas para se definir o início do período neotectônico, pode-se afirmar que não há divergência no que diz respeito à correlação entre a neotectônica e a configuração da paisagem atual e do modelados do relevo, que são fortemente influenciados pela reativação de feições geológicas.

3.3 MÉTODOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADE NEOTECTÔNICA

A atividade neotectônica atua principalmente modificando estruturas e anisotropias formadas durante processos geológicos de grande intensidade, como por exemplo, a orogênese brasileira.

As formas de se evidenciar a atividade neotectônica são basicamente relacionadas a identificação de estruturas e feições de natureza recente quando comparadas às feições geológicas formadas em períodos geológicos anteriores, ou seja, estruturas formadas depois do limite Paleógeno-Neógeno.

Assim, as principais formas básicas de se estudar e identificar reativações neotectônicas podem ser através de três segmentos:

- Aplicação de ciências básicas que podem ser estudadas a partir da caracterização do meio físico, tais como geomorfologia, sedimentologia e pedologia.
- Estudos de sismicidade atual, ou seja, a identificação de reativações é feita através da identificação de zonas sismogênicas recentes.
- Geocronologia, com base em datações objetivando-se determinar a idade das estruturas.

Porém, aliadas a estas três formas básicas, ainda podem se aliar técnicas como o sensoriamento remoto, com análises e tratamentos digitais de imagens e também geofísica aplicada, como por exemplo, uso do GPR e eletroresistividade.

Os métodos baseados de caracterização do meio físico consistem em identificar as feições que podem ser neotectônicas, sempre as correlacionando com as estruturas de idade consideradas mais jovens, quando comparadas ao último grande evento tectônico de deformação.

Assim, a seguir são apresentadas diferentes formas de aplicação e uma abordagem de como estas áreas de estudo têm interface com a neotectônica e podem auxiliar na caracterização e no entendimento dos processos exemplificando as aplicações destas áreas afins através de casos práticos e também a partir de exemplos de outros trabalhos publicados.

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Estudos geomorfológicos, sedimentológicos e pedológicos são importantes áreas do conhecimento na tentativa de correlacionar de forma dinâmica os processos neotectônicos com feições do meio físico, uma vez que os fatores ligados ao relevo, tipos de solos e condições recentes de deposição são os mais aplicáveis aos estudos dos registros neotectônicos.

3.3.1.1 Geomorfologia

A geomorfologia é uma das ciências utilizadas para definir registros da atividade neotectônica. O modelado da paisagem está relacionado com a escultura do relevo e a evolução da rede de drenagens. Dessa forma, qualquer modificação da paisagem que possa ser explicada por reativações tectônicas recentes pode denunciar a presença de movimentos ou atividade tectônica em uma região.

De forma geral, os registros mais diretos são relacionados à mudança brusca de padrão de relevo que passa de região com relevo plano e com baixa declividade para um padrão encaixado, com grande amplitude de relevo e com declividades elevadas. Essa variação se dá a partir de lineamento de relevo o que indica se tratar de uma falha recente de pequeno rejeito, pois se fosse uma estrutura antiga o relevo apresentaria a tendência de aplainamento regional.

A evolução da rede de drenagens também está diretamente relacionada com o padrão de relevo, porquanto qualquer alteração a nível crustal o sistema de drenagens acompanha tais modificações, pois este sistema é o reflexo do que ocorre no relevo.

Doornkamp (1986) integra em seu trabalho os estudos morfotectônicos com os métodos utilizados por outras disciplinas e com a teoria geomorfológica moderna, e explica que estudo da morfotectônica está relacionado com a análise das formas e suas origens, as quais foram afetadas pela atividade neotectônica. Este autor discute técnicas, abordagens e novas teorias sobre o tema, como registros de deformação crustal e movimentos da superfície e novas abordagens como estudo de lineamentos através de imageamento de satélite. Ainda ressalta a importância de uma maior integração entre estudos morfotectônicos e outras ciências

relacionadas a neotectônica.

Em Bezerra *et al.* (1993) os autores demonstram o alinhamento direcional entre as zonas de cisalhamento brasileiras e os principais padrões de falhas que controlam *grábens* e *horsts* na cobertura sedimentar. A interpretação morfotectônica aliada a dados gravimétricos e de poços permitem explicar a evolução neotectônica da região da cidade de Natal.

Salvador & Riccomini (1995) a partir de análise morfoestrutural em conjunto com a caracterização dos depósitos sedimentares e de estruturas de caráter rúptil, reconheceram três fases de movimentações neotectônicas da região do Alto Estrutural de Queluz no Vale do Paraíba.

Etchebehere *et al.* (2006) detectam prováveis deformações tectônicas no vale do Rio do Peixe, na região ocidental paulista, visando explicar a relação entre o relevo e a drenagem, através da aplicação da técnica do Índice Relação Declividade-Extensão. A mesma técnica é também aplicada por Megiato *et al.* (2007), que a aplicam na Bacia do Arroio Pelotas, Rio Grande do sul, para a determinação de deformações neotectônicas. Estes autores concluem que, quanto menor o índice de declividade da bacia, menor a possibilidade ter ocorrido movimentações recentes.

Através de estudos geomorfológicos e estruturais realizados no frontão sudeste do Planalto de Campos do Jordão em São Paulo, Hiruma *et al.* (2001) estabeleceram o quadro neotectônico da região, sendo possível a determinação do atual regime de esforços da área. Tal caracterização foi realizada a partir da correlação destes esforços com as áreas vizinhas, expressos através de caracterização de estruturas rúpteis em estruturas quaternárias e ainda feições geomorfológicas como assimetria de vales e presença de escarpas retilíneas.

Costa *et al.* (1996) definiram os aspectos neotectônicos da região amazônica, incluindo os controles tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Os estudos foram baseados na análise de estruturas e sequências sedimentares, incluindo feições geomórficas para a determinação de neotectonismo como padrões de sistema de drenagem. Nesta região foram também observados deslocamentos tectônicos em crostas lateríticas, evidenciados a partir de desníveis em platôs. Além das ferramentas tradicionais, os autores utilizaram estudos sistemáticos em mapas de lineamentos e sismicidade regionais, que proporcionaram o entendimento dos processos neotectônicos da região.

3.3.1.2 Sedimentologia

A sedimentologia das sucessões deposicionais recentes contribuem para a determinação de atividade neotectônica a partir da definição de áreas fontes e de sua relação com os sítios de deposição. Quando são observadas zonas atuais de acumulação de sedimentos, em geral confinadas a lineamentos regionais bem definidos, pode-se atribuir tal

bacia à atividade tafrogenética neotectônica. Este controle fica ainda mais bem evidenciado em áreas que anteriormente funcionavam como área de transporte ou área estável, e que atualmente recebem sedimentação recente.

O ambiente deposicional mais comumente desenvolvido neste contexto é o lacustre, onde uma série de pequenos lagos se distribui pela área tectonicamente negativa, enquanto que nas áreas fonte se distribuem os leques aluviais nas bordas dos blocos elevados. Neste mesmo contexto ocorrem os leques aluviais que é um ambiente sedimentar que requer necessariamente a presença de relevo para seu desenvolvimento. A forma mais comum de se estabelecer relevos positivos é a partir de planos de falhas normais, que comumente são formadas em contexto neotectônico.

Bezerra (1999) mostra a relação das principais falhas geradas e reativadas na Bacia Potiguar. Essas falhas possuem relação de truncamento que demonstra a relação de tempo entre elas. Estas falhas estão em rochas quaternárias e Neógenas de materiais sedimentares, e controlam as espessuras destes depósitos, o que serve como uma evidência de atividade neotectônica a partir de tensões intraplacas que reativaram essas estruturas.

É interessante ressaltar que a neotectônica não incide somente em contexto de sedimentação recente, é possível observar tal atividade em sistemas vulcânicos, como ocorre na Iugoslávia, conforme Markovic *et al.* (1996), o período neotectônico neste local é o mesmo considerado no Brasil, ou seja, compreende o Neógeno e o Quaternário. Esses autores utilizaram para identificar a atividade neotectônica métodos de análise quantitativa da geomorfologia: análise da energia de alívio de fraturas e comparação com modelo teórico. A atividade neotectônica desta região é responsável pelo controle estrutural dos rios até a estrutura de Majdanpek, que são formadas por grábens.

3.3.1.3 Pedologia

Estudos sobre solos também são importantes para a determinação de atividade neotectônica, pois eles representam a camada da troposfera mais delgada e externa, e qualquer movimentação vertical, por menor que seja o rejeito ou a amplitude do soerguimento afeta inicialmente as coberturas de solos.

O padrão pedológico mais geral que denuncia a presença de atividade neotectônica é a presença de contraste de tipos de solos balizado por lineamentos de relevo ou de drenagem, como por exemplo, a presença de solos espessos em uma margem de uma drenagem e solo pouco desenvolvido na outra margem. Além da presença de cambissolos e neossolos litólicos em uma margem dos lineamentos com latossolos na outra, a presença de amplas faixas de gleissolos em apenas umas das margens, tem sido interpretada como resultado de atividade

neotectônica, onde os solos hidromórficos se desenvolvem de forma mais importante no bloco rebaixado (Gaspar *et al.* 2007).

Por estes indicativos é possível notar que há movimentação entre blocos, pois não é encontrada correspondência dos tipos de solos em ambas as margens como é esperado na evolução pedogenética sobre um bloco único. E como os solos são materiais geologicamente recentes, as feições tectônicas que os afetam são excelentes indicadores da atividade neotectônica. Além das evidências indiretas anteriormente descritas, há ainda os registros diretos de falhas de pequeno rejeito que são observadas diretamente em cortes de estradas e em vales fluviais desenvolvidas em solo ou saprolito.

3.3.1.4 Estruturas Recentes

Feições litológicas como lateritos são excelentes indicadores da atividade neotectônica. Pois, esse tipo de material é produzido *in situ* a partir do intemperismo químico em rocha sã, devido à sua gênese, e são estruturas quaternárias. Os lateritos que são denominados pedologicamente de plintita podem ser classificados em maduros ou imaturos.

Os lateritos maduros são formados em um maior intervalo de tempo e estão localizados em porções mais elevadas do relevo. Devido às condições de formação estes lateritos apresentam-se em espessas camadas que os protege da erosão e processos de intemperismo físico ou químico. Os lateritos recentes ou imaturos não possuem essa capa de proteção tão desenvolvida, e em alguns casos não são completamente litificados, devido ao tempo de sua formação.

Há também as chamadas estruturas *stonelines* ou linhas de pedras que por definirem horizontes, servem como referência na estimativa das idades de estruturas como as fraturas, e também como referencial na identificação de possíveis deslocamentos. Neste tipo de material também é notável em algumas regiões a presença de *slickensides*, que são estruturas residuais da movimentação do material e marcam o plano de deslocamento da falha.

Desta forma, a presença de *slickensides* mostra que na região onde foram encontrados houve processo de movimentação. Quando estas estruturas são encontradas em materiais recentes como lateritos, resultam em um forte indicativo de movimentação neotectônica.

Os indicadores de deformação nos lateritos, tanto maduros quanto imaturos, são de fundamental importância na identificação de movimentação neotectônica, pois a diferença de tempo na gênese destas estruturas demonstra que as movimentações são contínuas, ou seja, elas atuaram tanto nas estruturas mais velhas, quanto nas mais recentemente formadas.

3.3.2 GEOFÍSICA – SISMICIDADE

A sismicidade intraplaca é um fator de grande importância para os estudos neotectônicos regionais, pois mostram evidências de reativações recentes.

Branner (1912) reconheceu no Brasil as Províncias Sísmicas que representam zonas em que ocorre intensa atividade sísmica.

A partir deste conceito Hasui (1990), formula duas hipóteses para relacionar os sismos recentes com a atividade neotectônica. No primeiro caso, considera que as regiões onde ocorrem os sismos são relacionadas com feições geológicas recentes. Na segunda hipótese, considera que as zonas de fraqueza crônica foram formadas no passado geológico e sua reativação atual gera as zonas sismicamente ativas.

Bezerra (2000) estabelece parâmetros da neotectônica no nordeste do Brasil e apresenta uma revisão das principais hipóteses explicando a neotectônica e a sismicidade da região. O autor mostra que a sismologia aliada a um conjunto de dados neotectônicos podem indicar áreas potenciais para ocorrência de grandes tremores de terra no nordeste do Brasil.

3.3.3 GEOCRONOLOGIA

A geocronologia também pode ser associada às demais ciências para a determinação dos registros neotectônicos, pois auxilia na datação dos eventos tectônicos inicialmente considerados recentes. Além dos métodos radiométrico do Carbono 14 e do K/Ar (para os casos em que ocorrem rochas vulcânicas associadas), ainda é utilizado o método da luminescência. Com o uso dessas metodologias podem-se obter idades que variam de algumas dezenas de anos até dezenas de milhões de anos.

A aplicação de geocronologia em estudos neotectônicos pode ser vista em Chen *et al.* (2003) que apresenta um estudo em que o método de luminescência em associação com o ^{14}C é aplicado à datação da atividade neotectônica na costa sudoeste da China. Da mesma forma, Yegingil *et al.* (2002) usam o método de datação por traço de fissão para determinar a idade do preenchimento de fraturas neotectônicas por obsidiana na região do nordeste do Mar Negro, Turquia.

3.3.4 OUTRAS TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO

3.3.4.1 Geofísica Aplicada

Um método pouco conhecido para identificação da atividade neotectônica é o Radar de Penetração no Solo (GPR) utilizado por Nogueira *et al.* (2006), e aplicado na Bacia Potiguar no Nordeste brasileiro, que tem sido eficaz na detecção de estruturas tectônicas de pequena escala em subsuperfície. Esse método utiliza ondas de alta frequência, permitindo o

mapeamento tridimensional de estruturas rúpteis em subsolo em uma profundidade média de 3,5m.

3.3.4.2 Sensoriamento Remoto

Outra ferramenta que permite avaliar de forma rápida e com ampla segurança alguns traços e lineamentos neotectônicos regionais é o sensoriamento remoto. Essas técnicas também podem ser aplicadas para detalhamento de feições neotectônicas em áreas onde os controles e a cinemática neotectônica já são conhecidos. O que difere em estudos locais ou regionais é o tipo de imageador orbital utilizado. Para os estudos de detalhe são necessários produtos de imagens com maior resolução espacial.

Bezerra & Amaro (1998) quantificaram os principais rejeitos verticais gerados durante falhamentos cenozóicos no Rio Grande do Norte. Os autores demonstram que as principais falhas da área de estudo afetam rochas terciárias e controlam fortemente a sedimentação quaternária. A partir dos produtos gerados resultantes da aplicação das técnicas de processamento e tratamento das imagens de radar e satélite, por sensoriamento remoto foi possível reconhecer estas estruturas neotectônicas. Este estudo mostra a importância do tratamento digital em produtos de sensoriamento remoto no mapeamento das falhas condicionantes de blocos crustais e estruturas neotectônicas na Faixa Costeira do Nordeste do Brasil.

Palha & Carvalho (2005) utilizaram a técnica de extração automática de lineamentos para a análise neotectônica preliminar da região centro amazonense a partir de dados de interferometria de radar. A partir deste trabalho os autores concluíram que a técnica é uma ferramenta eficaz na caracterização neotectônica. Essas técnicas aliadas a dados de campo, que foram quantificados em diagramas de rosetas, permitiram o reconhecimento de domínios morfoestruturais, além de direções preferenciais de alinhamentos e individualização da área em diferentes blocos tectônicos.

Salvador & Pimentel (2009) avaliaram a neotectônica do município de Angra dos Reis com base em mapas morfométricos gerados em Sistemas de Informações Geográficas. Os autores fizeram a análise integrada dos dados obtidos a partir do modelo digital de elevação da área gerado por radar interferométrico, os quais evidenciaram as estruturas rúpteis do relevo atual. A partir disto os autores determinaram a compartimentação geomorfológica interna e estabeleceram os conjuntos de lineamentos da região, sendo possível a identificação de movimentações neotectônicas.

Valente *et al.* (2001) definiu o controle hidrogeológico do Rio de Janeiro através da interpretação de lineamentos estruturais e produtos de sensoriamento remoto integrado com

dados de dados aerogeofísicos (magnetometria). Neste trabalho os autores definiram um padrão de fraturamento recente que é responsável pela recarga dos aquíferos fissurados nos altos estruturais. Este sistema de fratura, em conexão com fraturas subhorizontais funciona como condutores de águas subterrâneas para a recarga.

Desta forma, os métodos para análise neotectônica nunca devem ser utilizados de forma isolada e diferentes técnicas devem ser associadas. Por exemplo, a correlação de dados de levantamento de campo, com lineamentos extraídos em imagens e com diagramas de rosetas. Outro exemplo é a comparação de dados sísmicos ou geofísicos com reativação de estruturas e com dados de abertura de fraturas a fim de se caracterizar a recorrência da atividade tectônica de uma área.

Os métodos são diversos, entretanto, deve-se considerar que a atividade neotectônica, de forma geral reativa anisotropias existentes e dificilmente gera novas anisotropias. Os novos esforços aproveitam regiões de fraqueza estrutural e anisotropias de forma a modificar uma estrutura já formada.

É importante nos estudos neotectônicos sempre avaliar a estrutura reativada à idade da feição em que ela está localizada, a fim de se evitar falsas evidências. Indicativos interessantes, por exemplo, são fraturamentos em coberturas neógenas ou quaternárias. No Brasil, quando são encontradas falhas em materiais deste período geológico, tem-se segurança de se tratar de uma reativação recente.

3.4 REATIVAÇÕES NEOTECTÔNICAS

Em função da limitada energia envolvida nos processos de tectônica ressurgente, as movimentações neotectônicas sempre são desenvolvidas em zonas de fraqueza pré-existentes, as quais foram geradas durante processos tectônicos anteriores, e que podem ser de natureza orogênica.

Segundo Hasui (1990), as reativações são mecanicamente explicáveis por uma zona de falha preexistente que, em regime rúptil condiciona baixa coesão e restrito coeficiente de atrito, com relação às rochas adjacentes, que facilitam a reativação. Em regime dúctil, a menor granulação das rochas na zona de falha, a composição mineralógica e a presença de estruturas planares facilitam o fluxo plástico assim como os movimentos de massa. Hasui (1990) utiliza a expressão “herança estrutural crônica” para se referir às zonas de anisotropias existentes, sobre as quais as reativações neotectônicas são desenvolvidas.

Em termos da placa Sul-americana Hasui (1990) afirma que em decorrência da compressão horizontal leste-oeste ou mais precisamente ESE-WNW, a principal direção neotectônica é a NW. Isso porque a placa rotaciona em torno de um eixo imaginário e horário e

as tensões estão relacionadas com o binário dextral. O autor afirma ainda, que a movimentação da placa se dá por falhas que possuem caráter ressurgente e são predominantemente transcorrentes.

No entanto, outros tipos podem ocorrer em função do ângulo que foram reativadas e das tensões existentes. As falhas normais se manifestam devido à movimentação epirogenética, esta por sua vez, evidencia uma expressão morfológica induzida por desequilíbrios e por busca por re-equilíbrio de massas crustais. Os re-equilíbrios requerem rearranjos geológicos e cinemáticos, e acarretam em mudanças nos padrões geomorfológicos e pedológicos das áreas afetadas.

3.5 IMPLICAÇÕES DA ATIVIDADE NEOTECTÔNICA

As implicações da neotectônica são fundamentais em estudos geológicos, além de aplicações em pedologia, geomorfologia, geotecnia e outras ciências da Terra, pois os movimentos neotectônicos podem interferir diretamente no controle da sísmica induzida, da distribuição da água subterrânea, da integridade física de fundações de obras civis, no abatimento de cavidades em sistemas cársticos, etc.

A compartimentação geomorfológica regional e local apresenta forte influência do ambiente neotectônico de forma que as áreas alçadas se mostram intensamente dissecadas e as regiões tectonicamente rebaixadas são recobertas por solos espessos.

A distribuição de solos rasos e profundos em um mesmo compartimento geomorfológico comumente é uma implicação dos processos neotectônicos. Neste caso, considerando o mesmo tipo de substrato geológico, os solos profundos (como latossolos e espodossolos) ocorrem em blocos rebaixados, enquanto os solos rasos (como cambissolos e neossolos litólicos) ocorrem em blocos tectonicamente elevados.

A forma da rede de drenagem também pode mostrar presença de estruturas neotectônicas, uma vez que a incisão de redes em treliça ou paralelas é mais facilmente desenvolvida em linhas que representam a intersecção de planos de falhas com a superfície do terreno. Um exemplo deste tipo de rede de drenagem está presente na região oeste do estado da Bahia (Gaspar *et al.* 2006).

Em relação à hidrogeologia, os processos neotectônicos representam o principal controle do condicionamento e circulação da água em aquíferos fraturados (Fetter 1994). A manutenção de fraturas abertas em profundidade é um fator exclusivamente controlado por processos neotectônicos, pois o condicionamento da água subterrânea em aquíferos fraturados se dá ao longo de fraturas cuja abertura é essencialmente controlada por esses esforços. A partir do conhecimento do arranjo de tensores e estruturas neotectônicas será mais fácil a

exploração dos aquíferos fraturados, bem como, a definição dos principais controles para sua gestão e preservação.

No caso de estudos para implantação de empreendimentos potencialmente poluidores dos recursos hídricos subterrâneos (ex. cemitérios, minas, aterros sanitários, área industriais, usinas nucleares, etc.) também é fundamental se conhecer, de forma adequada, os controles e as principais direções neotectônicas, uma vez que a reativação das estruturas existentes destes locais pode ocasionar em uma nova configuração do cenário geológico destes ambientes. Suguio & Martin (1996) citam que o real interesse pela neotectônica somente foi despertado a partir da década de 70 quando houve aumento das construções civis, que se tornaram numerosas e maiores, tais como usinas hidrelétricas e termoeletricas.

Outro aspecto fundamental desta área é com relação às obras de construção civil de grande porte, como por exemplo, prédios, estações subterrâneas, usinas hidrelétricas e nucleares, construção de gasodutos, uma vez que essas estruturas podem ter suas fundações comprometidas, caso não haja um estudo adequado para sua locação.

Os estudos neotectônicos também são importantes para pesquisas em geologia ambiental onde os fenômenos de erosão, assoreamento, deslizamentos de terras e demais aspectos de estabilização de encostas são considerados. Nestes casos, a neotectônica mostra uma interface contínua com a pedologia, e pode auxiliar na explicação de diversos fenômenos que ocorrem nos solos e em saprolitos.

A neotectônica também pode ter influência no controle de depósitos minerais, como ocorre no Nordeste da Sérvia. Segundo Markovic *et al.* (1996) as áreas de mineralizações de cobre em Majdanpek e Coka Marin estão localizadas em um contexto de estruturas neotectônicas.

Depósitos de enriquecimento supergênico apenas são preservados em áreas em que a neotectônica seja pouco desenvolvida. Como se tratam de mineralizações relativamente recentes, áreas com ampla reativação de planos de falhamentos tendem a eliminar parte das zonas ricas em minérios.

3.6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução do conceito e as formas de caracterização da neotectônica sofreram uma evolução ao longo do tempo. A pesquisa bibliográfica, na literatura brasileira, demonstrou que os estudos neotectônicos, apesar de fundamentais para o entendimento das feições atuais da paisagem, de controlar a configuração da rede de drenagem superficial, de controlar os aquíferos, de apresentar interface com a geotecnia, ainda é um tema pouco estudado pelos geocientistas.

A partir de trabalhos de inúmeros autores foi mostrado como áreas afins das geociências podem ser utilizadas na identificação de atividade neotectônica e como esses processos são de fundamental importância no entendimento de reativações recentes de estruturas como fraturas, desenvolvidas em fase geológica anterior.

A partir da síntese sobre os aspectos conceituais e a terminologia aplicada a neotectônica ou tectônica ressurgente, foi possível entender a evolução dos conceitos do tema no mundo e também fazer uma contextualização aos processos ocorridos em território brasileiro. Assim foi possível concluir que os processos neotectônicos atuam sobre zonas de fraqueza e anisotropias que foram criadas nas fases de finais da orogênese brasileira, e que os processos neotectônicos atuam na modificação e reativação destas estruturas.

Estruturas geológicas em coberturas quaternárias e neógenas são importantes indicadores de registro de recorrência de tectonismo. No contexto da sedimentação recente, por exemplo, a neotectônica, pode controlar a erosão de áreas fontes e o confinamento de áreas deposicionais.

Os resultados da atuação neotectônica podem ser observados na compartimentação geomorfológica regional e local e ainda na configuração do fluxo de águas subterrâneas, quando o domínio hidrogeológico é controlado por fraturas, que passam a ter aberturas, interconexão, densidade e atitude reativadas no contexto neotectônico.

A atividade neotectônica pode ser identificada e estudada a partir da associação de várias técnicas que podem ser utilizadas como ferramentas na sua detecção, incluindo: estudos morfotectônicos, geomorfológicos, pedológicos, sismológicos, tratamento de imagens de sensoriamento remoto, entre outros estudos.

O aparente diacronismo entre os eventos considerados neotectônicos ocorridos em território brasileiro e na Europa, mostram que na definição do período de atuação dos processos recorrentes deve levar em consideração o intervalo de tempo entre o último grande evento regional (orogênético ou tafrogenético) e o intervalo de quiescência.

A atividade neotectônica por ser desenvolvida em resposta a esforços crustais de baixa magnitude e não gera novos planos de fraturas / falhas, mas reativam planos de anisotropias existentes nos maciços rochosos. Por serem jovens, apresentam a maior parte de suas implicações na superfície do terreno ou a restritas profundidades.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelier, J.1976. La néotectonique cassant et sa place dans un arc insulaire: l'arc égéen méridional. *Rev. Géog. Phys. Géol. Dun*, 18:1257-1265.
- Bezerra, F.H.R. & Amaro, V.E. 1998..Sensoriamento Remoto Aplicado à Neotectônica da Faixa Litorânea Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. *Simp. Brasil. de Sens. Rem.* 9, Santos, CD-rom,

- Bezerra, F.H.R. 1999 Intraplate paleoseismicity in Northeastern Brazil. *Anais do SBG*, Lençóis, 7 (4): pp. 12-16.
- Bezerra, F.H.R. 2000. Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic hazard assessment. *Revista Brasileira de Geociências* 30(3): 562-564
- Bezerra, F.H.R.; Saadi, A.; Moreira, J.A.M.; Lins, F.A.P.L.; Nogueira, A.M.B.; Macedo, J. W. P.; Lucena, L.F. & Nazaré Jr. D. 1993. *Estruturação Neotectônica do Litoral de Natal-RN, Com Base na Correlação Entre Dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos*. In: IV Simp.Nac. Estudos Tectônicos, Belo Horizonte, Atas, Bol.12:317-321.
- Bezerra, F.H.R.; Saadi, A.; Moreira, J.A.M.; Lins, F.A.P.L.; Nogueira, A.M.B.; Macedo, J. W. P.; Lucena, L.F. & Nazaré Jr., D. 1993. *Estruturação Neotectônica do Litoral de Natal-RN, Com Base na Correlação Entre Dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos*. In: IV Simp.Nac. Estudos Tectônicos, Belo Horizonte, Atas, Bol.12:317-321,.
- Branner, J.C. 1910. Earthquakes in Brazil. *J. Geol.*, 18:327-335.
- Chen, Y.W.; Chen, Y.G.; Murray, A.S.; Liu, T.K.; Lai, T.C. 2003 Luminescence dating of neotectonic activity on the southwestern coastal plain, Taiwan. *Quaternary Sciences Reviews* 22:1223-1229.
- Costa, J.B.S; Bemerguy, L.R; Hasui Y; Borges, M.S; Ferreira, R.B.P.J; Bezerra, P.E.R; Costa. M.L; Fernandes, J.M.G. 1996 Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos* 4(2):23-44.
- Doornkamp J.C. 1986. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143: 335-342
- Etchebehere, M.L.C.; Saad, A.R.; Santoni, G.; Casado, F.C.; Fulgaro, V.J. 2006. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista UNESP – Geociências*, v.25, n. 3, p.271-287.
- Gaspar, M.T.P.; Campos, J.E.G.; Cadamuro, A.L. 2007. Condições de infiltração em solos na região de recarga do Sistema Aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos. *Revista Brasileira de Geociências* 37(3): 542-550.
- Hancock, P.L. & Engelder, T. 1989. Neotectonic joints. *Geol. Soc. A. Bull.*, 101:1197-1208.
- Hancock, P.L. & WILLIAMS, G.D. 1986. Neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143:325-326.
- Hasui, Y. 1990 Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, 1, Belo Horizonte. *Boletim*. Belo Horizonte, SBG-MG, p.1-31.
- Hiruma, S.T.; Riccomini, C.; Modenesi-Guttieri, M.C. 2001. Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3):375-384
- Jaim, V.E. 1980. *Geotectónica general*. Editora Mir, Moscou, v.1, 356p.
- Markovic, M; Pavlovic, R; Cupkovic, T; Zivkovic, P. 1996; Structural pattern and neotectonic activity in the wider Majdanpek área (NE Serbia, Yugoslavia); *Rocnik*, 2, 151-158.
- Megiato, E.I.; Dadalt, A.M.; Koester, E.; Garrastazú, M.C.; Filippini A.J.M. 2007. Aplicação do Índice RDE (Relação Declividade-Extensão) na Bacia do Arroio Pelotas para detecção de deformações neotectônicas. XVI Congresso de Iniciação Científica. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. 5p. CDRom.
- Mercier, J.L. 1976 La néotectonique, ses méthodes et ses buts. Un exemple: L'arc Égéen (Méditerranée orientale). *Rev. Géog. Phys. Géol. Dyn.*, 18:323-346.
- Mescherikov, Y.A. 1968. Neotectonics. In: FAIRBRIDGE, R.W. (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, New York, p.768-773.



- Morner, N.A. 1989a. Paleoseismicity and neotectonics. *Bull. INQUA Neotectonics Commission*, 12:104p.
- Morner, N.A. 1989b. Pleoseismicity and neotectonics. *Tectonophysics*, Special Issue, 163:181-184.
- Mörner, N.A. 1993. Neotectonics, the new global tectonic regime during the last 3 Ma and the initiation of ice ages. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65(2):295-301.
- Nikolaev, N.I. 1974 Tectonic conditions favourable for causing earthquakes occurring in connection with reservoir filling. In: JUDD, W.R. (ed) Seismic effects of reservoir impounding, *Engineering Geology*, Special Issue, 8:171-189.
- Nogueira, F.C.C.; Bezerra, F.H.R.; Castro, D. L. 2005. Castelo Branco, R.M. Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil. *Revista de Geologia*, v. 18, n. 2, p. 139-149.
- Nogueira, F.C.C; Bezerra, F.H.R; Castro, D.L; Branco, R.M.G. 2006; Radar de Penetração no Solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil; *Revista de Geologia*, Vol.19, nº 1, 23-33.
- Obruchev, V.A. 1948 Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektoniki. *Akad. Nauk. SSSR Izv. Serv. Geol.*, 5:13-24.
- Palha, W.S. & Carvalho, A.S. 2005. Extração automática de lineamentos e análise neotectônica preliminar da região hidrográfica centro amazônica utilizando dados de interferometria de radar. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil. p. 1839-1846.
- Pavlidis, S.B. 1989 Looking for a definition of neotectonics. *Terra nova*, 1:233-235.
- Riccomini, C. 1992 Evidências geológicas da atividade neotectônica no Estado de São Paulo e regiões adjacentes. *Bol. IG-USP*, Publ. Esp., 12:95-96.
- Saadi, A. & Valadão, R.C. 1990. Eventos tectono-sedimentares na bacia neo-cenozóica do Rio da Morte (região de São João del Rei - MG). In: *Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste do Brasil*, 1, Belo Horizonte. *Boletim. SBG/MG*, p.81-99.
- Saadi, A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, 1(1):1-15.
- Saadi, A.; Hasui, Y.; M, F.S. 1991 Informações sobre a neotectônica e morfogênese de Minas Gerais. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônico*, 3, Rio Claro. *Boletim. Rio Claro, SBG*, p. 105-107.
- Salvador, E.D. & C. Riccomini, 1995. Neotectônica da região do alto, estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Rev. Bras. Geociências*. 25, 151-164.
- Salvador, E.D; Pimentel, J. 2008. Avaliação da neotectônica no município de Angra dos Reis, setor sul-fluminense da Serra do Mar, com base em mapas morfométricos gerados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 44., 26-31 out. 2008, Curitiba, PR. *Anais... Curitiba, PR: SBG*,
- Sengor, A.M.C.; Gorur N.; Saroglu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: BIDDLE, K.T. & CHRISTIE-BLICK N. (eds.) *Strike-slip deformation*
- Suguio, K. & Martin, L. 1996. The Role of Neotectonics in the Evolution of the Brazilian Coast, *Geonomos*, 4 (2): pp. 45-53
- Trifonov, V.G. 1989 An overview of neotectonics studies. *International Geology Review*, 31:111-161.
- Valente, C.R.; Oliveira, S.M.A; Veneziani, P. 2001. Controle Neotectônico das Águas Subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento*



Remoto; 10, 21-26 abr. 2001, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: INPE,. p. 367-373. Sessão Poster.

Wegmann, E.1955 Lebendige tektonik, eine übersicht. *Geologische Rundschau*, 43:4-34.

Yegingil, Z; Boztug, D; Murat, E.; Oddone, M.; Bigazzi, G. 2002. Timing of neotectonic fracturing by fission track dating of obsidian in-filling faults in the Ikizdere-Rize area, NE Black Sea region, Turkey. *Terra Nova* 14(3):169-174.

CAPÍTULO IV

ARTIGO 2 - REGISTROS NEOTECTÔNICOS NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

Resumo

Este trabalho apresenta de forma sistemática e detalhada os principais registros da atividade neotectônica no Distrito Federal, de forma a apresentar a caracterização de cada registro, bem como sua evolução. Os registros neotectônicos propostos incluem: presença de falhas normais de pequenos rejeito em latossolos formando canais preenchidos por solos retrabalhados que podem ser observados na região de Águas Claras; a existência do Gráben de São Sebastião responsável pela preservação de rochas carbonáticas (mármore) de forma localizada no bloco rebaixado da estrutura tectônica; a presença de drenagens alinhadas com vales assimétricos, onde ocorrem latossolos / gleissolos em uma das margens e cambissolos / neossolos litólicos na outra (ex. Rio Jardim); a existência do Gráben do Rio Maranhão, responsável pela preservação de sedimentos do Eocretáceo (norte do Distrito Federal); a presença de couraças lateríticas (níveis de petroplintita) falhadas apresentando *slickensides*; a presença de estratificações em latossolos, além do modelado da paisagem uma vez que os processos neotectônicos são controladores de significativas mudanças e contrastes geomorfológicos e pedológicos.

Abstract

This paper shows the main registers of neotectonic activity in the Federal District, that include: presence of normal faults with little movement observed in latosoil cover that form channels filled by transported soils (observed in the Águas Claras region); the presence of the São Sebastião Graben, responsible to the local preservation of marbles lenses in the central portion of the structure; the presence of aligned streams with asymmetric valleys, where there are thick soils in one of the margins and thin soils in the other (e.g. Jardim river); the existence of the Maranhão River Graben, responsible to the preservation of Lower Cretaceous sediments (north of the Federal District); the presence of the faulted petroplintic horizons showing slickenside features; the presence of bedding in latosoil; besides the landscape evolution, once the neotectonic processes control the geomorphological and pedological dynamics.

4.1 INTRODUÇÃO

A neotectônica é caracterizada como pelos eventos de movimentação tectônica desenvolvidos a partir do início do Neógeno que atuam reativando estruturas geológicas que foram geradas no último grande evento tectônico. Essa reativação ocorre de forma a modificar as estruturas existentes em determinada região.

Mesmo sendo de grande importância no entendimento da configuração fisiográfica atual, a neotectônica ainda é um tema pouco estudado em comparação com outros ramos das geociências.

No Distrito Federal não há publicações ou outros estudos específicos sobre este tema, contudo, observou-se que há inúmeros indícios e registros deste fenômeno na região.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é descrever as principais evidências de reativação neotectônica no Distrito Federal, de forma a propiciar o entendimento destes processos nesta região. Conseqüentemente se pretende acrescentar novas informações sobre a geologia estrutural da área de estudo.

Os processos neotectônicos atuam nas zonas de fraquezas e anisotropias geradas nos estágios finais da orogênese brasileira, modificando a configuração destas estruturas.

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO DO DISTRITO FEDERAL

4.2.1 LITOESTRATIGRAFIA

O Distrito Federal está localizado na porção central da Faixa Brasília na transição para o Cráton São Francisco, no interior do Escudo Cristalino do Brasil Central. O conjunto foi estabelecido nas etapas finais do ciclo orogênético Brasileiro (Almeida *et al.* 1981).

Freitas-Silva & Campos (1998) propõem quatro conjuntos litológicos distintos para a composição do contexto geológico regional do Distrito Federal, os quais incluem os grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares. Os grupos Paranoá e Canastra apresentam idade Meso/ Neoproterozóico e os Grupos Araxá e Bambuí idade Neoproterozóica.

Grupo Canastra

São caracterizadas por fengita filitos, clorita filitos, quartzo-fengita-clorita-filitos, metarritmitos e filitos carbonosos. Quartzitos finos e micáceos ocorrem em níveis, centimétricos a decamétricos, de maneira restrita e descontínua. Neste grupo também estão presentes lentes de rochas carbonáticas que são os chamados mármore calcíticos, finos, cinza claro a escuros e maciços

Grupo Araxá

Este grupo apresenta a litologia composta por xistos variados predominância de muscovita xistos e ocorrências restritas de clorita-xistos, quartzo-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos. Ocorre limitado ao setor sudoeste do Distrito Federal, ocupando apenas 5% da área.

Grupo Paranoá

Faria (1995) estabeleceu a estratigrafia das rochas do Grupo Paranoá no Distrito Federal, fundamentando seus estudos na estratigrafia da área tipo de Alto Paraíso de Goiás. Das sete unidades da área tipo, sete estão presentes no Distrito Federal, da base para o topo: **Q2, S, A, R3, Q3, R4 e PPC**.

A unidade **Q2** é composta por quartzitos finos a médios com níveis conglomeráticos em direção ao topo e com estratificação cruzada revirada. A unidade **S** é composta em sua maioria por metassiltitos argilosos, ocorrendo subordinadamente metarritmitos arenosos no topo da unidade, quartzitos estratificados e lentes de metacalcário. A unidade **A** é representada por ardósias roxas com bandamentos siltosos apresentando clivagem ardosiana penetrativa e lentes de quartzitos. A Unidade **R3** é representada por metarritmitos caracterizados por intercalações irregulares de quartzitos finos, brancos e laminados com metassiltitos, além das estratificações cruzadas, *hummockys* e marcas onduladas. A unidade **Q3** é composta por quartzitos finos a médios, selecionados com marcas onduladas e estratificação cruzada. A Unidade **R4** é composta por metarritmitos argilosos com metassiltitos e metargilitos e quartzitos finos. A Unidade **PPC** (Psamo-pelito-carbonatada) é constituída por metargilitos e metassiltitos intercalados com lentes de calcário (às vezes dolomíticos) e quartzitos pretos e grossos.

Grupo Bambuí

No Distrito Federal, este grupo se distribui na porção oriental ao longo do Vale do Rio Preto onde aparecem unidades pelíticas das formações Serra da Saudade Três Marias. A sequência pelítica é composta por folhelhos, argilitos e ritmitos finos de coloração verde que gradam para o topo da unidade para siltitos feldspáticos ou arcoseanos.

Na porção centro-norte do Distrito Federal foram encontrados calcários e dolomitos micríticos, folhelhos, margas siltitos argilosos e ricos em mica detrítica atribuídos à base do Grupo Bambuí. Estes tipos petrográficos são inequivocamente correlacionados às formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena e ocorrem em uma faixa que corresponde a cerca de 3% da poligonal do Distrito Federal.

4.2.2 CONTEXTO TECTÔNICO

O arcabouço estrutural do Distrito Federal é caracterizado por Freitas-Silva & Campos (1998) que identificaram diferentes grupos de estruturas planares e lineares que foram agrupados em cinco fases de deformação, denominadas de F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5 , de acordo com suas relações de sobreposição e de interferência. Todas estas fases de deformação são caracterizadas por estruturas dúcteis-rúpteis, com exceção da fase F_5 , que é eminentemente rúptil. Essas fases são materializadas por planos de cavalgamentos e por dobramentos denominados, respectivamente, de dobramentos D_1 , D_2 , D_3 e D_4 .

Estas cinco fases de deformação estão associadas à progressão de um único evento de deformação, relacionado à Orogênese Brasileira, cujo pico metamórfico/deformacional ocorreu por volta de 650-680 Ma (Almeida 1967, Tassinari *et al.* 1981, Marini *et al.* 1979, 1981, 1984ab; Freitas-Silva, 1990, 1996).

Assim, a estruturação do Distrito Federal, reflete a acomodação da deformação em resposta ao encurtamento e espessamento crustal devido à inversão da Faixa Brasília. Segundo Freitas-Silva & Campos (1998) os estágios principais (Fases de deformação F_1 e F_2) a dissipação do *stress* e a acomodação da deformação foram por meio de cavalgamentos e dobramentos flexurais, onde o tensor principal de deformação (λ_1) foi orientado segundo WNW (\approx N80W) e com marcado transporte tectônico para leste, em direção ao ante-país constituído pelo Cráton do São Francisco.

Durante as fases de deformação F_1 e F_2 o tensor intermediário de deformação (σ_2) permaneceu aproximadamente constante (deformação plana - *plane strain*), enquanto nas fases subseqüentes, F_3 e F_4 este tensor passou a se comportar como um eixo de encurtamento levando a deformação para o campo constriccional, dando origem aos dobramentos cruzados que caracterizam estas fases.

Durante a fase F_5 , no final da fase de deformação, em um ambiente de decompressão franca, o *stress* residual foi acomodado por fraturamento e falhamento normais. A maioria das estruturas planares, de médio e alto ângulo das fases anteriores, foram reativadas como falhamentos normais ou fraturas de alívio. O mecanismo de deformação durante F_5 foi essencialmente o cisalhamento puro em regime de *bulk strain* (deformação geral).

As fases de deformação F_1 , F_2 , F_3 , e F_4 foram definidas em função da superposição das estruturas planares e lineares, associadas aos dobramentos D_1 a D_4 e aos cavalgamentos, enquanto que a fase F_5 corresponde a estruturas extensionais geradas durante a decompressão final da deformação.

O padrão de fraturamento observado na região do Distrito Federal corresponde àquele típico da fase final da estruturação de orógenos que apresentam duas direções preferenciais, mais ou menos ortogonais entre si, ladeadas por um espectro de juntas (*joint spectra* - Hancock, 1986), frequentemente superpostas a zonas de fraquezas previamente formadas, arrançadas em um padrão de simetria aproximadamente ortorrômbico.

As falhas e fraturas rúpteis que afetam os metamorfitos presentes no Distrito Federal representam as mais importantes estruturas condicionantes, não só dos próprios aquíferos fissurais como de sua qualidade no tocante a vazões, armazenamento e recarga, uma vez que, em profundidade, representam praticamente o único tipo de porosidade presentes nas rochas.

Em mapas de lineamentos, o padrão de fraturamento do Distrito Federal apresenta um marcante contraste de densidade de lineamentos. Contudo, considerando o substrato rochoso, observa-se que se trata de uma feição aparente, uma vez que em afloramentos, o mesmo padrão de distribuição e de densidade de fraturas é observado seja qual for o tipo de rocha considerado, conforme descrito em Campos & Freitas-Silva (1998). A variação na densidade de lineamentos indica diretamente o manto de intemperismo presente. Nas regiões onde o substrato rochoso é aflorante ou subaflorante, caracterizadas pela presença de delgados cambissolos e solos litólicos, a densidade de lineamentos é alta.

As regiões onde o substrato é composto por unidades dos grupos Paranoá e Bambuí, nas quais as estruturas dúcteis são caracterizadas por clivagens ardosianas e clivagens de fraturas, são recobertas por espessos mantos de intemperismo capeados por latossolos argilosos a arenosos. Nestes casos a densidade de lineamentos e/ou drenagens é baixa.

4.2 EVIDÊNCIAS E REGISTROS DA NEOTECTÔNICA NO DISTRITO FEDERAL

No Distrito Federal e Entorno são observados vários registros geológicos indicativos da presença de estágios de reativações neotectônicas, decorrentes principalmente da reativação de antigas estruturas brasileiras. Os principais registros são vinculados a reativação de lineamentos, presença de grábens quaternários, assimetria de vales, transporte de solos e a compartimentação geomorfológica, que serão caracterizados a seguir e estão indicadas na Figura 4.1.

No Distrito Federal são enumeradas oito das principais evidências e registros de reativações neotectônicas, as quais incluem:

- ✓ Gráben do Maranhão;
- ✓ Gráben de São Sebastião;
- ✓ Vales tectônicos presentes em solos e saprolitos na região de Águas Claras;
- ✓ Assimetrias de vales fluviais na região de Rio Jardim;
- ✓ Falhas em horizontes lateríticos (petroplínticos),
- ✓ Estruturas em brechas carbonáticas cenozóicas;
- ✓ Estruturas em conglomerados sobrepostos a formações Paleógenas/Neógenas;
- ✓ Estruturas em horizontes lateríticos (*slickensides*).

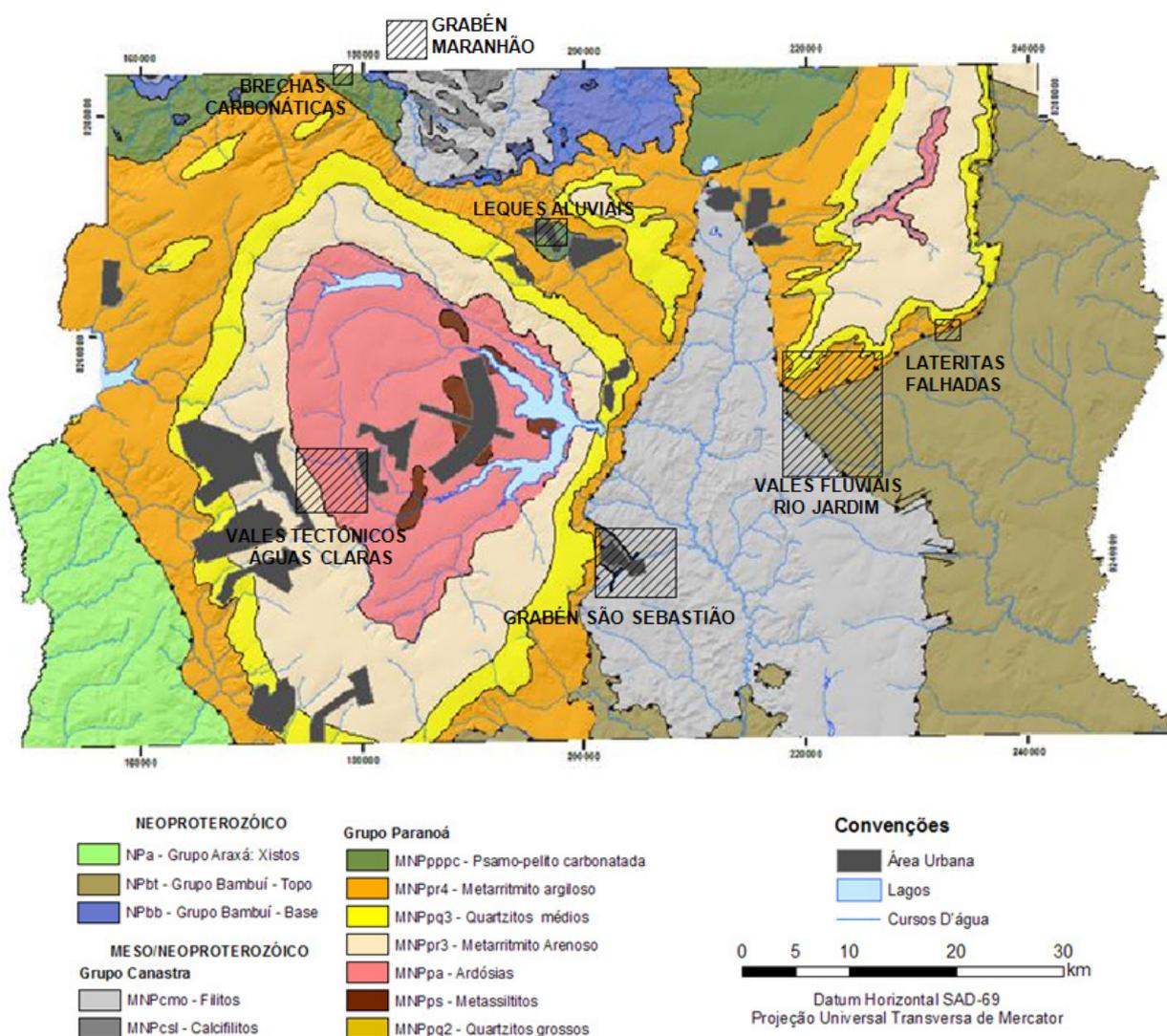


Figura 4. 1 - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal, com indicação das áreas onde foram identificadas feições neotectônicas (modificado de Campos & Freitas-Silva 1998).

4.2.1 Gráben Maranhão

O Gráben do Maranhão foi descrito por Campos *et al.* (1999) ao norte do Distrito Federal e Entorno (no Vale do Rio Palma, Bacia do Rio Maranhão).

A litologia predominante nesta região é caracterizada por filitos de idade Meso-Neoproterozóica do Grupo Canastra. Neste local há registros de falhas normais, com direção N50W, o que fez originar uma porção tectonicamente rebaixada, o que caracteriza o local como um gráben (Figura 4.2 e Figura 4.3). Desta forma, nesta porção rebaixada foi preservada uma sequência sedimentar depositada sobre os filitos, composta por conglomerados litificados de ambiente de rio entrelaçado e arenitos da Formação Abaeté, de idade Eocretáceo.

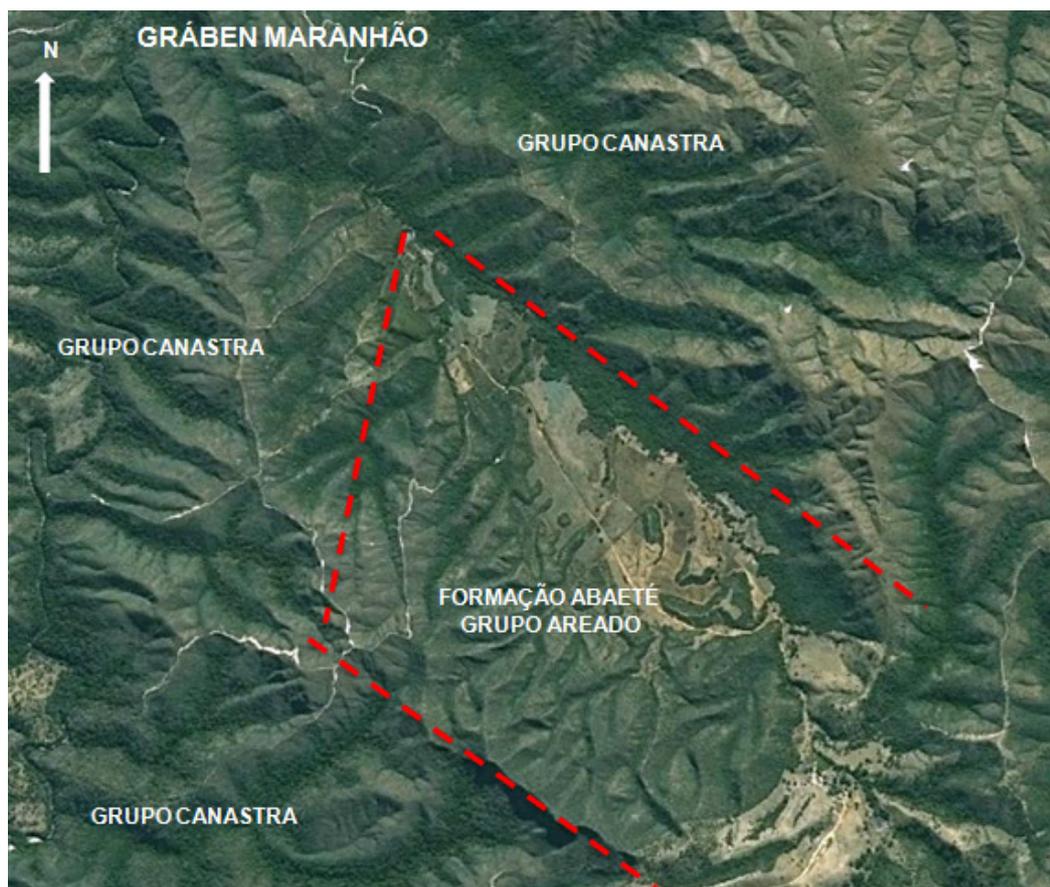


Figura 4. 2-Gráben do Maranhão com conglomerados e arenitos da Formação Abaeté eocretáceo da Bacia Sanfranciscana. Fonte: *Google Earth*.

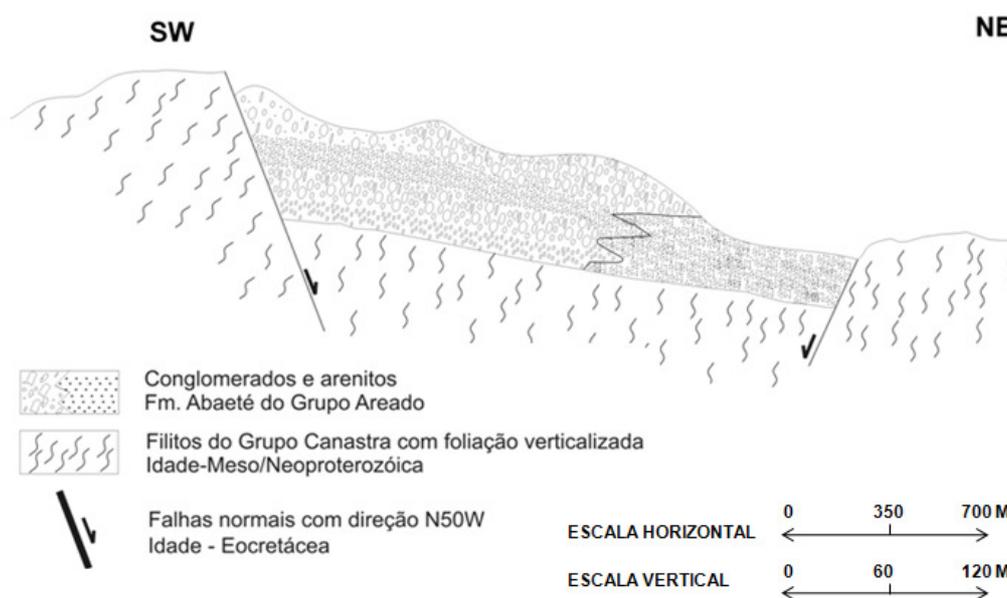


Figura 4. 3 - Gráben do Maranhão com Conglomerados e Arenitos da Formação Abaeté eocretáceo da Bacia Sanfranciscana.

Os conglomerados são litificados a parcialmente litificados, clasto-suportados, com fácies matriz-suportadas, com seixos imbricados, bem selecionados e com estratificação subhorizontal. Em áreas mais elevadas localizadas nas adjacências do gráben esses conglomerados aparecem sob a forma de seixos soltos, o que mostra que são apenas vestígios da porção erodida não preservada pelas falhas, podendo ser considerados residuais. Os conglomerados também são observados em paredões ao longo de drenagens que marcam os limites falhados do gráben, os quais foram silicificados pela percolação de fluidos ao longo destes planos preferenciais.

Assim, a presença destas falhas foi fundamental para preservação das litologias no interior ao Gráben, pois o mesmo material depositado nas porções que não foram rebaixadas (regiões dos *horsts*) não é encontrado nas áreas soerguidas, ou seja, esses materiais foram removidos. Os processos envolvidos na remoção da sucessão cretácea foram os mesmos que removeram grande parte da cobertura fanerozóica da Faixa Brasília.

Desta forma, mostra-se que o processo envolvido na preservação destas litologias é neotectônico, e neste caso, houve reativação de estruturas pré-existentes, nas quais hoje se observa uma área balizada por falhas que preserva da erosão conglomerados e arenitos no interior da calha tectônica.

A datação relativa dos falhamentos é considerada cenozóica, pois preserva um conjunto de rochas localmente silicificadas de idade cretácea inferior. A direção das falhas subparalelas principais que limitam o gráben é N50W, sendo compatível com a atitude de reativação neotectônica mais comumente observada na região do Distrito Federal e entorno.

4.2.2 Gráben São Sebastião

As feições do Gráben de São Sebastião foram originalmente descritas por Joko (2002). Este Gráben encontra-se limitado por falhas normais representadas pelas drenagens existentes na área e apresenta borda oeste caracterizada por flexura. A borda oeste do gráben coincide com a falha de empurrão que marca o contato entre os grupos Canastra e Paranoá. A porção leste tem direção aproximada N40W e é balizada pelo córrego Mato Grande, ao sul possui direção média N40E delimitado pelo Ribeirão Santo Antônio da Papuda, e a sudeste há um pequeno bloco isolado pelo lineamento do córrego Borá Manso com direção N40W e E-W, que demarca o limite do gráben. A porção localizada à oeste da falha de empurrão é composta pela sequência do Grupo Paranoá que, antes da evolução do Gráben, se encontrava em contato de baixo ângulo com os filitos do Grupo Canastra.

A evolução recente da área se deu a partir do momento em que toda esta configuração foi cortada por planos de falhas normais. A partir destes falhamentos, as lentes de mármore

ficaram preservadas nos blocos rebaixados e ficam submetidas a processos erosivos nos blocos elevados.

É possível dizer que a formação do Gráben se iniciou a partir de um falhamento normal, e que posteriormente falhas subsidiárias foram responsáveis pelo abatimento de novos blocos.

Atualmente se tem a continuação dos processos erosivos como já é esperado nos blocos mais elevados e a região do Gráben é coberta por latossolos que evoluíram a partir do material coluvionar e ocorreu a total eliminação das lentes de mármore do Grupo Canastra, situadas nos blocos elevados adjacentes.

Além dos traços retilíneos da rede de drenagem local, uma feição especial foi importante para a determinação da existência desta estrutura neotectônica. Em toda a ampla área do vale do rio São Bartolomeu no Distrito Federal, apenas no bloco rebaixado foram encontradas lentes de mármore durante a construção de poços tubulares profundos.

A vídeo-inspeção realizada em poços tubulares presentes na região mostrou a presença de cavidades de dissolução com espeleotemas representados por pequenas estalactites. Estas feições estão atualmente situadas na zona saturada, porém sua formação se dá em condição de epicarste, ou seja, na zona não saturada do aquífero. Desta forma, essas estruturas não podem ter sido formadas na zona saturada em que estão localizadas. Este é o principal indicador de que as falhas são recentes, o que é um argumento inequívoco para atestar a origem neotectônica da estrutura.

As grandes lentes de mármore distribuídas em um nível estratigráfico definido foram erodidas em conjunto com as lentes e camadas de quartzitos que ocorrem em associação. A calha tectônica que define o gráben foi então alvo de acumulação de espesso conjunto de material alterado que está atualmente bastante pedogenizada, contendo fragmentos de quartzitos e silexitos. Na calha da estrutura o material saprolítico retrabalhado pode superar 50 metros, sendo comumente maiores que 40 metros de espessura, que representa a soma da cobertura de latossolos e saprolitos. Fora da calha tectônica os solos são rasos e pouco desenvolvidos (cambissolos e neossolos litólicos), mostrando se tratar de áreas elevadas submetidas a processos erosivos. Na parte central do gráben, a oeste do córrego Mato Grande os mármore foram preservados e indicam a área de maior rejeito de falha. O Córrego Mato Grande delimita de forma nítida a falha da borda NE da estrutura.

Esta estrutura responsável pela preservação local de rochas carbonáticas do Grupo Canastra tem grande importância prática no controle do aquífero físsuro-cárstico local que utilizado como fonte exclusiva de abastecimento da cidade de São Sebastião com mais de 100.000 habitantes.

A Figura 4.4, a seguir, mostra de forma esquemática a evolução tectônica da região.

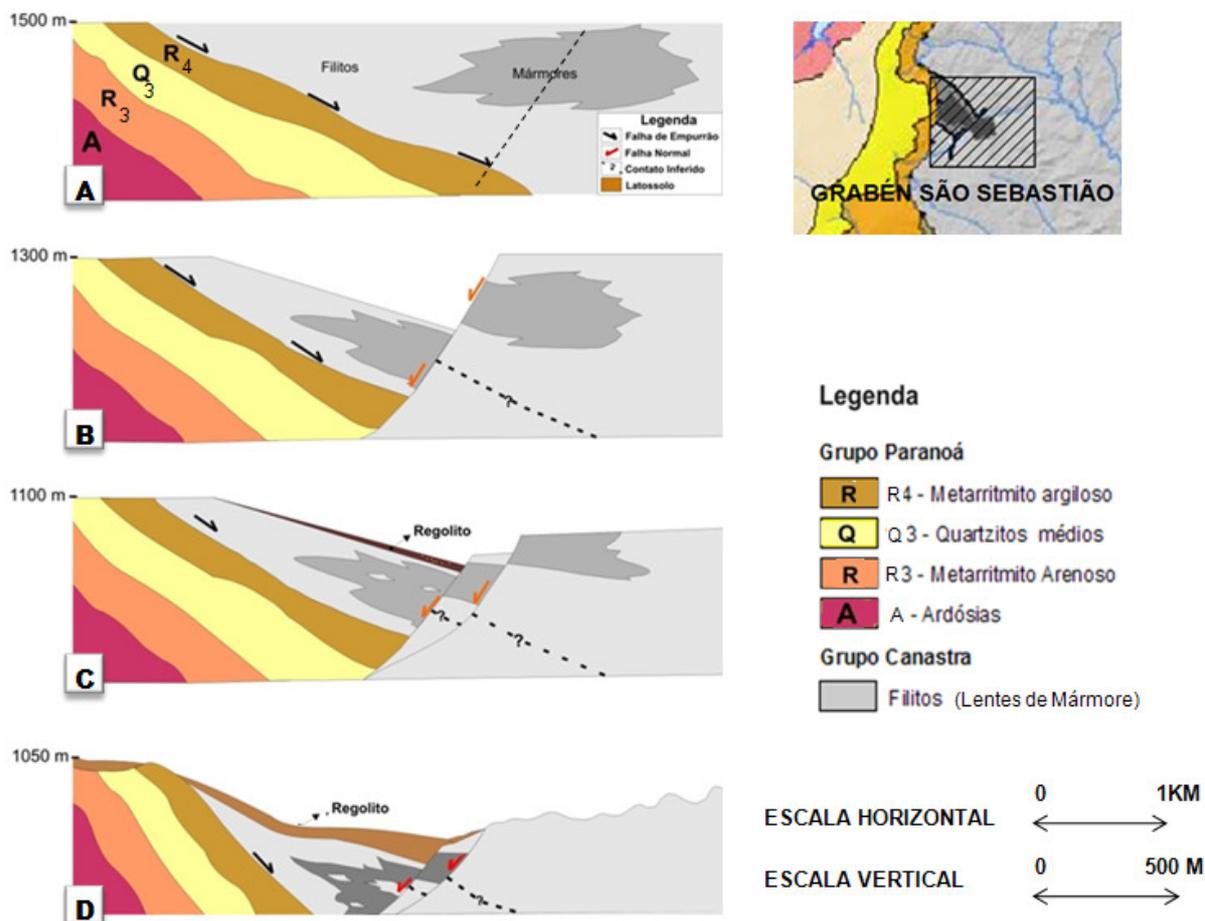


Figura 4. 4 - Gráben de São Sebastião (Modificado de Joko 2002). Ver quadro explicativo.

A- CENÁRIO NEOCRETÁCEO	A superfície corresponde ao modelado da Superfície Sul-americana. O pacote carbonático representa as lentes de mármore atribuídas à formação à Serra do Landin do Grupo Canastra. A conformação tectônica foi formada ao final da Orogênese Brasileira, gerando cavalgamento, dobramento e fraturamento.
B-CENÁRIO MESOTERCIÁRIO (?)	Formação do Gráben de São Sebastião, com falhamento normal neotectônico com rejeito principal seccionando os mármore. O bloco alto é submetido a processo erosivo de grande magnitude. A tectônica extensiva provoca abertura das juntas, fraturas e demais planos brasileiros.
C-CENÁRIO QUATERNÁRIO (?)	Continuação dos processos erosivos do bloco elevado com acumulação nos mármore situados a oeste. Intensificação dos processos cársticos já iniciado nas fases anteriores.
D-CENÁRIO ATUAL	Conformação da superfície atual com a total eliminação dos mármore a leste da falha principal do gráben. O Grupo Paranoá permanece em cotas superiores devido a maior resistência ao intemperismo. O depocentro principal do gráben foi preenchido por material coluvionar, posteriormente latossolizado. A leste da falha predominam cambissolos sobre relevo movimentado.

4.2.3 Vales Tectônicos de Águas Claras

As obras do metrô na região de Águas Claras facilitaram a análise de evidentes estruturas neotectônicas presentes no Distrito Federal, pois através dos perfis em trincheiras das obras, foi possível observar falhamentos em saprolitos de ardósias e metarrimitos do Grupo Paranoá. Em momento geológico anterior, essas litologias foram intensamente pedogenizadas e saprolitizadas. Em seguida, sobre os materiais já transformados, foram desenvolvidas falhas normais de pequenos rejeitos que geraram canais preenchidos por latossolos retrabalhados (Figura 4.5).

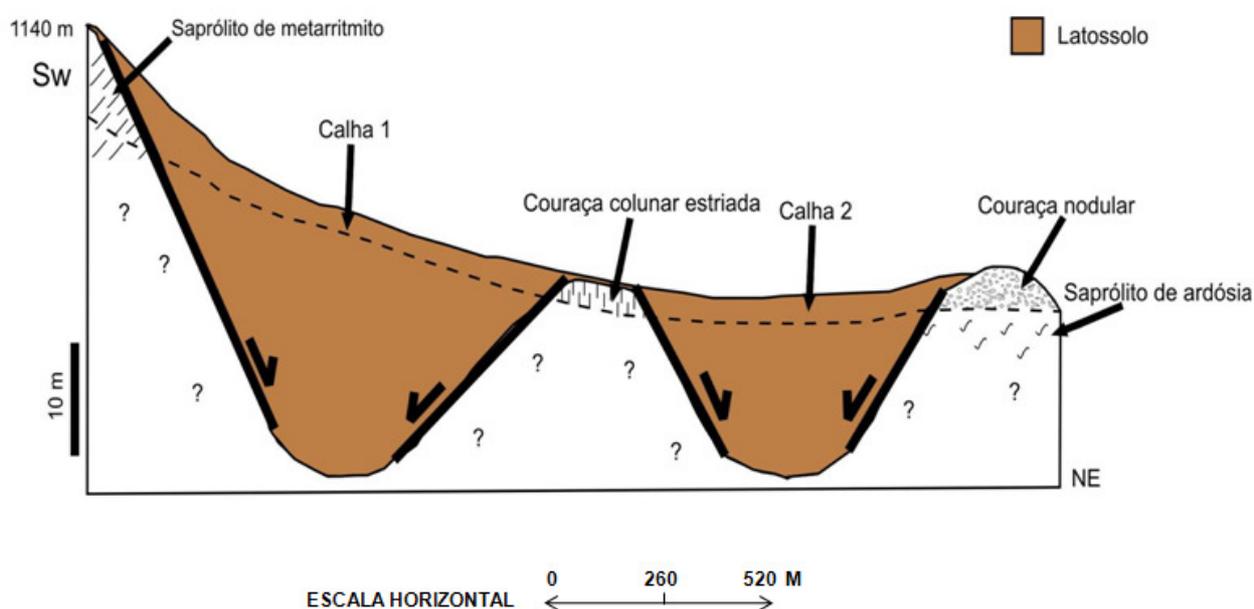


Figura 4. 5- Perfil de falhas neotectônicas preenchidas por latossolo nas obras do metrô em Águas Claras (Modificado de Martins 2000).

4.2.4 Assimetria de Vales Fluviais na Bacia do Rio Jardim

Situados na região leste do Distrito Federal, o córrego Estanislau e o alto curso do Rio Jardim que são afluentes do Rio Preto, possuem perfis topográficos e topossequências características que mostram fortes evidências de atividade neotectônica.

Na região, a rede de drenagem é do tipo retilínea o que denota o controle estrutural de sua origem. Em vários pontos dos vales fluviais são encontrados veios de quartzo e cristais de quartzo hialino, o que também indica o controle tectônico da formação da rede de drenagem.

Outro aspecto importante é observado nos perfis pedogenéticos nas distintas margens

dos córregos, mostrando mudanças abruptas dos tipos de solos. Na margem direita do Córrego Estanislau ocorre latossolo / gleissolo e na margem esquerda observa-se cambissolo.

No Rio Jardim há ocorrência de feições semelhantes, sendo latossolo presente na margem direita, até junto à drenagem e cambissolo ocupando toda a margem esquerda do vale (Figura 4.6). A assimetria do vale e das topossequências é interpretada como resultado de rearranjos do campo de tensão com re-acomodação dos blocos, de forma que as estruturas brasileiras são retrabalhadas em falhas normais.

Este padrão é recorrente em grande parte das drenagens tributárias do Rio Preto sendo interpretadas como um sistema em dominó com rotação dos blocos para leste. As principais direções que são reativadas variam entre N40W até N60W.

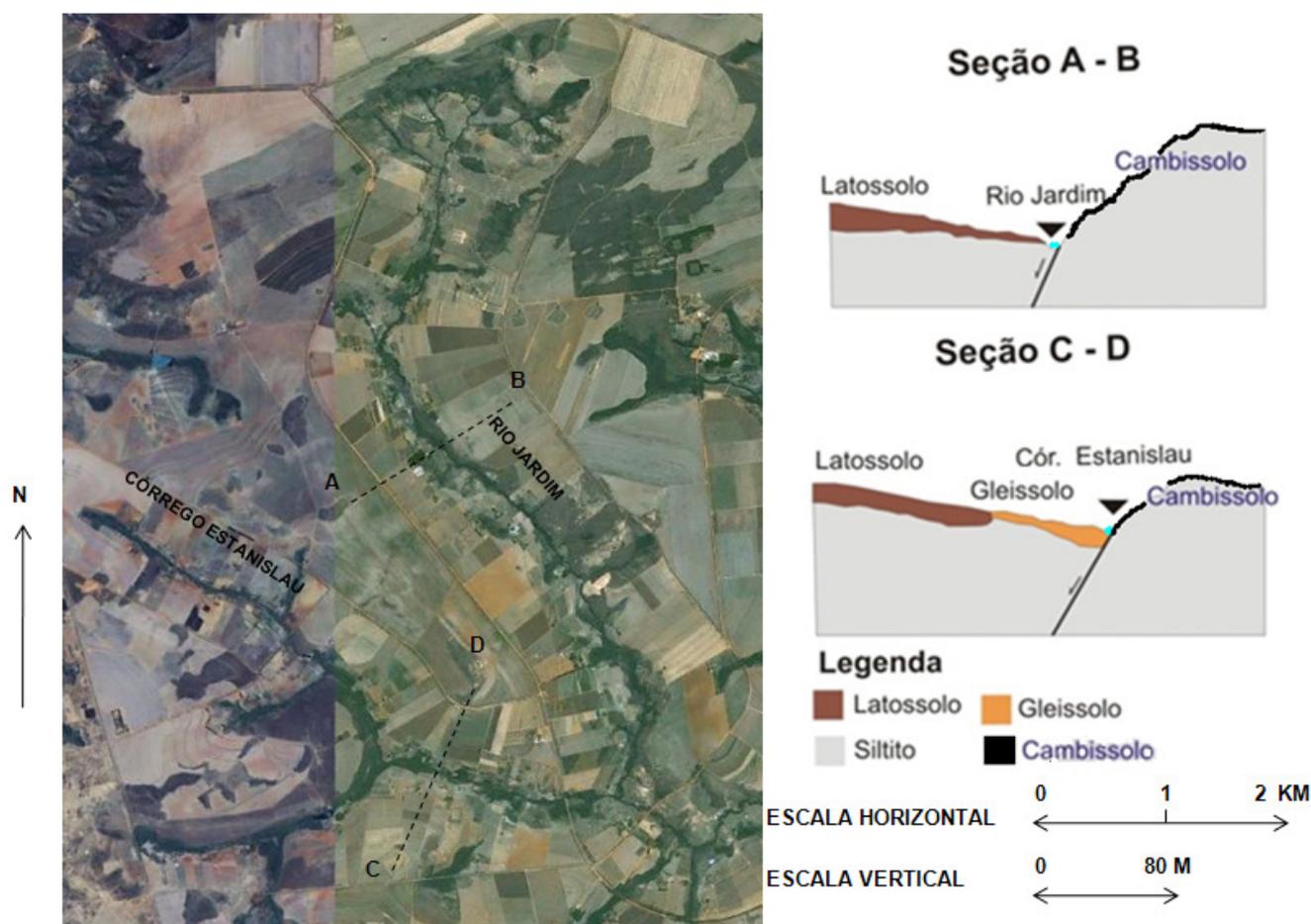


Figura 4. 6 -Representação esquemática da forma da drenagem do alto curso do Rio Jardim e respectivas seções pedo-geológicas, mostrando a forte assimetria dos vales fluviais.

4.2.5 Falhas em horizontes lateríticos

Ao longo da DF-120, em um perfil de corte de estrada foi possível observar um espesso horizonte de couraça laterítica apresentando-se falhado.

Apesar da má preservação do afloramento, pode-se atribuir um rejeito de cerca de 40 metros para esta estrutura (Figura 4.7). A natureza normal do movimento relativo é indicada pela presença de *slickensides* e feições em lápis ainda presentes nas couraças ferruginosas com aspecto colunar, brechado, ou concrecionário.

Esta feição é típica e representa um excelente registro de neotectonismo, pois as lateritas observadas em cotas inferiores a 1000 metros no Distrito Federal são neógenas e como as estruturas presentes são indicadoras de falhamento normal, implica necessariamente em padrão evolutivo recente (neógeno).

Além do local descrito, existem outros pontos no Distrito Federal e entorno (região do aterro sanitário, borda oeste da Chapada da Contagem, porções sudoeste de Luziânia GO) em que feições que indicam movimento de blocos podem ser observadas em couraças lateríticas.

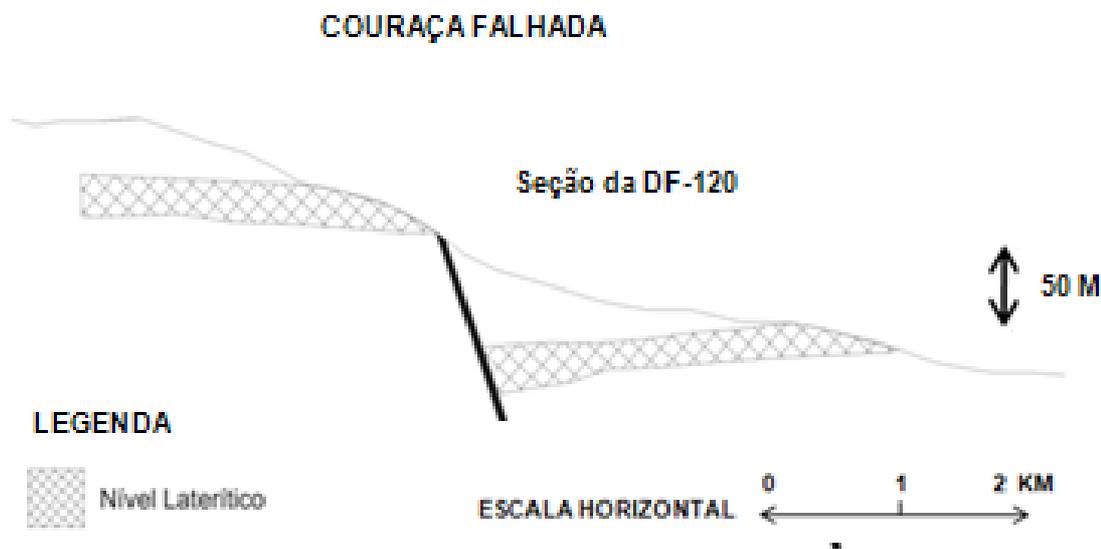


Figura 4. 7 -Nível laterítico apresentando falhamentos ao longo da DF-120.

4.2.6 Estruturas em Brechas Carbonáticas Paleógenas

As brechas carbonáticas derivadas de processos de dissolução e re-precipitação foram formadas em período de clima seco a partir de carbonatos da base do Grupo Bambuí. Este tipo de rocha é bastante comum no estado da Bahia e inclusive é utilizada como rocha ornamental.

A rocha apresenta cor bege, aspecto maciço, e fragmentos angulosos de calcários micríticos ou intraclásticos que variam de 0,5 a 5,5 cm. Em geral a rocha é clasto-suportada, mas localmente pode ser matriz-suportada e parte das pequenas cavidades é preenchida por calcita ou por sílica que apresenta padrão em pequenos veios com até 0,5 cm de espessura (Figura 4.8).



Figura 4. 8 -Brecha carbonática gerada a partir de processos de dissolução e re-precipitação sobre calcários do Grupo Bambuí.

Estas brechas não foram datadas, contudo, em função de sua posição com relação aos calcários sotopostos e de suas feições petrográficas são interpretadas como de idade Cenozóica.

Assim, como no caso das couraças lateríticas, as estruturas extensivas observadas neste conjunto de rochas representam excelentes guias para estudos neotectônicos, pois embora essas rochas possuam baixa densidade de fraturas, estas estruturas são abertas e localmente podem exibir movimento relativo entre os blocos (Figura 4.9). Tais estruturas são interpretadas como reativações de feições presentes nos maciços carbonáticos sotopostos a estas rochas.



Figura 4. 9 - Lajedo de brecha carbonática exibindo fratura grande, rugosa e aberta (em planta).

4.2.6 Leques Aluviais Cenozóicos

Na porção norte e noroeste do Distrito Federal são observados conglomerados matriz-suportados em áreas localizadas. Tais para-conglomerados são desorganizados, maciços, apresentam clastos de quartzitos e silexitos imersos em matriz silto-areno-argilosa, sendo que a componente argilosa predomina na matriz (Figura 4.10). Os clastos variam de milímetros até 40 cm e são angulosos a pouco arredondados e são exclusivamente compostos por rochas resistentes presentes nas adjacências.

Em função dos aspectos petrográficos destes conglomerados, da natureza dos clastos, da ausência de estratificação, do baixo grau de maturidade textural e do mau selecionamento, esse depósito pode ser considerado como sendo originado por sistema de leques aluviais proximais de clima árido. Por representarem materiais não completamente litificados é atribuída idade recente para sua deposição (cenozóico).

Assim estes psefitos são interpretados como depósitos de leques aluviais recentes associados a escarpas de falhas neotectônicas e compõem mais uma evidência de atividade tectônica rúptil recente.

Como se trata de uma região com relevo movimentado que já sofreu amplo retrabalhamento por erosão não é possível se determinar as direções dos planos de falhas que dão origem aos leques.



Figura 4. 10 -Conglomerado matriz-suportado com clastos angulosos a subarredondados de silexites e quartzitos imersos em matriz silto-areno-argilosa (em seção).

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da apresentação e descrição das estruturas e feições é possível afirmar que reativações neotectônicas ocorrem no Distrito Federal e exercem influência direta na manutenção da abertura de fraturas. Mesmo considerando a posição interior continental da região e sua situação na porção externa da Faixa Brasília com o Cráton São Francisco a reativação se deu em contexto compressivo.

O Gráben do Maranhão possui litologias cretáceas preservadas em sua porção central devido a processo neotectônico, de reativação de plano de falha pré-existente, que resultou na configuração de um gráben na região. Quando ocorreu o rebaixamento tectônico do bloco delimitado por falhas subparalelas, os conglomerados e arenitos foram preservados dos processos erosivos. A sucessão psamo-psefítica foi poupada dos processos erosivos exclusivamente em função das falhas interpretadas como neógenas, uma vez que preservam rochas litificadas de idade eocretácea.

O Gráben de São Sebastião também apresenta indicativos de reativações neotectônicas em perfis de poços realizados por vídeo inspeção onde foram identificados espeleotemas em zona saturada do aquífero. Considerando que essas feições apenas são formadas em regiões não saturadas, pode-se inferir que houve movimentação recente desta porção. Associado a este fato ainda há o argumento de que as lentes de mármore são exclusivamente observadas no interior do bloco rebaixado do gráben. Estas rochas fora do bloco rebaixado do gráben

foram eliminadas pelos processos denudacionais (erosão e transporte).

Já nos vales tectônicos presentes em solos e saprolitos na região de Águas Claras foi possível observar falhamentos em saprolitos de ardósias e metarrimitos do Grupo Paranoá, originando falhas normais de pequenos rejeitos com canais preenchidos por latossolos retrabalhados.

Os vales fluviais da região do Rio Jardim são controlados tectonicamente. Há ocorrência de feições de assimetria dos vales em que não há correspondência do tipo de solo quando comparadas as duas margens da drenagem. Esta assimetria foi o resultado de retrabalhamentos recentes por falhas normais, o que representa um excelente registro da atividade neotectônica.

Outro indicativo importante da atividade tectônica recente é a presença de falhas com estruturas do tipo *slickensides* em horizontes lateríticos, feições que representam excelente registro de atividade neotectônica, pois estes lateritos são neógenos, tornando-se então os traços de movimentação tectônica como fortes registros de neotectonismo na região.

Estruturas (fraturas) em brechas carbonáticas paleógenas, que ocorrem sobre os calcários do Grupo Bambuí, geradas a partir dos processos de dissolução e re-precipitação. Tais estruturas extensivas observadas neste conjunto de rochas são excelentes guias para estudos de reativações recentes, pois os fraturamentos abertos presentes nestas rochas por estarem presentes em material comprovadamente jovem, só podem ser atribuídas a um processo tectônico recente.

Há ainda a presença de conglomerados matriz-suportados desorganizados, heterogêneos, não litificados, considerados de idade cenozóica, configurando sistemas de leques aluvionares que ocorrem em áreas localizadas. Devido às características petrográficas (como a ausência de estratificação e o mau selecionamento) e a distribuição deste material, o contexto deposicional é interpretado como leques associados a escarpas de falhas recentes, o que resulta em mais um registro de atividade neotectônica no Distrito Federal.

A indicação das evidências e dos registros neotectônicos, por meio da reativação de fraturas, torna-se uma importante ferramenta para a melhor compreensão da hidrogeologia do Distrito Federal, pois se sabe que o fluxo de água subterrânea se dá através destas estruturas (Campos & Freitas-Silva 1998). A ampliação do conhecimento sobre as principais direções neotectônicas é importante, pois a partir deste estudo é possível prever o comportamento das fraturas no condicionamento do e facilitar as ações de locação de novos poços e de gestão dos sistemas de captação.

Uma análise preliminar mostra que a ampla maioria dos poços com vazões anômalas no

Distrito Federal (com vazões pelo menos 4 vezes a média) está situada sobre lineamentos considerados neotectônicos. As duas principais direções que sofrem reativações estão associadas às famílias que compõem o par conjugado de cisalhamento, N40-50E e N40-50W, geradas na fase final da Orogênese Brasileira.

A observação das fraturas em afloramentos indica que aquelas em que há maior abertura e mais evidência de percolação de águas (mudança de cor ao longo da estrutura) são as famílias de direção N40-50E, N40-50W e próximo a NS.

4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1967. Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. In: Congr. Bras. Geol., 21. Curitiba, 1967. Programa, resumo das comunicações, roteiro das excursões...Curitiba, SBG. 1967, p.19-22.
- Almeida, F.F.M. 1981. O Cráton do Parnamirim e suas relações com o do São Francisco. In: Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1. Salvador, 1981. *Anais...*, Salvador. SBG/BA. p.1-10.
- Campos J.E.G.; Freitas-Silva, F.H. & Dardenne, M.A. 1999. Ocorrência de conglomerados da Formação Abaeté, Eocretáceo da Bacia Sanfranciscana, na região do Distrito Federal, Brasil. V Simp. Brás. Geol. do Cretáceo. Águas de São Pedro - SP. Boletim de resumos expandidos. p. 339-343.
- Campos J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 12, Boletim de Resumos. Brasília. 113p.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 87p.
- Freitas-Silva, F.H. 1990. Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu - MG. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 151p. (Dissertação de Mestrado - Inédita).
- Freitas-Silva, H. F. 1996. Metalogênese do Depósito do Morro do Ouro, Paracatu – MG. Brasília, 1996. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 338 p.
- Joko, C.T. 2002. Hidrogeologia da Região de São Sebastião - DF, Implicações para a Gestão de Abastecimento de Água. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências (Dissertação de Mestrado).
- Marini, O. J.; Fuck, R. A.; Dardenne, M. A.; Danni, J. C. 1984. Província Tocantins, setores central e sudeste In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (coords.) 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo. Edgard Blucher. p. 205-264.
- Marini, O.J. & Fuck, R.A. 1981. Atas do I Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia, SBG, p. 716-745.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A.; Dardenne, M.A.; Teixeira, N.A. 1978. Dobramentos da borda oeste do Cráton do São Francisco. Salvador. SBG/BA. Public. Espec.. bol. 3, p. 155-193.
- Tassinari, C.C.G.; SIGA Jr., O.; TEIXEIRA, W. 1981. Panorama geocronológico do Centro-Oeste brasileiro: soluções, problemáticas e sugestões. In: SIMP. GEOL. CENTR. OEST., 1. Goiânia, 1981. *Atas...*Goiânia, SBG\CO, p. 93-116.

CAPÍTULO V

ARTIGO 3 - CINEMÁTICA DA REATIVAÇÃO NEOTECTÔNICA DO DISTRITO FEDERAL

Resumo

Este trabalho analisa de forma estatística o conjunto de medidas realizadas em campo, a fim de estudar sistemicamente a cinemática de reativação neotectônica do Distrito Federal. Tais reativações são evidenciadas em anisotropias e zonas de fraquezas geradas nas fases finais da orogênese brasileira. As anisotropias foram formadas em regime dúctil-rúptil, denominada neste trabalho de Tectônica Formadora e sua reativação ocorre em contexto de estabilidade crustal a partir do limite Neógeno - Paleógeno, denominada de Tectônica Modificadora. Os principais registros da atividade neotectônica incluem: presença de falhas normais de pequenos rejeito em latossolos, existência de grábens que preservam rochas e feições recentes, alinhamento de drenagens em vales assimétricos, presença de indicativos de movimentação em materiais recentes, além do modelado da paisagem de uma forma geral. Neste trabalho são apresentadas rosetas e estereogramas de fraturas classificadas conforme suas feições mais importantes: tamanho, preenchimento, densidade e abertura. A análise das diversas famílias de fraturas medidas em levantamentos de campo permitiu a proposição de um modelo para a cinemática da reativação para a região. Por fim, fez-se a correlação das áreas com maior incidência de fraturas neotectônicas com os poços de vazões anômalas para se verificar o controle da cinemática proposta na hidrogeologia local.

Abstract

This work analyzes statistically the set of measures carried out in fieldwork, in order to develop a systematic study of the kinematics of neotectonic reactivation of the Federal District, Brazil. Such reactivations are evidenced in anisotropies and weaknesses zones generated in the final phases of the Brazilian Orogenesis. The anisotropies had been formed in ductile-ruptile regimen, called in this work of the Former Tectonic and its reactivation occurs in a context of crustal stability from the limit Neogene - Paleogene, called of Modifier Tectonic. The main registers of the neotectonic activity include: presence of normal faults of small reject in latosoils, existence of graben that preserve recent rocks, alignment of streams in asymmetrical valleys, indicative of movement in recent materials, besides the landscape of a general form. In this work roses and stereograms of fractures are presented, and these structures are classified by the most important features: size, filling, density and opening. The analysis of the several fractures families allowed the proposal of a model for the kinematics of the reactivation for the region. Finally, the correlation of the areas with higher incidence of neotectonic features with the wells with anomalous yield was developed to validate the proposed kinematics.

5.1 INTRODUÇÃO

O Distrito Federal possui em suas unidades geológicas várias anisotropias e zonas de fraquezas geradas nas fases finais da orogênese Brasileira. Estas anisotropias foram formadas em regime dúctil-rúptil e rúptil, e neste trabalho são inseridas na denominada Tectônica Formadora. Entretanto, baseando-se em observações feitas em vários afloramentos e no conhecimento sobre a geologia da área de estudo, foram observadas que estas anisotropias (falhas, fraturas) mostram evidências locais de reativação. Muitas destas anisotropias também são evidenciadas em materiais de idade neógena e quaternária o que não deixa dúvidas que a reativação é recente, e, portanto, interpretada como neotectônica. Estas reativações ocorrem em contexto de estabilidade crustal a partir do limite Neógeno/Paleógeno.

Os principais registros da atividade neotectônica no Distrito Federal incluem: presença de falhas normais de pequenos rejeito em latossolos, existência de grábens que preservam rochas e feições recentes, alinhamento de drenagens em vales assimétricos, presença de indicativos de movimentação em materiais recentes, além do modelado da paisagem de uma forma geral.

O objetivo desta contribuição é apresentar o estudo sistêmico da cinemática de reativação neotectônica da área de estudo. Considerando que não existe nenhum estudo específico sobre a atividade neotectônica na região, espera-se contribuir com o conhecimento da geologia recente da região.

5.5.1 Métodos

A partir do conhecimento da presença de estruturas e anisotropias em vários afloramentos abrangendo as unidades litológicas da área de estudo foram realizados levantamentos de campo, com o objetivo de realizar medições de atitude de planos de fraturas nestas unidades. As fraturas foram quantificadas e caracterizadas individualmente quanto a suas feições como: abertura, preenchimento, tamanho, persistência, tipo de superfície, densidade.

Estas medições foram reunidas estatisticamente em rosetas e estereogramas os quais foram classificados segundo as características mais proeminentes do grupo de fraturas (ex. estereogramas e rosetas para grupo de medidas de fraturas abertas, para grupo de fraturas rugosas, etc.). Esta classificação também foi realizada por ponto estudado em cada afloramento. Ao todo foram realizadas mais de 1000 medições de fraturas distribuídas em 14 pontos / áreas no Distrito Federal e Entorno (Figura 5.1).

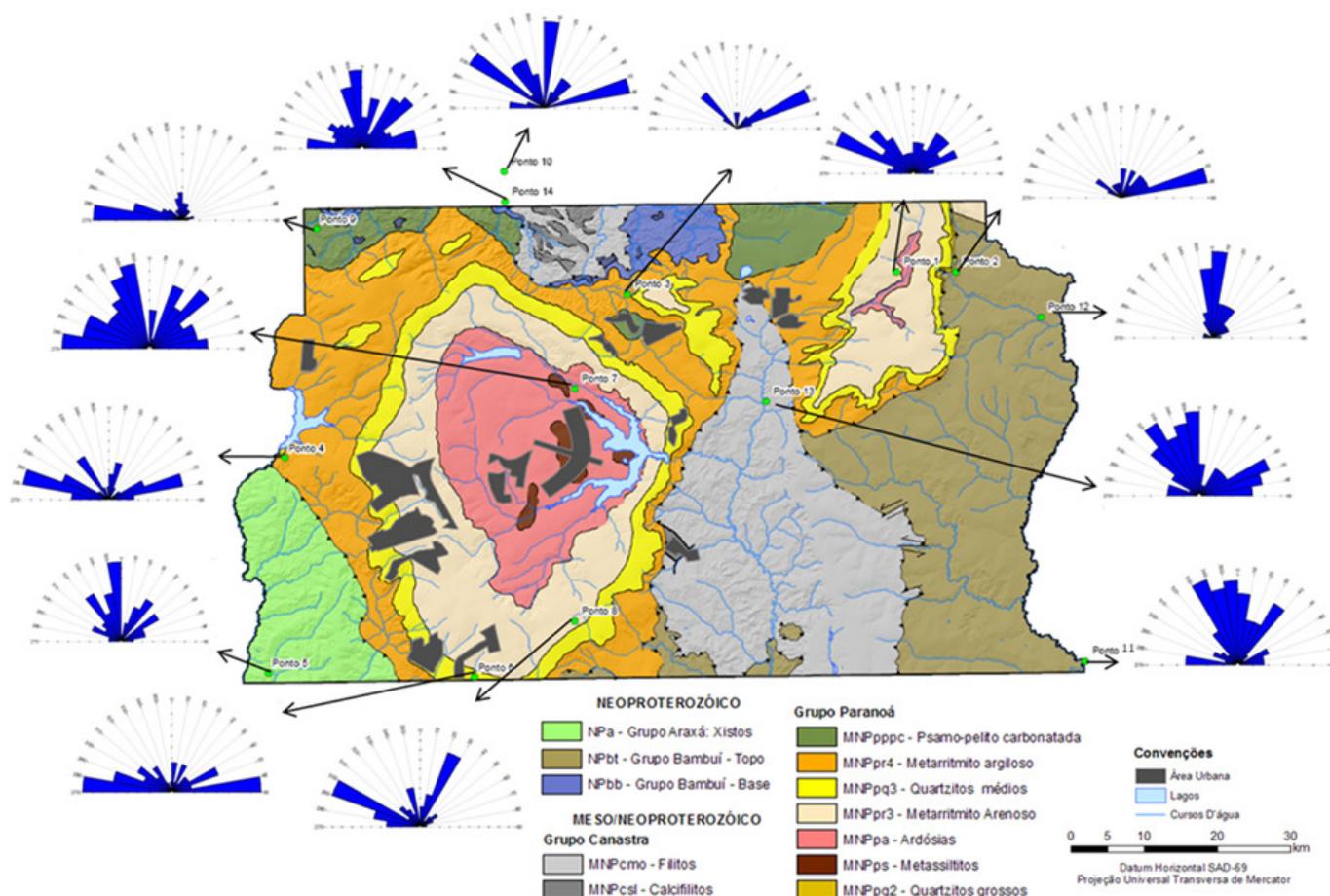


Figura 5.1 - Mapa geológico do Distrito Federal com a localização dos afloramentos estudados e os respectivos diagramas de rosetas de cada ponto (modificado de Campos & Freitas-Silva 1998).

Assim, com base na análise e interpretação das rosetas e estereogramas confeccionados, que reúnem as diversas famílias de fraturas medidas foi possível propor um modelo para a cinemática da reativação para a região.

Ainda foi realizada a correlação das áreas com maior incidência de fraturas neotectônicas com os poços de vazões anômalas para se validar a cinemática proposta. Esta etapa do trabalho é feita a partir da comparação do mapa de lineamentos do Distrito Federal, as direções preferenciais neotectônicas (fraturamentos reativados) e os referidos dados de vazão anômalos dos poços.

O objetivo desta etapa é o de demonstrar como a reativação neotectônica é atuante na configuração do fluxo de água subterrânea.

5.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Distrito Federal está localizado na Província Estrutural do Tocantins, mais precisamente na porção central da Faixa de Dobramento Brasília, na área de transição das zonas interna e externa. A Província Tocantins é o resultado tectônico da orogênese, durante o Ciclo Brasileiro, que afetou três grandes blocos continentais: o Cráton Amazônico, o Cráton São Francisco / Congo e o suposto cráton que serve como embasamento da Bacia Paraná, resultando-se em três importantes cinturões dobrados, denominados de faixas de dobramento Paraguai, Araguaia e Brasília.

O substrato geológico do Distrito Federal é formado por litologias proterozóicas representadas pelos grupos Paranoá, Canastra, Bambuí e Araxá, ocupando respectivamente cerca de 65%, 15%, 15% e 5% da sua área total. Estes conjuntos litoestratigráficos são amalgamados a partir de cavalgamentos regionais que compõe a nappe de Brasília em uma estruturação resultante dos esforços brasileiros atuantes na Faixa Brasília.

O Grupo Paranoá ocupa parte da porção centro-norte da Faixa Brasília e aflorante desde o sul do Distrito Federal até próximo à cidade de Alto Paraíso (GO), essa sequência psamo-pelito-carbonatada apresenta baixo grau metamórfico e variações no conjunto litológico e nas estruturas sedimentares. No Distrito Federal ocorrem sete das onze unidades da coluna estratigráfica, da base para o topo: Quartzito Conglomerático **Q2**, Metassiltito **S**, Ardósia **A**, Metarritmito Arenosa **R3**, Quartzito Médio **Q3**, Metarritmito Argiloso **R4** e Unidade Psamo-Pelito-Carbonatada **PPC**. As rochas desse grupo são de idade Meso-Neoproterozóica, com origem sedimentar em ambiente marinho plataformar epicontinental, sendo as suas características muito influenciadas pelos ciclos transgressivos e regressivos atuantes.

O Grupo Canastra apresenta idade Meso-Neoproterozóica, e ocorre na porção central do Distrito Federal (no vale do rio São Bartolomeu) e na porção centro-norte (no vale do rio Maranhão). Suas principais rochas são filitos e quartzitos, contendo freqüentemente material carbonático na forma de pequenas lentes. O conjunto foi metamorfoseado em fácies xisto verde na zona da clorita.

O Grupo Bambuí ocupa a porção leste do Distrito Federal e ocorre em restrita área na faixa centro-norte. É composto essencialmente por rochas metassedimentares de idade neoproterozóica.

A sua gênese é relacionada à deposição sobre uma plataforma estável epicontinental, em três grandes ciclos regressivos. De acordo com Dardenne (1978), este grupo pode ser representado, da base para o topo, por seis formações: Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. No Distrito Federal ocorrem rochas

correlacionáveis as formações Serra da Saudade e Três Marias (porção leste) e atribuídas às formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena (faixa centro-norte).

O Grupo Araxá ocorre apenas no predominantemente no extremo sudoeste do Distrito Federal e é composto por micaxistos ricos em muscovita e clorita, além de lentes de quartzitos micáceos. Dados de isótopos Sm-Nd permitem atribuir uma idade neoproterozóica para as rochas desta unidade.

5.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL

As estruturas tectônicas observadas em rochas do Distrito Federal se apresentam de forma distinta nas diferentes unidades litoestratigráficas, e são caracterizadas por Freitas-Silva & Campos (1998) que identificaram diferentes grupos de estruturas planares e lineares agrupadas em cinco fases de deformação, denominadas de F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5 . Todas estas fases de deformação são caracterizadas por estruturas dúcteis-rúpteis, com exceção da fase F_5 , que é eminentemente rúptil. A deformação é decorrente da amalgamação de blocos por planos de cavalgamentos resultando em dobramentos denominados D_1 , D_2 , D_3 e D_4 .

No Grupo Araxá ocorre uma foliação penetrativa marcada pela orientação dos filossilicatos. A atitude desta xistosidade é sempre com pequeno ângulo de mergulho e a direção pode variar. Muito localmente são observadas dobras em bainha em quartzitos micáceos presentes próximo ao sistema de cavalgamento que coloca os xistos do Grupo Araxá sobre os metarritmitos do Grupo Paranoá (Sistema de Cavalgamento Descoberto, Freitas-Silva & Campos 1998).

No Grupo Paranoá são observadas dobras em estilos que variam desde *chevrons* apertados simétricos a assimétricos até dobras abertas, as quais foram correlacionadas às dobras das fase F_2 e F_3 descritas por Freitas-Silva & Campos (1998). As dobras D_2 da fase F_2 apresentam eixos em torno de NS, embora nesta região possam apresentar forte inflexão para NE, enquanto as dobras D_3 da fase F_3 apresentam eixos com direções pouco variáveis em torno de NS e embora com duplo caimento, predominam os eixos com mergulho para sul. Estes dobramentos foram gerados durante a estruturação do Sistema de Cavalgamento Paranoá e desenvolveram foliação de plano axial denominada de S_2 (Freitas-Silva & Campos 1998)

No Grupo Canastra não estão impressas as estruturas da Fase F_2 , nesta unidade as dobras D_3 apresentam estilo *chevron* geralmente bastante apertadas com eixos de direção geral NS, e planos axiais NS/W com o desenvolvimento de clivagem penetrativa S_3 de plano axial com atitude geral NS/W. Esta geometria foi desenvolvida durante a estruturação do

Sistema de Cavalcamento São Bartolomeu que foi responsável pela superposição do Grupo Canastra por sobre os grupos Paranoá e Bambuí.

As duas fases deformacionais citadas anteriormente correspondem ao estágio de deformação dúctil-rúptil mais importante do Distrito Federal, sendo que a orientação do estiramento mineral, relacionado a estas fases coaxiais, indica movimentação de oeste para leste em direção ao antepaís, representando pelo Cráton do São Francisco (as atitudes de L_x e L_m variam em torno N80W/5-20).

Superimposta a D2 e D3 ocorrem dobramentos cruzados D_{4a} e D_{4b} da Fase F4, caracterizados por dobramentos abertos, suaves a homoclinal com eixos orientados respectivamente a NNE e WNW e planos axiais subverticais. Neste estágio deformacional foram desenvolvidas as amplas dobras abertas e ondulações, as quais foram responsáveis pela estruturação em domos e bacias observada no Distrito Federal, gerada a partir do redobrimento (duplo caimento) dos eixos D_2 e D_3 .

No Grupo Bambuí ocorrem dobras apertadas com plano axial subvertical e flancos invertidos que foram formadas com a evolução da fase dúctil-rúptil da Orogênese Brasileira.

Ao final do Ciclo Brasileiro, já em um estágio francamente rúptil foi desenvolvida a fase F5, observada em todos os tipos petrográficos de todas as unidades litoestratigráficas. Esta fase é representada por um conjunto de descontinuidades planares representadas por fraturas e falhas normais. Neste contexto é possível evidenciar três sistemas principais de fraturas/falhas. O primeiro de direção geral NS, com variação de até 20° para leste e oeste, tendo sido caracterizado como fraturas de alívio da compressão principal. Localmente este sistema aproveita a direção da foliação D_3 para seu desenvolvimento. O segundo sistema tem atitude geral EW, podendo também mostrar variações de 20°. O terceiro sistema é composto por duas famílias que representam um par de fraturas de cisalhamento conjugado N45E e N45W, com pequenas variações. Naturalmente ocorrem outras direções de menor importância, que foram desenvolvidas a partir da reativação de anisotropias geradas durante as fases de deformação anteriores (F_1 a F_3).

5.4 CARACTERIZAÇÕES DAS FRATURAS

As fraturas foram caracterizadas por dimensão (grande ou pequena), abertura (aberta ou fechada), densidade (quantidade de fraturas da mesma família por metro), rugosidade (rugosa ou lisa), preenchimento (material de preenchimento), presença de percolação, e a relação com as outras fraturas presentes.

As fraturas grandes foram consideradas aquelas com continuidade do plano maior que 4 metros, estas em geral atravessam todo o corte ou o afloramento.

A presença de percolação de água é facilmente avaliada pela variação de cores em função do intemperismo diferencial que afeta o material.

A rugosidade deve ser observada diretamente no plano da falha e sua abertura pode ser medida nas exposições mais adequadas. É importante salientar que a abertura é feita nas exposições e que estas devem ser ampliada pelo alívio de carga litostática, de forma que a abertura deve diminuir com o aumento da profundidade.

As Figuras 5.2 a 5.9 apresentam exemplos dos diversos tipos de estruturas observadas durante os trabalhos de campo.



Figura 5.2 - Fraturas abertas, rugosas e médias presentes em brecha carbonática Cenozóica (em seção).



Figura 5.3 - Fratura com preenchimento por quartzo leitoso (em seção).



Figura 5.4 - Fratura com percolação, evidenciada pela tonalidade amarelada ao longo do plano de infiltração da água (em seção).



Figura 5.5 - Fraturas abertas desenvolvidas em quartzito da Unidade Q3 do Grupo Paranoá. Notar a presença de pares conjugados do cisalhamento (em seção).



Figura 5.6 - Feição semelhante a uma escada gerada pela interferência de duas direções perpendiculares de fraturas (em seção).



Figura 5.7 - Fraturas trativas em calcário micrítico com ampliação de abertura devido à dissolução do carbonato (em seção).



Figura 5.8 - Quartzo em cristais euhédricos que preenche fratura aberta desenvolvida em rocha pelítica do Grupo Paranoá (em seção).



Figura 5.9 - Afloramento com alta densidade de fraturas fechadas desenvolvidas em ardósias do Grupo Paranoá (em planta).

5.5 ANÁLISE E AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS FRATURAS

Foram confeccionadas rosetas e estereogramas a fim de quantificar estatisticamente as medidas de fraturas realizadas em campo objetivando identificar a direção neotectônica preferencial destas estruturas. As fraturas foram agrupadas em função de suas características individuais, tais como abertura (aberta ou fechada), tamanho, tipo de superfície (lisa ou rugosa) e preenchimento.

A Figura 5.10 representa os dados de todas as medições de fraturas coletadas no campo, na qual se pode observar a presença de três famílias de medidas. A primeira encontra-se nas direções N20E e N20W, predominando as fraturas com direção NS a N20W, sendo a mais frequente. A segunda está na direção EW com variação de 10° compondo conjuntos N80W e N70-80E. Pode ainda dizer que há outra família interpretada como geradas do par de cisalhamento representado nas direções N45 a 65 E e N60 a 70.

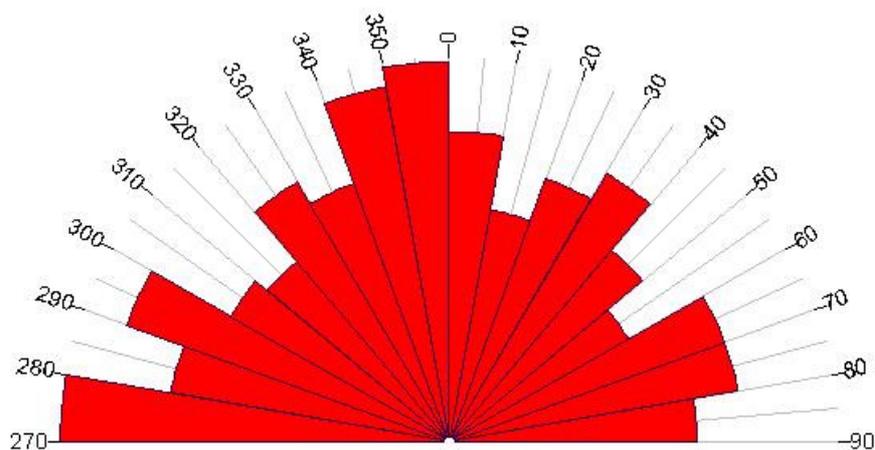


Figura 5. 10 - Roseta com todas as fraturas medidas durante em campo. N= 1044 medidas de fraturas.

Nas rosetas apresentadas nas Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 observa-se uma família de fraturas com a maior densidade de medidas, que possui alinhamento preferencial na direção NS, a variação dessa atitude pode alcançar até 20° para o sentido leste e 20° para o sentido oeste. Uma segunda direção predominante é a EW, que apresenta a segunda maior densidade de medidas, que compõe uma família constituída de fraturas fechadas (Figura 5.11), pequenas (Figura 5.12) e lisas (Figura 5.13) que apresentam as características citadas.

O este conjunto de fraturas destaca de forma evidente a família com direções próxima a NS e a EW interpretadas como representantes de feições herdadas das fases finais da tectônica formadora (neoproterozóica).

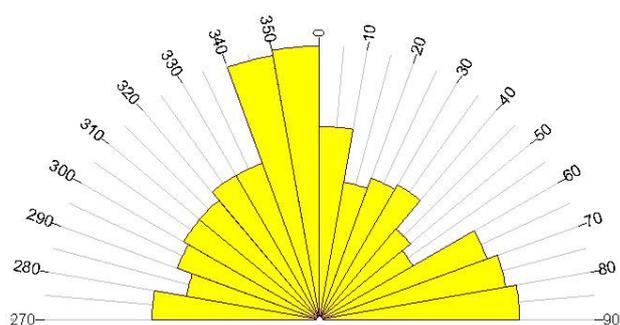


Figura 5.11 - Roseta de fraturas fechadas.
N = 272.

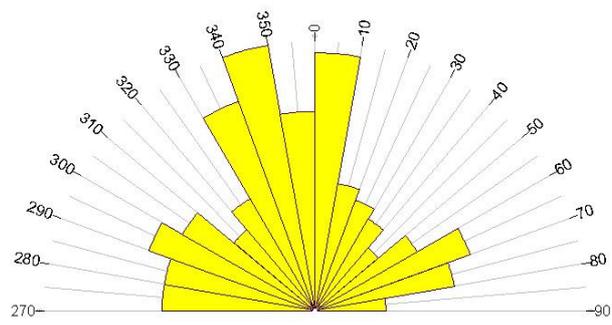


Figura 5.12 - Roseta de fraturas pequenas.
N = 233.

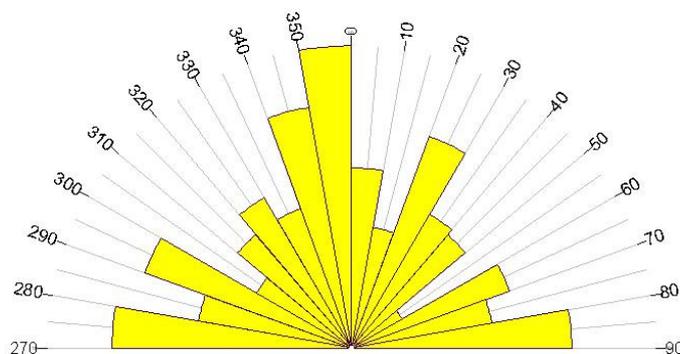
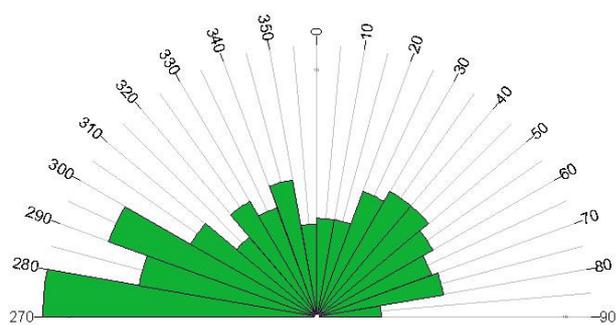
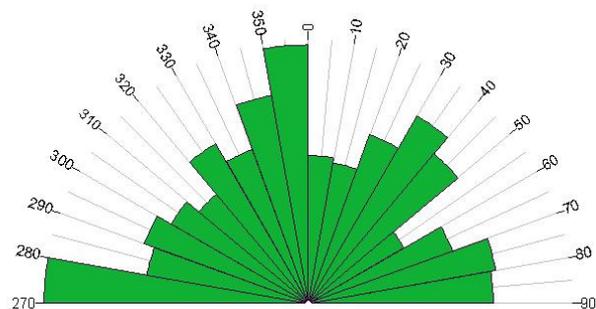
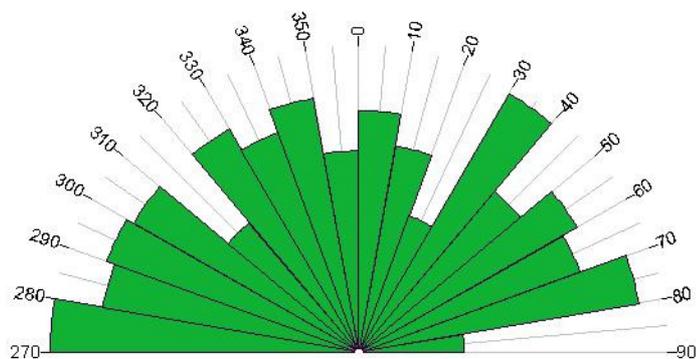


Figura 5.13 - Roseta de fraturas lisas. N = 490.

Outro grupo de fraturas que podem ser distribuídas em famílias são as fraturas abertas (Figura 5.14), as fraturas grandes (Figura 5.15) e as fraturas rugosas (Figura 5.16).

As rosetas dessas fraturas apresentam a característica interessante de apresentar maior densidade de medidas em uma determinada direção, para um quadrante e uma densidade muito menor para o quadrante oposto. Esta feição de maior concentração relativa de estruturas no quadrante oeste é interpretada como a reativação neotectônica de um dos conjuntos de fraturas que compõem a família do par conjugado de cisalhamento.

Outra característica é o fato de as medidas apresentarem melhor distribuição nas demais direções. Em cada família de estruturas, cada direção preferencial apresenta uma característica exclusiva, como nas fraturas abertas (Figura 5.14) que possuem uma direção predominante para oeste, tendo uma maior quantidade de medidas na direção N85W. As fraturas grandes (Figura 5.15) apresentam duas direções predominantes, sendo a primeira para oeste como nas fraturas grandes e outra direção NS. Por fim, as fraturas rugosas (Figura 5.16) apresentam um predomínio de medidas na direção N35E.

**Figura 5.14** - Roseta de fraturas abertas. N = 425.**Figura 5.15** - Rosetas de fraturas grandes. N = 614.**Figura 5.16** - Roseta de fraturas rugosas. N = 519.

Nota-se que o par de fraturas N-S e E-W aparecem de forma alternada, o que referencia os dois estágios distintos da tectônica da região. O primeiro estágio compressivo e o segundo em regime distensivo.

As Figuras 5.17 e 5.18, 5.19 e 5.20 apresentam os resultados de medidas realizadas em afloramentos de corte de estrada na BR 020 (Ponto 1) e da estrada DF 345 (Ponto 3) nas fácies pelíticas e psamíticas do metarritmito arenoso na Unidade R3 do Grupo Paranoá, respectivamente.

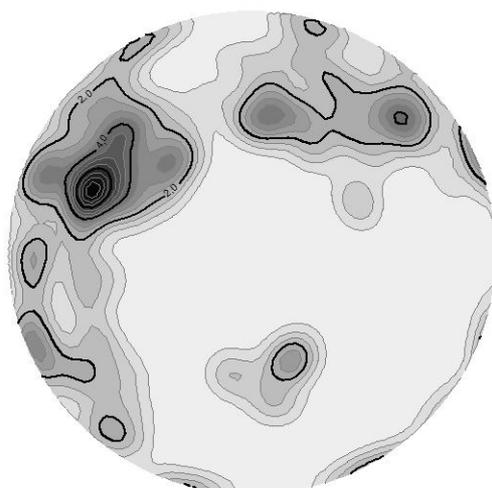


Figura 5.17 - Estereograma referente ao Metarritmito Arenoso na Unidade R3, (Ponto 1). N = 129.

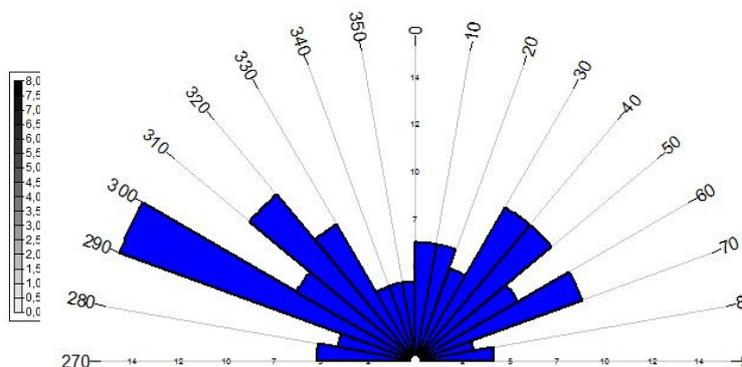


Figura 5.18 - Diagrama de roseta referente ao Metarritmito Arenoso na Unidade R3, (Ponto 1), N = 129.

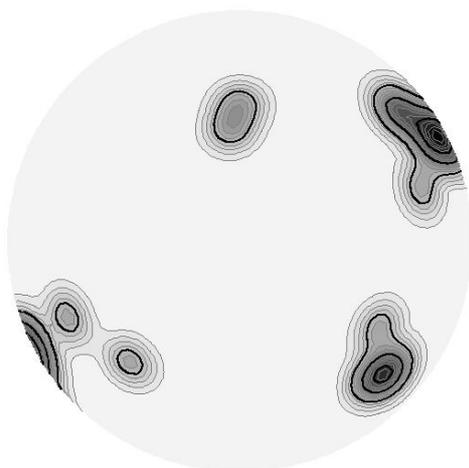


Figura 5.19 - Estereograma referente ao Metarritmito Arenoso na Unidade R3, (Ponto 3). N = 14.

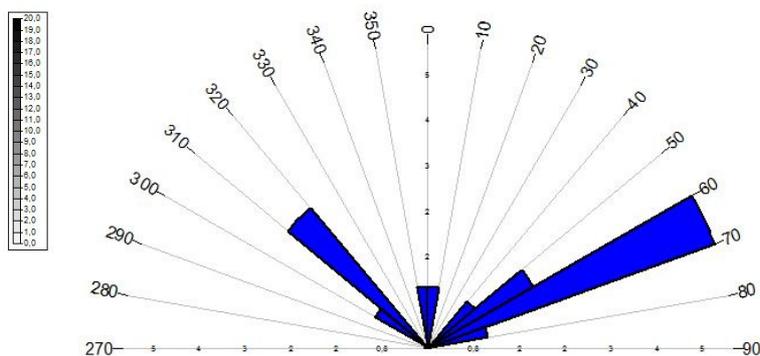


Figura 5.20 - Diagrama de rosete referente ao Metarritmito Arenoso na Unidade R3, (Ponto 3). N = 14.

As Figuras 5.21 e 5.22 representam as medidas de fraturas de afloramentos de fácies pelítica de metarritmitos da Unidade R4 na região do Pólo de Cinema -Núcleo Rural Lobeiral (Ponto 4).

No ponto 2 ocorre Quartzito da Unidade **Q2** com grãos arredondados e esféricos, muito silicificado. Analisando-se o estereograma (Figura 5.23) nota-se maior densidade de pólos de medidas nas extremidades no diagrama devido ao alto ângulo de mergulho das fraturas. A roseta (Figura 5.24) apresenta um domínio de direção das fraturas para N60 a 70E.

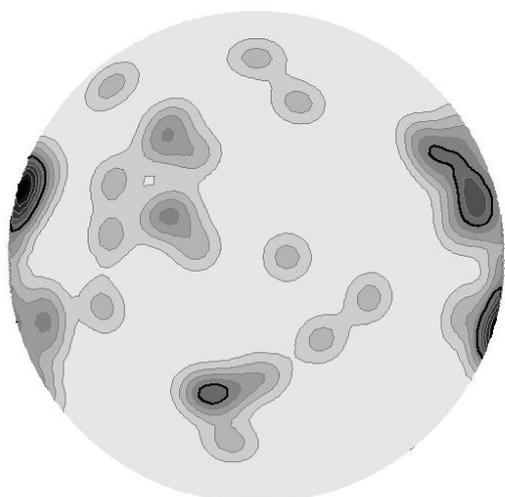


Figura 5.21 - Estereograma referente ao Metarritmito Unidade R4 no Núcleo Rural Lobeiral, (Ponto 4). N = 38.

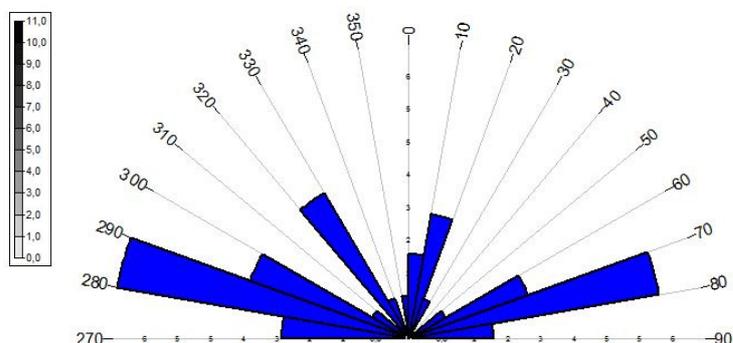


Figura 5.22 - Diagrama de roseta referente ao Metarritmito Unidade R4 no Núcleo Rural Lobeiral, (Ponto 4). N = 38.

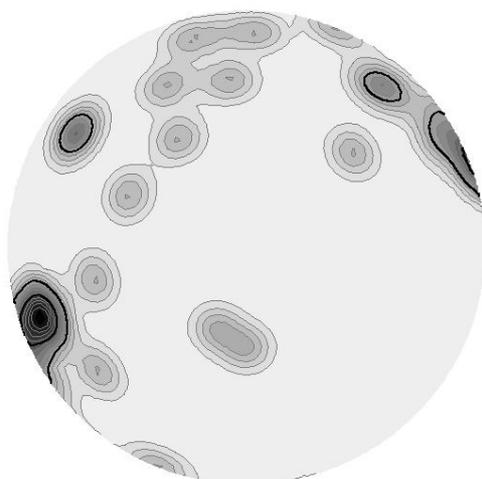


Figura 5.23 - Estereograma referente ao Quartzito da Unidade Q2, (Ponto 2). N = 23.

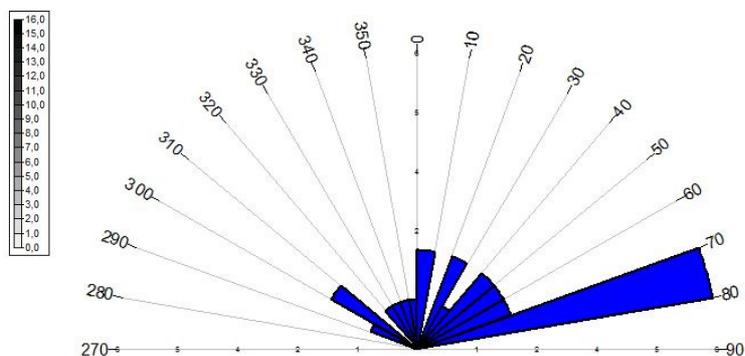


Figura 5.24 - Diagrama de roseta referente ao Quartzito da Unidade Q2, (Ponto 2). N = 23.

Os afloramentos dos pontos 5 e 7 representam a Unidade Q3 e estão respectivamente representados nas figuras 5.25, 5.26 e 5.27, 5.28, estão localizados no corte na estrada BR 070 próximo a divisa oeste do Distrito Federal, e na antiga região de extração de areia do

extremo sul próximo a cidade de Santa Maria. A análise da roseta e do estereograma mostra tendência geral de fraturas NS predominantemente verticais/ subverticais, ao contrário da roseta do ponto 2, que apresenta orientação preferencial EW.

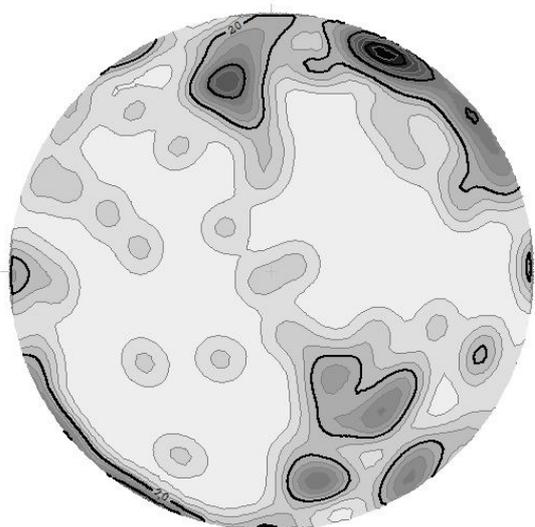


Figura 5.25 - Estereograma referente ao Quartzito da Unidade Q3. (Ponto 5). N = 85

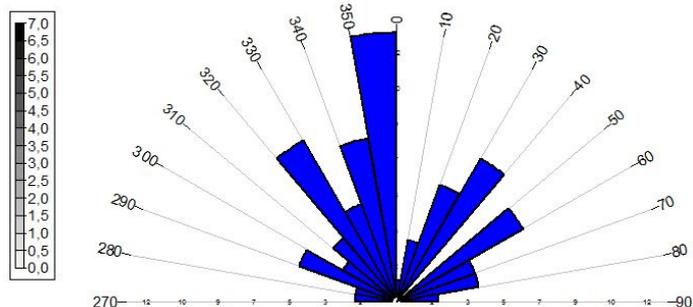


Figura 5.26 - Diagrama de roseta referente ao Quartzito da Unidade Q3. (Ponto 5). N = 85

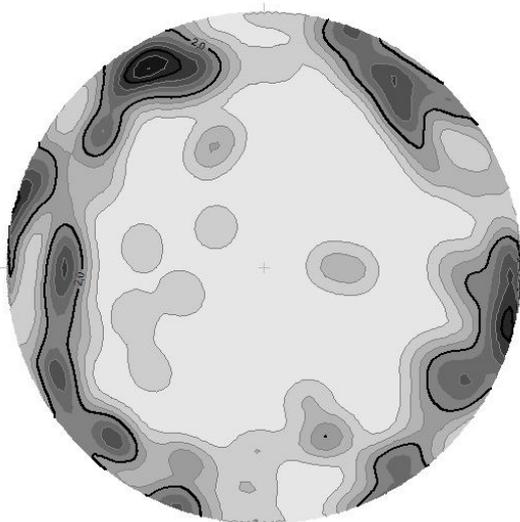


Figura 5.27 - Estereograma referente ao Quartzito da Unidade Q3. (Ponto 7). N = 100.

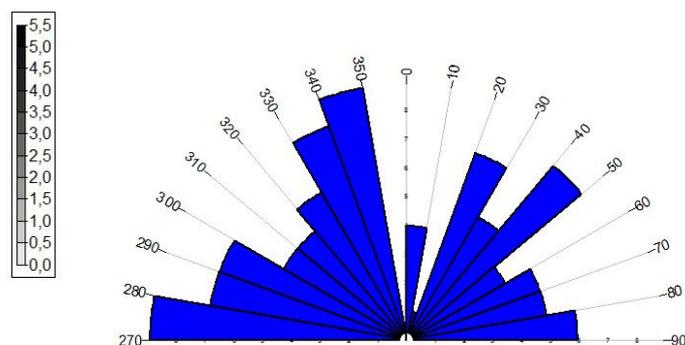


Figura 5.28 - Estereograma referente ao Quartzito da Unidade Q3. (Ponto 7). N = 100

O ponto 6 foi marcado na Região do Engenho das Lages, em um córrego alinhado na direção N10W, apresentando um quartzito-micaxisto do Grupo Araxá. A roseta (Figura 5.30) apresenta uma forte concentração das medidas das fraturas para a direção EW.

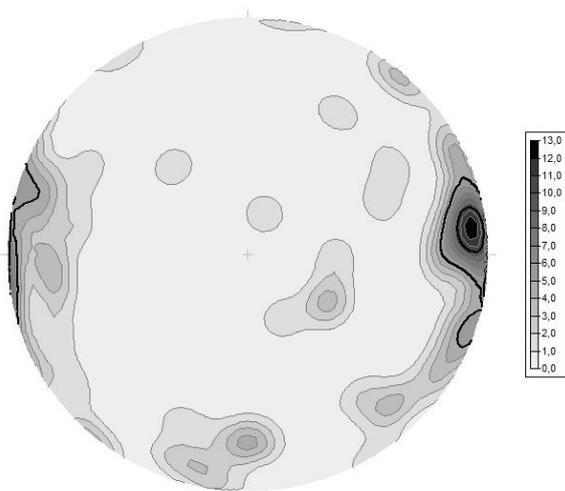


Figura 5.29 - Estereograma referente ao Grupo Araxá, quartzo-micaxisto. (Ponto 6). N = 56.

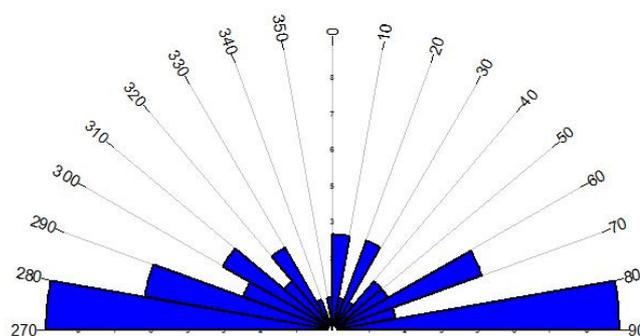


Figura 5.30 - Diagrama de rosetas referente ao Grupo Araxá, quartzo-micaxisto. (Ponto 6). N = 56.

O ponto 8, representado por ardósias expõe um afloramento de corte da estrada de acesso ao Varjão, apresenta clivagem ardósiana pertencente à Unidade **A** do Grupo Paranoá. A roseta (Figura 5.32) apresenta duas direções preferenciais de fraturas muito bem delimitadas nesta sequência de afloramentos - N20-30E e N 60-70 W - sendo essa segunda direção igual à do par conjugado de cisalhamento.

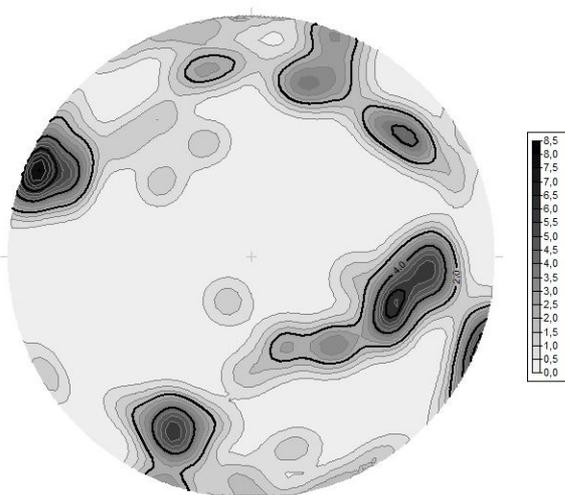


Figura 5.31 - Estereograma referente as Ardósias da Unidade A do Grupo Paranoá. (Ponto 8). N = 72.

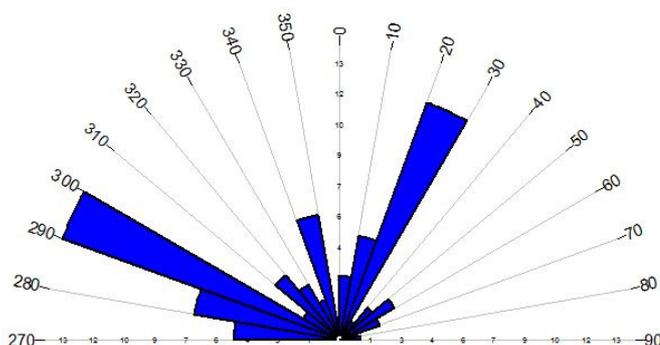


Figura 5.32 - Diagrama de roseta referente as Ardósias da Unidade A do Grupo Paranoá. (Ponto 8) N = 72.

No ponto 9 representado por corte de estrada da DF 205, na parte oeste do Distrito Federal. Nota-se um forte lineamento das fraturas na direção oeste como representado nas Figuras 5.33 e 5.34.

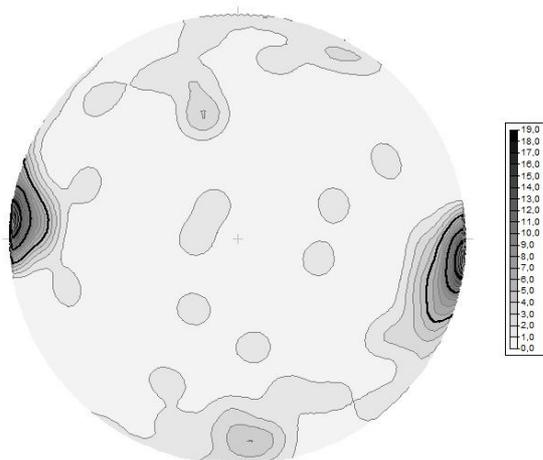


Figura 5.33 - Estereograma referente a Unidade Psamo-Pelito-Carbonatada, do topo do Grupo Paranoá. (Ponto 9). N = 59.

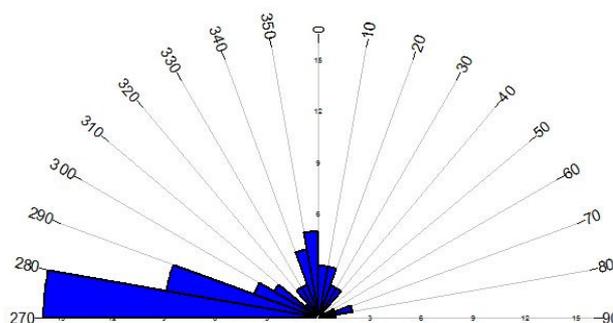


Figura 5.34 - Diagrama de rosetas referente a Unidade Psamo-Pelito-Carbonatada, do topo do Grupo Paranoá. (Ponto 9). N = 59.

O afloramento no Vale do Rio da Palma próximo à divisa DF/GO expõe brechas carbonáticas cenozóicas possui um papel importante nesse trabalho devido ser ao fato desta ser a rocha mais nova observada no campo. Este afloramento é representado pelo ponto 10 e apresenta fraturas em três direções preferenciais: a primeira para N10E, a segunda N75E e a terceira N55W (Figuras 5.35 e 5.36). Sendo a primeira, fraturas extensionais, a segunda e a terceira formam um par de cisalhamentos.

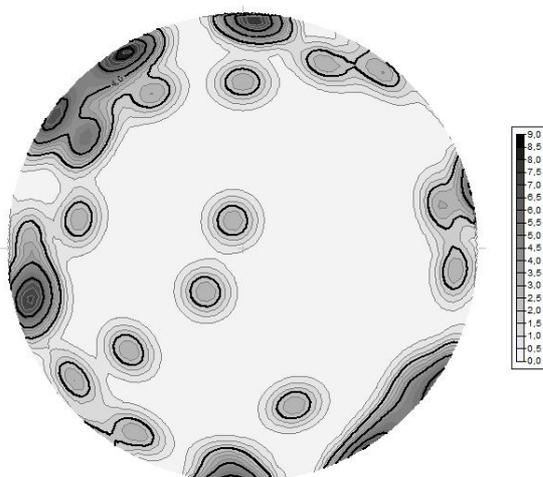


Figura 5.35 - Estereograma referente as brechas carbonáticas. (Ponto 10). N = 32.

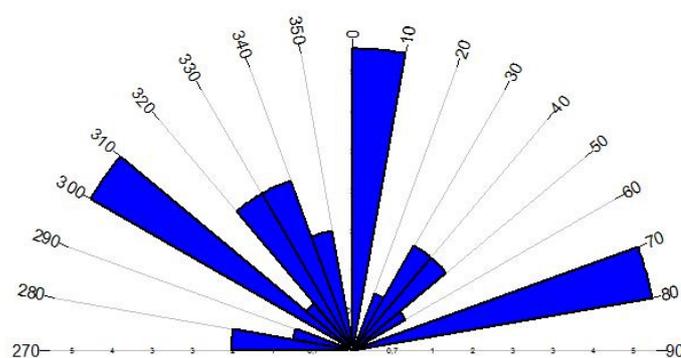


Figura 5.36 - Diagrama de roseta referente as brechas carbonáticas. (Ponto 10). N = 32.

Os pontos 11 e 12 foram afloramentos logo após a ponte do Rio Preto de siltitos e siltitos argilosos do Grupo Bambuí. Intercalados a estes siltitos ocorrem bancos de arcóseos intemperizados, com tonalidades amareladas e rosadas. Internamente o material se encontra intensamente micro fraturado. Nesse ponto têm-se as rosetas (Figuras 5.38 e 5.40) uma concentração de medidas entre NS a N30W e NS a N40E. Neste afloramento há uma repetição das fraturas extensionais e fraturas híbridas.

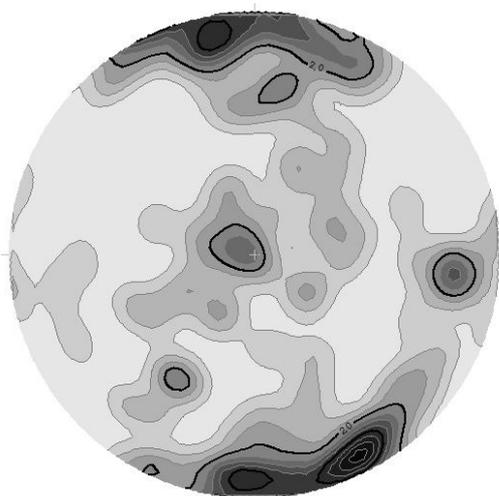


Figura 5.37 - Estereograma referente ao Silito e Silito Argiloso do Grupo Bambuí, (ponto 11). N= 112

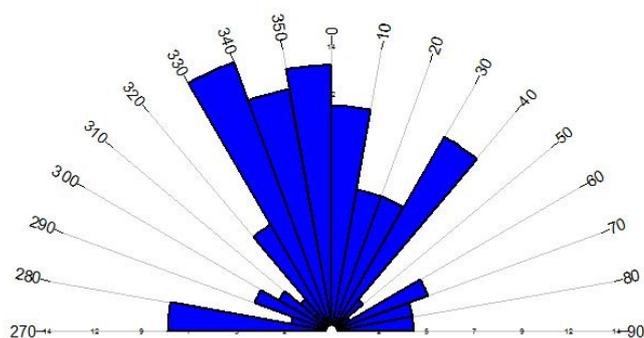
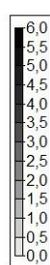


Figura 5.38 - Diagrama de roseta referente ao Silito e Silito Argiloso do Grupo Bambuí, (ponto 11). N= 112.

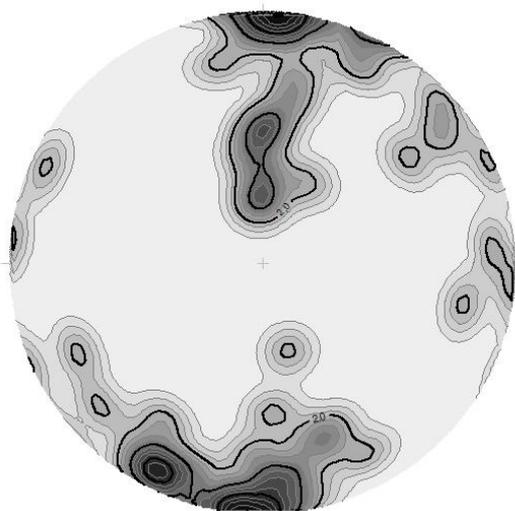


Figura 5.39 - Estereograma referente ao Silito e Silito Argiloso do Grupo Bambuí, (ponto 12). N= 45.

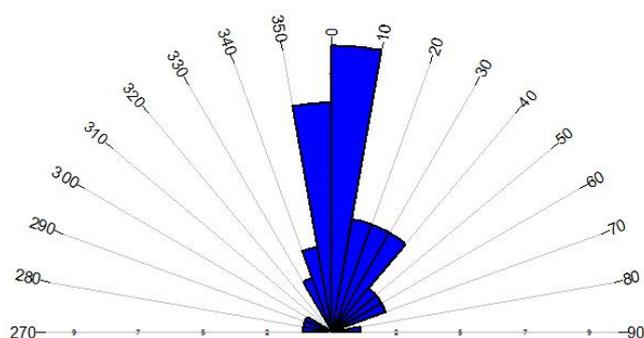


Figura 5.40 - Diagrama de roseta referente ao Silito e Silito Argiloso do Grupo Bambuí, (ponto 12). N= 45.

Afloramento de filito próximo ao rio São Bartolomeu na DF 250. Mostra uma densidade de medidas muito forte entre a direção N e N50W, sendo que nessa densidade de medida são encontradas as famílias das fraturas híbridas. Outra densidade de medidas observada no conjunto da Figura 5.42 é a de N60 a 80E que representam fraturas de uma das direções do par conjugado de cisalhamento.

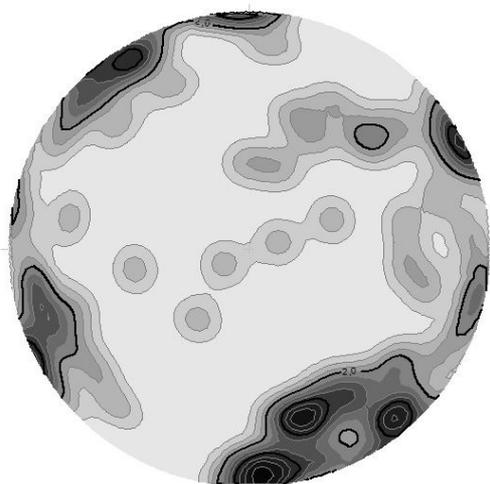


Figura 5.41 - Estereograma referente aos filitos do Grupo Canastra. (Ponto 13). N = 76.

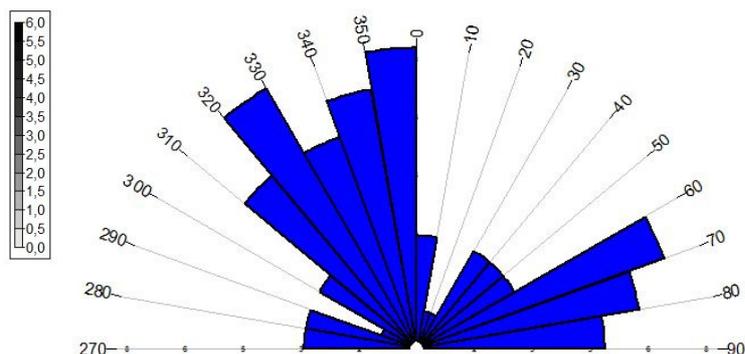


Figura 5.42 - Diagrama de roseta referente aos filitos do Grupo Canastra. (Ponto 13). N = 76.

Afloramento de calcários cinza micríticos da base do Grupo Bambuí. Foram medidas fraturas representadas na roseta da Figura 5.22, a qual mostra fraturas estatisticamente mais desenvolvidas nas direções EW, NS e N40E.

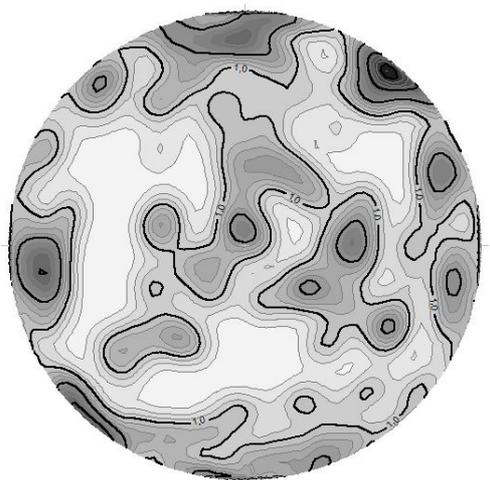


Figura 5.43 - Estereograma referente ao Calcário da base do Bambuí. (Ponto 14). N = 19.

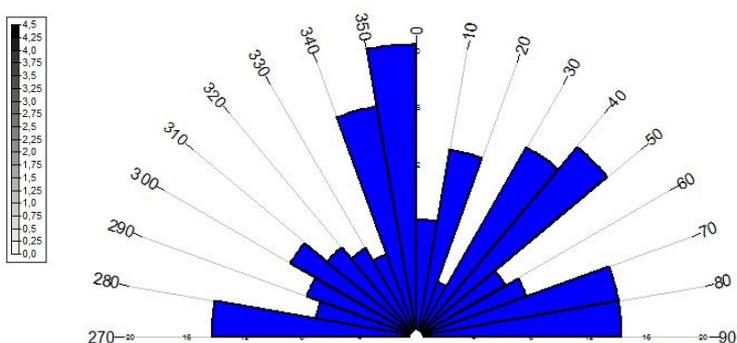


Figura 5.44 - Diagrama de roseta referente ao Calcário da base do Bambuí. (Ponto 14). N = 19.

5.6 CINEMÁTICA DA REATIVAÇÃO NEOTECTÔNICA

Joko (2002) caracteriza as fraturas existentes remanescentes da fase F_5 , como de ocorrência relativamente homogênea, independentemente das litologias e da localização geográfica, e possuem quatro direções compondo um padrão ortorrômbico. As direções preferenciais são: N15E; N50-70W; N40-50E e N45-65W, com mergulhos altos, entre 70° e 90°. Estes conjuntos de estruturas podem ser classificados em quatro famílias com direções distintas: Família I com direção N-S; Família II com direção E-W; Família III com direção N45W e Família IV com direção N45E.

Para compreender a rede de esforços que compõe os movimentos neotectônicos é necessária a compreensão dos controles estruturais existentes em âmbito regional, para assim, obter os sistemas de tensores locais para estudos mais detalhados.

A neotectônica brasileira é influenciada por esforços compressoriais advindos da associação dos tensores produzidos na dorsal Meso-Atlântica e na zona de subducção da Placa de Nazca (evento formador da Cadeia Andina). A litosfera continental situada no interior da Placa Sul-americana é submetida a esses esforços, de maneira que o resultado dessas tensões seja um arranjo compressivo.

Sob tal conjunto de esforços, em uma matriz já rica em anisotropias e zonas de fraqueza pré-existent, certas direções preferenciais deverão ser mais facilmente submetidas a eventuais processos neotectônicos.

Uma vez que as tensões compressivas principais atuais (σ_1 atual) estão alinhadas na direção, aproximadamente E-W (Figura 5.23) é possível inferir a partir dados teóricos e de campo, que cada família de estruturas pré-existent se comportará de maneira distinta com o movimento por pulsos ou progressivo das tensões compressivas.

As fraturas da Família I tenderão a se fechar, as da Família II tenderão a formar falhas transcorrentes, as da família III e IV (pares cisalhantes), tenderão, de forma alternada, a abrir em N45W e a fechar em N45E (ou a fechar em N45W e a abrir em N45E).

Esta análise está de acordo com as direções neotectônicas observadas no Distrito Federal que em sua maioria varia de N45 a N60W, com mergulhos verticalizados.

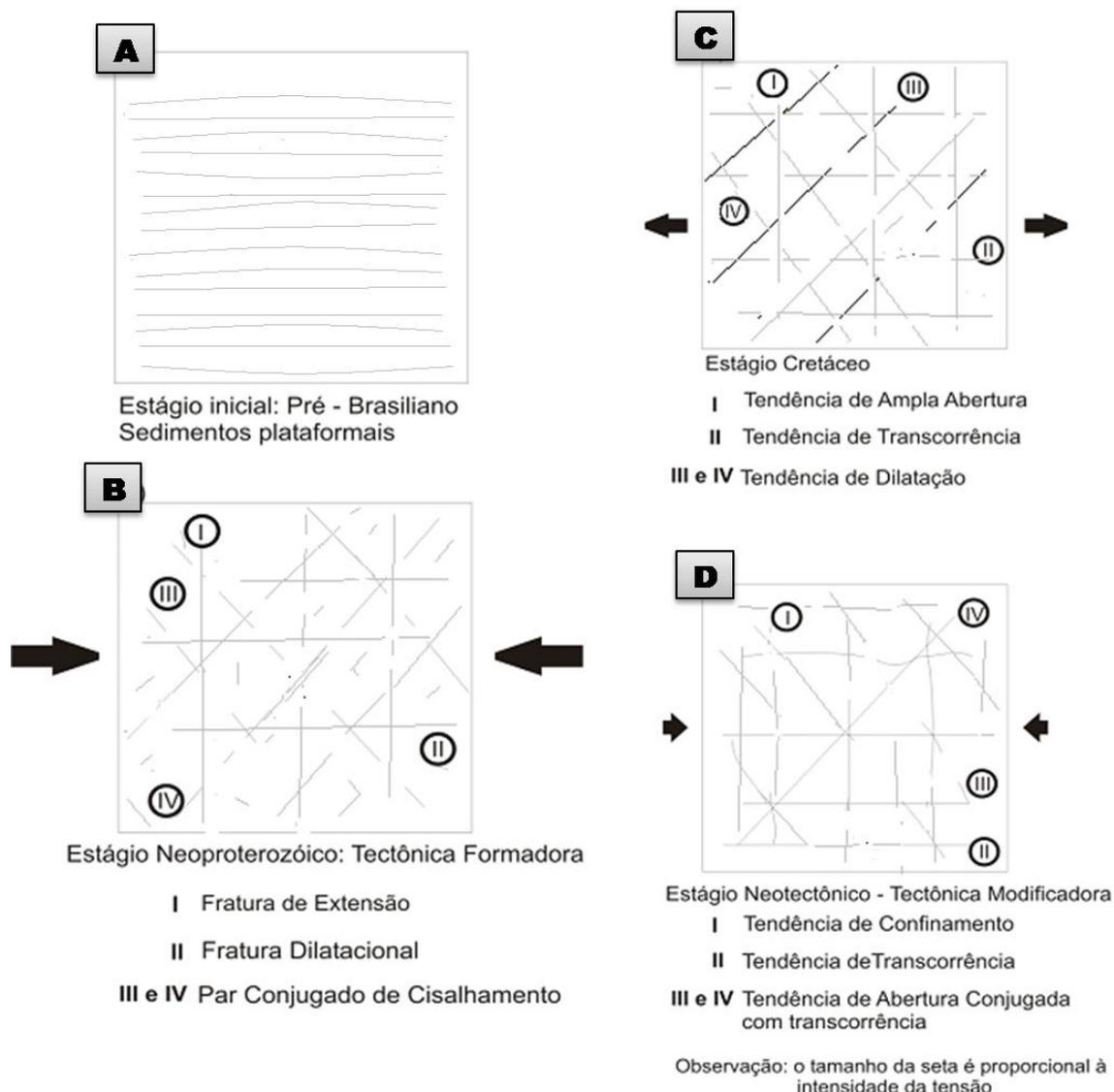


Figura 5. 45 - Esquema demonstrativo da compressão máxima (σ_1) existente em E-W, ao longo do tempo geológico. Conseqüentemente, os esforços produzidos reativam de forma diferencial as estruturas ao longo de anisotropias específicas.

Foi elaborado um modelo esquemático a fim de explicar a cinemática da formação e modificação das estruturas da área de estudo. Este modelo dividiu a cinemática da deformação em toda a história geológica da região em estágios, para a explicação da evolução da configuração e evolução dos esforços na região.

No Estágio Inicial (Figura 5.45A) tem-se a fase pré-brasiliana, onde existiam sedimentos platformais depositados sem indicativos de anisotropias ou outros planos de fraqueza verticalizados, que eram apenas representados pelo plano de acamamento horizontalizado.

A partir deste momento começaram a atuar os esforços da orogênese brasiliana com

direção aproximadamente leste-oeste, culminando com o surgimento de planos de ruptura e outras anisotropias nos metassedimentos originalmente considerados maciços. Este estágio foi denominado de Estágio Neoproterozóico, e é o estágio responsável pela formação de todas as estruturas tectônicas na região, inclusive as famílias de fraturamentos e empurrões.

Com a atuação dos esforços na fase tardia do Estágio Neoproterozóico houve o surgimento de fraturas de extensão (I), fraturas de dilatação (II) e ainda pares conjugados de cisalhamento (III e IV) exclusivamente em resposta a compressão exercida (Figura 5.45B).

Posteriormente foi iniciado um novo estágio de deformação, denominado Estágio Cretáceo (Figura 5.45C) onde houve mudança no regime de esforços, que passou a ser extensivo no contexto da separação sul-atlântica. Desta forma as fraturas geradas no Estágio Neoproterozóico passaram a apresentar outras tendências. As fraturas anteriormente formadas por extensão, passam a tender a abertura (I); as fraturas formadas por dilatação (II) passam a apresentar tendência de transcorrência, enquanto que os pares conjugados de cisalhamento (III e IV) tenderam a se dilatar alternadamente.

No estágio seguinte denominado Estágio Neotectônico (Figura 5.45D) novamente passam a ser atuantes esforços compressivos. Tais esforços possuem a mesma direção dos esforços exercidos na tectônica formadora da região, contudo com intensidade muito menor. A atuação destes esforços proporciona a reativação das estruturas geradas no Estágio Neoproterozóico, sob um contexto compressivo. Este novo estágio evidencia e explica como se dá a reativação neotectônica na área de estudo, que atua em estruturas formadas em estágios tectônicos anteriores, devido a atuação de esforços semelhantes.

Ressalta-se que há variação na intensidade destes esforços, sendo os esforços da fase neotectônica mais amenos do que os esforços da fase formadora neoproterozóica.

Portanto, a partir das avaliações realizadas sobre os dados coletados em campo foi possível demonstrar o contexto da reativação tectônica recente no Distrito Federal.

A partir do contexto tectônico macro regional (tensores no interior da placa sul-americana), dos padrões e atitudes do fraturamento, da facilidade de percolação de fluidos e das demais características descritas neste estudo é possível identificar que as principais direções de reativação neotectônica no Distrito Federal são N45E e N45W, além de variações destas direções preferenciais.

Esta observação está em acordo com os demais indicadores cinemáticos apresentados nas rosetas e estereogramas de fraturas. A roseta de fraturas abertas (Figura 5.14) é uma das mais importantes para esta avaliação, pois as maiores densidades de fraturas com esta característica são associadas às direções que variam de N40E a N65E e de N45W a N60W.

5.7 IMPLICAÇÕES NA HIDROGEOLOGIA

A correlação das áreas com maior incidência de fraturas neotectônicas com os poços com vazões anômalas demonstra que as regiões onde a neotectônica atuou de forma mais intensa, são as áreas de maior produção de água subterrânea.

Portanto a cinemática proposta pode ser validada com esta informação, de forma que fica evidente a importância da neotectônica na configuração dos aquíferos fraturados do Distrito Federal.

Para esta análise foi considerada vazão anômala $40 \text{ m}^3/\text{h}$, o que representa 8 vezes a vazão média dos aquíferos fraturados do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva 1998).

Inicialmente os poços de vazões anômalas foram plotados sobre o mapa de lineamentos aparentes, entretanto, em função da escala e da densidade de lineamentos o resultado não foi satisfatório.

Em segunda tentativa, foram plotados os poços de vazões anômalas sobre as imagens de satélite de alta resolução espacial disponibilizadas diretamente pelo Google Earth. Esta técnica permitiu verificar os lineamentos estruturais com relação a cada poço, de forma que, fica evidente que os poços de elevada produtividade têm correlação direta com lineamentos considerados de direções neotectônicas preferenciais. A Figura 5.46 mostra um exemplo do procedimento que foi repetido para 15 poços de vazões anômalas.

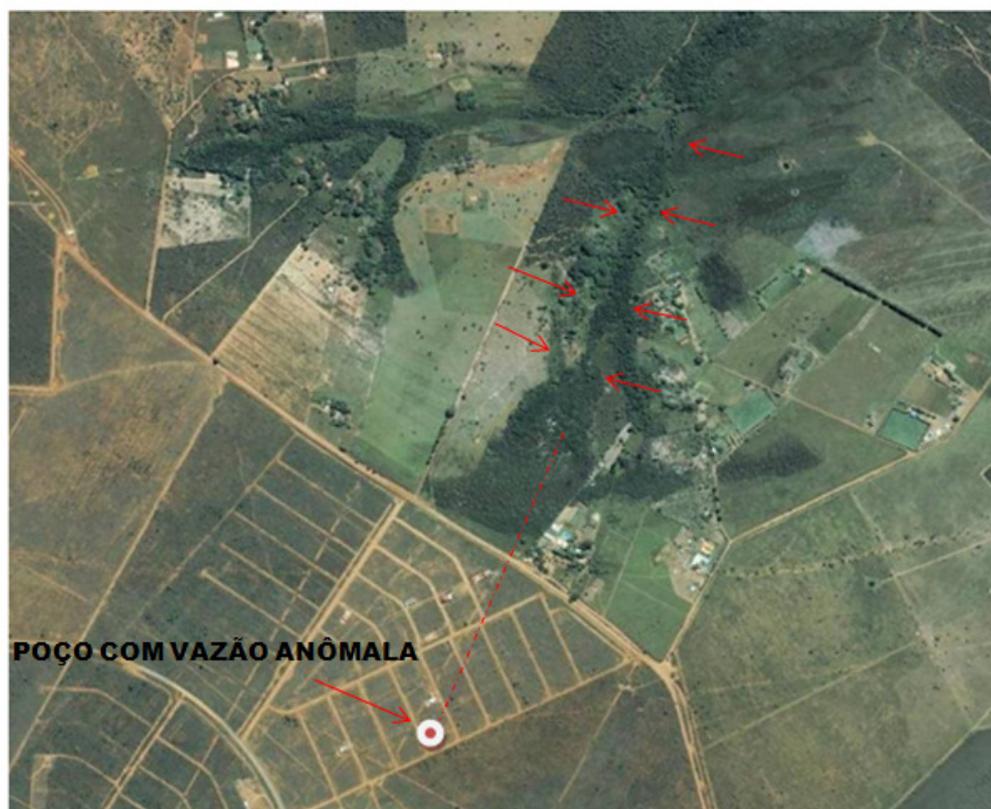


Figura 5. 46 - Exemplo de análise de lineamento caracterizado pelo alinhamento da vegetação ao longo de drenagem retilínea, indicado pelas setas vermelhas e projetado pelo traço vermelho até o ponto de localização de poço tubular com vazão anômala. Exemplo no Condomínio Alto da Boa Vista. Este poço apresenta vazão de $45 \text{ m}^3/\text{h}$ (Google Earth 2009).

Além do exemplo citado na figura 5.24 ocorrem diversos outros casos no Distrito Federal similares, incluindo:

- ✓ Poço do Polo de Cinema com vazão de 75 m³/h, vinculado a lineamento N45E;
- ✓ Poço do condomínio Solar de Brasília com vazão aproximada de 42 m³/h, vinculado a lineamento N40E;
- ✓ Poços da cidade de São Sebastião com vazões superiores a 100 m³/h, associados a lineamento N45W;
- ✓ Poço do Núcleo Rural Catingueiro com vazão de 70 m³/h, no prolongamento de lineamento N30E;
- ✓ Poço do Condomínio Jardins do Lago Quadra 2 com vazão de 38 m³/h associado a lineamento N60 E.

5.8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram caracterizadas fraturas por dimensão, abertura, densidade, rugosidade, preenchimento, presença de percolação, e a relação com as outras fraturas presentes, de forma a quantificar e demonstrar as principais direções neotectônicas no Distrito Federal.

As estruturas rúpteis que são encontradas em todos os tipos petrográficos que foram realizadas medições de campo são representadas por descontinuidades planares representadas por fraturas e falhas normais e foram originalmente formados durante a deformação brasileira na área.

O contexto regional apresenta como principais sistemas de fraturas/falhas a direção geral NS, com variação de até 20° para leste e oeste, tendo sido caracterizado como fraturas de alívio da compressão principal. O segundo sistema possui direção EW, podendo também mostrar variações de 20°. Este sistema mostra o estágio compressivo da tectônica formadora brasileira em sua intensidade máxima. O terceiro sistema é composto por duas famílias que representam um par de fraturas de cisalhamento conjugado N45E e N45W, com pequenas variações. Além destes sistemas observam-se outras direções com menor importância.

Através da comparação das regiões com mais lineamentos de direção neotectônica preferencial com a ocorrência de poços com vazões anômalas conclui-se que estes poços encontram-se sobre estruturas neotectônicas, e desta forma, é possível demonstrar como os processos neotectônicos condicionam o fluxo de água subterrânea no Distrito Federal.



5.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dardenne, M.A. 1978. Zonação tectônica da borda ocidental do Cráton São Francisco. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais...Recife, SBG, vol.1, p. 299-308, 1978.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 87p.
- Joko, C.T. 2002. Hidrogeologia da Região de São Sebastião - DF, Implicações para a Gestão de Abastecimento de Água. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências (Dissertação de Mestrado).

CAPÍTULO VI

ARTIGO 4 - IMPORTÂNCIA DA NEOTECTÔNICA NO CONTROLE DOS AQUÍFEROS FRATURADOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS REGIÕES DE CALDAS NOVAS-GO E DISTRITO FEDERAL

Resumo

A hidrogeologia das regiões do Distrito Federal e Caldas Novas-GO são representadas por aquíferos fraturados. Os principais controles dos sistemas aquíferos fraturados incluem a densidade, abertura, interconexão, atitude das fraturas. A neotectônica é considerada toda tectônica ressurgente que atua a partir do limite Paleógeno / Neógeno, que afeta estruturas pré-existentes e que nas regiões em estudo resulta na reativação de anisotropias geradas durante a orogênese Brasileira nas regiões estudadas. Esta reativação promove a abertura de fraturas e outras anisotropias que controlam o fluxo subterrâneo. Desta forma, as reativações neotectônicas têm papel fundamental no controle da distribuição dos aquíferos, na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, no condicionamento da profundidade econômica dos aquíferos, na influência do potencial quantitativo do aquífero e no controle do hidrotermalismo eventualmente observado em reservatórios subterrâneos. Este artigo teve o objetivo de estabelecer uma analogia entre os sistemas aquíferos destas regiões de forma a destacar o papel da neotectônica nos contrastes hidrogeológicos das duas áreas. Na região de Caldas Novas as reativações neotectônicas foram mais expressivas que no Distrito Federal, de forma que naquela região existem fraturas com grande abertura a até 1000 metros de profundidade, enquanto na maior parte do território do Distrito Federal a menor intensidade das reativações é responsável pela manutenção de fraturas até no máximo 250 metros de profundidade.

Abstract

The hydrogeology of the Federal District and Caldas Novas-GO regions are represented by fractured aquifers. The main controls of these aquifers include the density, openness, interconnection, attitude of the fractures. Neotectonic includes all tectonics that operates in the limit of the Paleogene to the Neogene, which affects pre-existing structures and in these study regions results in the reactivation of anisotropies generated during the Brazilian Orogeny. This reactivation promotes the opening of fractures and other anisotropies that control groundwater flow. The neotectonic reactivation plays a fundamental role in the controlling the aquifers distribution, in determining the hydrodynamic parameters, in determining the economic depth of aquifers, the influence of the quantitative potential of the aquifer and the control of hydrothermalism that may be observed in some reservoirs. The aim of this paper is to make an analogy between the aquifers in these regions in order to highlight the role of neotectonics in the hydrogeological contrasts of these two areas. In the Caldas Novas region the neotectonic reactivations had been more significant than in the Federal District area, what is responsible to keep large fractures up to 1,000 meters depth, while in the most part of the Federal District territory the lesser intensity of the tectonic reactivation is responsible to maintain open fractures at most 250 meters depth.

6.1 INTRODUÇÃO

Nas regiões do Distrito Federal e Caldas Novas, GO os principais reservatórios subterrâneos são representados por aquíferos fraturados, desenvolvidos em metassedimentos de baixo grau metamórfico.

A maior parte dos autores concorda que os principais controles dos sistemas aquíferos fraturados incluem a densidade, abertura, interconexão, atitude das fraturas. Contudo, a importância dos processos neotectônicos no condicionamento dos sistemas aquíferos fraturados é pouco explorada pela maior parte dos pesquisadores. Os livros textos, e grande parte os artigos científicos, não evidenciam a grande importância que as reativações neotectônicas têm no controle da distribuição dos aquíferos, na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, no condicionamento da profundidade econômica dos aquíferos, na influência do potencial quantitativo do aquífero e no controle do hidrotermalismo eventualmente observado em reservatórios subterrâneos.

No presente trabalho, neotectônica é considerada toda tectônica ressurgente que atua a partir do limite Paleógeno / Neógeno, que afeta estruturas preexistentes e que nas regiões em estudo resulta na reativação de anisotropias geradas durante a orogênese Brasileira.

Em ambas as regiões consideradas a Orogênese Brasileira atuou de forma similar a partir da compressão aproximadamente leste-oeste que resulta na amalgamação de distintas unidades litoestratigráficas regionais e formação de grandes falhas de empurrão regionais e sistemas de nappes (Drake Jr, 1980 e Freitas-Silva & Campos 1989). Neste contexto, o transporte tectônico dos blocos de oeste para leste resultou na formação de famílias de estruturas com as seguintes direções principais: NS, com variação de 20 a 25° para leste e para oeste; EW com variações de até 20° para sul e para norte e um conjunto de N45 E e N45W com variações de 15° compondo o par conjugado de cisalhamento.

As estruturas rúpteis compõem um sistema de fraturas romboédricas típicos do esperado pela teoria da deformação desenvolvida em blocos de prova (Locky & Ladeira 1976 e Billings 1967). As fraturas NS são interpretadas como de alívio, a família com direção geral EW é considerada como de extensão e o conjunto N45EW compõe o par conjugado de cisalhamento. As estruturas com atitudes intermediárias, por vezes preenchidas por quartzo são precoces e consideradas híbridas com relação ao contexto genético.

Os principais sistemas aquíferos das regiões do Distrito Federal e de Caldas Novas, GO, são atribuídos às mesmas unidades integradas por quartzitos e metarritmitos do Grupo Paranoá e mica xistos do Grupo Araxá. Apesar de os aquíferos serem condicionados aos

mesmos tipos petrográficos, há fortes contrastes relativos as vazões médias, composição química das águas, potencial quantitativo dos aquíferos e com relação às temperaturas das águas subterrâneas.

O objetivo do presente artigo é estabelecer uma analogia entre os sistemas aquíferos das regiões de Caldas Novas, GO e do Distrito Federal (Figura 6.1) de forma a destacar o papel da neotectônica nos contrastes hidrogeológicos das duas áreas.

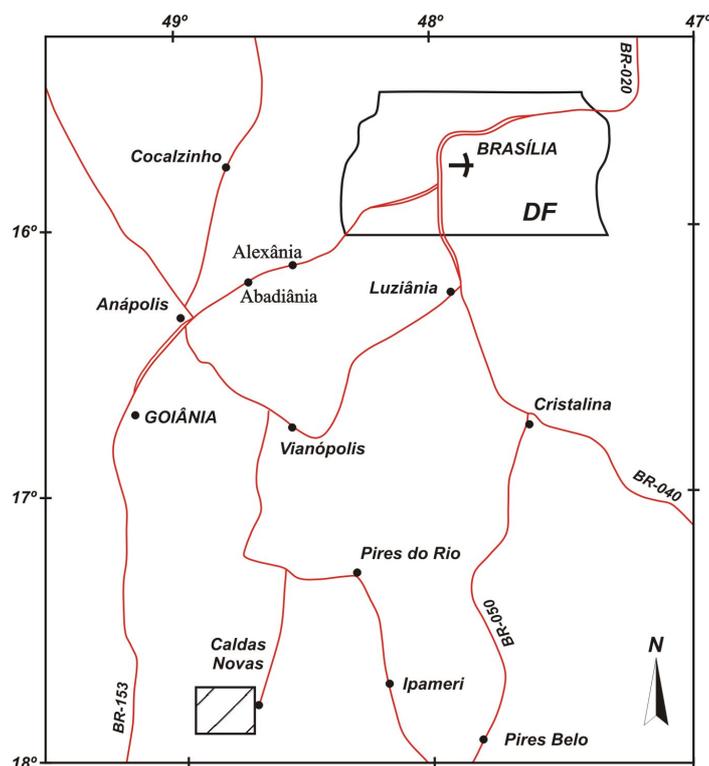


Figura 6. 1 - Localização das áreas de Caldas Novas, GO e Distrito Federal.

6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

As principais informações sobre a hidrogeologia da região do Distrito Federal estão disponíveis nos seguintes trabalhos: Romano & Rosas (1970), Barros (1987 e 1994), Amore (1994), Mendonça (1993), Campos & Freitas-Silva (1998 e 1999), Zoby (1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001), Cadamuro (2002), Joko (2002), Moraes (2004), Campos (2004), PGIRH (2005) e Lousada (2005). Para a região de caldas Novas a literatura inclui: Campos & Costa (1980), Haesbaert & Costa (2000), Zschocke (2000) e Campos *et al.* (2006).

No Distrito Federal e em Caldas Novas, em função da geologia e pedologia, dois grandes grupos de aquíferos podem ser diferenciados, o Domínio Aquífero Intergranular e o Domínio Aquífero Fraturado. Em função de variações dos tipos litológicos ainda é possível subdividir os domínios em sistema e subsistemas aquíferos.

6.2.1 Descrição dos Aquíferos - Distrito Federal

Domínio Freático

Os aquíferos do Domínio Freático são caracterizados pelos meios geológicos onde a porosidade é do tipo intergranular, ou seja, a água ocupa os poros entre os minerais constituintes do material geológico (rocha ou solo). Na área em estudo este domínio é essencialmente representado pelos solos e pelo manto de alteração das rochas. A caracterização dos aquíferos desse domínio está vinculada a vários parâmetros, dos quais dois são destacados: a espessura saturada (b) e a condutividade hidráulica (K), sendo que ambas são diretamente controladas pela geologia e pela geomorfologia onde cada tipo de solo está inserido (Campos & Freitas-Silva 1998).

Os aquíferos freáticos são compostos por meios geológicos não consolidados, com espessuras saturadas variando de poucos centímetros até 80 metros, com ampla predominância (>60%) de espessuras entre 15 e 25 metros, grande extensão e continuidade lateral, heterogêneos e anisotrópicos. Os aquíferos relacionados a esse domínio são classificados como aquíferos livres e/ou suspensos, com ampla continuidade lateral, compondo o sistema de águas subterrâneas rasas. Esses aquíferos geralmente são aproveitados por poços rasos, sendo a altura do nível freático controlada pela hipsometria e por feições físicas gerais dos vários tipos de solo/manto de intemperismo. Como são aquíferos rasos e livres, são moderadamente susceptíveis à contaminação por agentes externos, sendo, em geral, isolados em sistemas de abastecimento público.

Em função de parâmetros dimensionais (principalmente espessura saturada b e condutividade hidráulica K), esse domínio foi dividido em quatro sistemas denominados P_1 , P_2 , P_3 e P_4 . Os sistemas P_1 e P_2 são caracterizados por espessuras maiores que 20 metros e condutividades hidráulicas, respectivamente, alta (maior que 10^{-6} m/s) e moderada (da ordem de grandeza de 10^{-6} m/s). No Sistema P_3 as espessuras totais são reduzidas para menos de 10 metros e a condutividade hidráulica assume valores menores que 10^{-6} m/s. O sistema P_4 caracteriza-se por pequenas espessuras (comumente menores que 1 metro, podendo alcançar 2,5 metros) e condutividade hidráulica muito baixa. Nesse Sistema é comum a ausência de zona de saturação no domínio do saprolito, principalmente quando desenvolvidos sobre rochas argilosas (Campos & Freitas-Silva 1998).

Esse domínio aquífero apresenta particularidades devido ao fato de incluir a transição entre a zona não saturada e a zona saturada do aquífero. Essa porção também inclui a região onde se originam os processos de recarga dos aquíferos (rasos e profundos) a partir da infiltração das águas de chuva. Uma importância adicional desse domínio está vinculada à manutenção da perenidade de drenagens no período de recessão de chuvas.

As zonas de descargas desse domínio estão relacionadas a fontes do tipo depressão ou contato, sendo que sua vazão média é controlada pelo tipo de regime de fluxo. As fontes relacionadas a fluxos regionais e intermediários apresentam vazões superiores a 2,0 litros por segundo, enquanto as de fluxo local mostram vazões reduzidas e com amplas variações sazonais. Os aquíferos subjacentes, do domínio fraturado, também funcionam como importantes exutórios dos aquíferos do domínio poroso, pois são diretamente alimentados a partir da zona saturada contida nos solos e nas rochas alteradas.

Domínio Fraturado

Os aquíferos do domínio fraturado são caracterizados pelos meios rochosos, onde os espaços ocupados pela água são representados por descontinuidades planares, ou seja, planos de fraturas, micro fraturas, zonas de cisalhamento rasas e falhas. Como na bacia o substrato rochoso é representado por metassedimentos, os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. Dessa forma, os eventuais reservatórios existentes nas rochas proterozóicas estão inclusos dentro do Domínio Fraturado, onde os espaços armazenadores de água são classificados como porosidade secundária.

Por estarem restritos a zonas que variam de alguns metros a centenas de metros, os aquíferos do Domínio Fraturado são livres ou confinados, de extensão lateral variável, fortemente anisotrópicos e heterogêneos, compondo o sistema de águas subterrâneas profundas. Com raras exceções, esse domínio está limitado a profundidades pouco superiores a 250 metros, sendo que em profundidades maiores há uma tendência de fechamento dos planos de fraturas em virtude do aumento da pressão.

Os parâmetros hidrodinâmicos são muito variáveis em função do tipo de rocha e, inclusive, variando significativamente em um mesmo tipo litológico. O principal fator que controla a condutividade hidráulica dos aquíferos desse domínio é a densidade das descontinuidades do corpo rochoso.

Esses aquíferos são aproveitados a partir de poços tubulares profundos e apresentam vazões que variam de zero até valores superiores a 100 m³/h, sendo que a grande maioria dos poços apresenta entre 5 e 12 m³/h. A existência de poços secos é controlada pela variação da fração granulométrica, sendo que quanto maior a concentração de quartzitos menor a incidência de poços secos e quanto maior a presença de material argiloso (metassiltitos e ardósias) maior a ocorrência de poços secos ou de muito baixa vazão.

A classificação desse domínio em quatro conjuntos distintos, denominados de sistemas aquíferos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí é feita com base no conhecimento geológico, análise estatística dos dados de vazões e feições estruturais.

As águas subterrâneas desse domínio apresentam exposição à contaminação atenuada, uma vez que os aquíferos do Domínio Intergranular sobrepostos funcionam como um filtro depurador natural, que age como um protetor da qualidade das águas mais profundas.

A recarga dos aquíferos desse domínio se dá através do fluxo vertical e lateral de águas de infiltração a partir da precipitação pluviométrica. A morfologia da paisagem é um importante fator controlador das principais áreas de recarga regionais.

6.2.2 Descrição dos Aquíferos - Caldas Novas

Sistema Aquífero Intergranular

São aquíferos livres, contínuos lateralmente, de ampla extensão com espessura saturada muito variável e de grande importância hidrogeológica local. Este sistema foi dividido em dois subsistemas denominados de **P_I** e **P_{II}**, em função das características físicas do manto de intemperismo.

O Subsistema **P_I** é limitado ao platô da Serra de Caldas, sendo representado pelo regolito de quartzitos do Grupo Paranoá, com espessuras variando de alguns metros até 64 metros. Os solos e saprolitos dessa cobertura apresentam valores de condutividade hidráulica muito elevados (com ordem de grandeza variando de 10^{-5} a 10^{-4} m/s) em função do próprio material de origem, sendo classificados como latossolos com textura média a arenosa e areias quartzosas. (Campos & Freitas-Silva 1999).

O relevo essencialmente plano, com cotas superiores a 1000 metros e coberturas de solos permeáveis resulta em uma situação de recarga muito eficiente, de forma que a recarga é representada por mais de 50% da precipitação e o escoamento superficial é limitado às bordas da serra nos períodos de máxima precipitação. A drenança das águas deste subsistema para as zonas mais profundas é muito eficiente, de forma que sua zona não saturada apresente grande espessura e em muitos casos fique limitada ao topo rochoso.

O Subsistema **P_{II}** é representado pelos cambissolos, neossolos litólicos presentes na borda da Serra de Caldas e pelos solos argilosos derivados dos xistos do Grupo Araxá e apresentam espessuras e valores de condutividade hidráulica inferiores ao do Subsistema **P_I**.

Os aquíferos intergranulares são caracterizados por águas frias com temperaturas próximas às médias anuais locais e por águas pouco mineralizadas. O tempo de contato entre as águas de chuva e o material geológico (solo ou rocha alterada), é restrito, o que diminui a taxa total de sais dissolvidos. Os exutórios destes aquíferos são representados por pequenas fontes de contato e/ou de depressão, e pela drenança para os aquíferos fraturados subjacentes.

Estes aquíferos desempenham três importantes funções: funcionam como filtros, favorecem a recarga dos aquíferos sotopostos e regularizam a vazão de base das drenagens superficiais nos períodos de recessão de precipitações pluviométricas.

Sistema Aquífero Paranoá

Este sistema é representado por aquíferos: fraturados, livres ou confinados, frios ou termais, anisotrópicos e heterogêneos e com extensão lateral controlada pelos grandes lineamentos. O Sistema Paranoá é classificado como aquífero livre quando as zonas de fraturas são associadas a áreas de afloramentos de rochas psamo-pelito-carbonatadas do Grupo Paranoá, sendo na região de Caldas Novas correspondente ao Domo de Caldas. Por outro lado, quando as zonas fraturadas/fissuradas são recobertas por rochas xistosas do Grupo Araxá, estes aquíferos são classificados como confinados, sendo os xistos considerados como o conjunto aquífero confinante. O Grupo Araxá pode ser considerado como conjunto confinante, pois apesar de também ser potencialmente fraturado, a densidade e a abertura das fraturas são muito inferiores às do Grupo Paranoá. Esta feição é exclusivamente em função do contraste reológico dos litotipos das duas unidades litoestratigráficas.

Da mesma forma, o Sistema Paranoá pode ser dividido em aquíferos frios e termais. O primeiro caso é relacionado às zonas fraturadas com águas de fluxo descendente em profundidades inferiores a 400 metros. Normalmente essa situação está associada às porções onde estes são classificados como aquíferos livres.

O Sistema Aquífero Paranoá é considerado termal quando estiver associado a condições de fluxos descendentes em profundidades maiores que 450 metros, ou em qualquer profundidade, quando mantiver o fluxo ascendente a partir de fraturas abertas em grandes profundidades.

Para o aquífero Paranoá Frio, os exutórios naturais são caracterizados por fontes de fraturas, enquanto que para o aquífero Paranoá Termal os exutórios são representados por fontes de fraturas, pelo Rio Quente e pelos poços tubulares profundos em operação na área urbana da Cidade de Caldas Novas.

A recarga deste sistema aquífero se dá principalmente pela drenagem do Subsistema Intergranular P_I , ou seja, a partir da infiltração na região plana no platô da Serra de Caldas e secundariamente pela infiltração de águas do Subsistema Intergranular P_{II} .

De maneira geral, o Sistema Aquífero Paranoá apresenta excelentes condições de circulação e valores de condutividade hidráulica, e transmissividade, elevados, porém muito anisotrópicos. Os valores elevados dos parâmetros dimensionais devem-se ao fato de a região de Caldas Novas ter sido submetida a esforços neotectônicos relacionados à fase *drifte* da

evolução sul-atlântica. Em Caldas Novas ocorrem poços com profundidades maiores que 900 metros com significativas entradas de águas termais (temperaturas superiores a 55° C).

Sistema Aquífero Araxá

Este sistema é representado por aquíferos fraturados muito heterogêneos e anisotrópicos, livres, frios ou termais, com extensão lateral restrita controlada pela distribuição das zonas de fraturamento (Campos & Freitas-Silva 1998).

Os aquíferos ligados ao Sistema Araxá classificados como frios são aqueles cujas zonas fraturadas são recarregadas diretamente pela infiltração de águas de precipitação a partir do Subsistema Intergranular P_{II}. Neste caso são consideradas as primeiras centenas de metros da coluna de xistos do Grupo Araxá (Campos & Freitas-Silva 1998).

As zonas fraturadas mais profundas, próximas ao contato tectônico entre os grupos Araxá e Paranoá e eventualmente, as zonas fraturadas mais abertas em profundidades menores, compõem o aquífero Araxá termal da região de Caldas Novas. A recarga destes aquíferos se dá por fluxo ascendente a partir de misturas de águas aquecidas do Aquífero Paranoá termal sotoposto.

Nas condições de confinamento, as zonas fraturadas que representam o Sistema aquífero Paranoá Termal apresentam elevada carga potenciométrica, pois a zona de recarga está situada em cotas superiores a 1000 metros. Assim, quando as águas aquecidas encontram fraturas abertas nos xistos, estas sobem e se misturam com as águas frias do aquífero Araxá.

Os exutórios do Sistema Aquífero Araxá (termal e frio) são representados pelas antigas fontes termais da região de Caldas Novas e pelas fontes de água fria, classificadas como do tipo fraturada, dispersas pela região de exposição dos xistos. Os poços tubulares da região de Caldas Novas também são exutórios artificiais destes aquíferos.

Em termos químicos estas águas são as mais mineralizadas da região, o que é função direta da elevada reatividade das rochas em comparação com os quartzitos e metapelitos do Grupo Paranoá. Os xistos, por sua vez, apresentam grande concentração de filossilicatos, além da presença constante de carbonatos em zonas de segregação metamórfica.

Da mesma forma que o Sistema Aquífero Paranoá, os parâmetros dimensionais para os aquíferos Araxá não foram tratados quantitativamente. Contudo, por analogia, com os valores obtidos para a região do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva 1998), esses valores são significativamente menores que aqueles atribuídos ao Sistema Aquífero Paranoá. Esta feição é devida a dois fatores: reologia dos xistos, os quais apresentam caráter mais plástico, com tendência de acomodação das fraturas por confinamento litostático em profundidade e atitude

da foliação em baixo ângulo, o que dificulta a percolação das águas a partir dos sistemas adjacentes.

6.3 CONTEXTO NEOTECTÔNICO

A neotectônica brasileira é influenciada por esforços compressoriais advindos da associação dos tensores produzidos na dorsal Meso-Atlântica e na zona de subducção da Placa de Nazca, evento formador da Cadeia Andina. A litosfera continental situada no interior da Placa Sul-americana também é submetida a esses esforços, de maneira que o resultado dessas tensões seja um arranjo resultante compressivo.

O contexto neotectônico do Distrito e Federal e Caldas Novas são semelhantes. Em ambas as regiões o ambiente neotectônico se desenvolveu sob um regime de compressão na direção EW o que causa a reativação das primeiras estruturas existentes, resultando em falhas de pequeno rejeito.

Ambas as regiões foram submetidas a deformação dúctil-rúptil, resultante de um evento tectônico de caráter transpressivo de natureza dúctil e, caracterizada inicialmente por uma tectônica colisional, envolvendo crosta, acreção e orogênese de componentes da placa durante o Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro).

Para compreender a rede de esforços que compõem os movimentos neotectônicos é necessária a compreensão dos controles estruturais existentes em âmbito regional, para assim, obter os sistemas de tensores locais para estudos mais detalhados e desta forma a expressão regional da tectônica brasileira nas áreas de estudo.

6.3.1 Mecanismos

Distrito Federal

As direções principais direções de fraturas no DF são: N15E; N50-70W; N40-50E e N45-65W, com mergulhos altos, entre 70° e 90° (Freitas-Silva & Campos 1998). Estes conjuntos de estruturas podem ser classificados em quatro famílias com direções distintas: Família I com direção N-S; Família II com direção E-W; Família III com direção N45W e Família IV com direção N45E.

O mecanismo que desencadeia as atividades neotectônicas, são devido a um conjunto de esforços aliados a uma matriz previamente rica em anisotropias e zonas de fraquezas, fazendo com que certas direções preferenciais se reativem, sendo estas as mais susceptíveis a eventuais processos neotectônicos. Entretanto, cada família de estruturas terá um comportamento distinto com o movimento progressivo ou por pulsos das tensões compressivas.

As fraturas da Família I tenderão a se fechar, as da Família II tenderão a formar falhas transcorrentes, as da família III e IV (pares cisalhantes), respectivamente tenderão a se abrir em N45W e a se fechar em N45E. Esta análise está de acordo com as direções neotectônicas observadas no Distrito Federal que em sua maioria varia de N45 a N60W, com mergulhos verticalizados.

Caldas Novas

A estruturação da região de Caldas Novas foi resultado de dois eventos tectônicos: a tectônica formadora, de natureza dúctil-rúptil atribuída ao Ciclo Brasileiro, e a tectônica modificadora, neotectônica, de natureza rúptil vinculada a reativação da Plataforma Sul-Americana conforme (Campos *et.al.* 2000). As estruturas originadas na primeira fase foram desenvolvidas em regimes dúcteis e rúpteis. Já o segundo evento não foi responsável pela geração de estruturas, mas apenas pela reativação de estruturas planares geradas no primeiro.

Os eventos deformacionais transformadores, por serem separados por um grande intervalo de tempo, serão tratados como Evento E_1 (Ciclo Brasileiro desenvolvido no final do Neoproterozóico) e Evento E_2 (Reativação Waldeniana desenvolvido no Cretáceo). O evento E_1 comporta quatro fases deformacionais progressivas que se sucedem no tempo ou podem ser parcialmente sincrônicas (F_1 , F_2 , F_3 e F_4), enquanto o evento E_2 é considerado como desenvolvido por uma única fase (F_5). Os elementos estruturais são na maioria concordantes com uma deformação a partir de um esforço compressional próximo de WSW para ENE, tendo como antepaís o Cráton do São Francisco a leste. O esforço equatorial é responsável pela forma do Domo ligeiramente alongado na direção NNW/SSE, onde os flancos leste-oeste são mais fechados que os flancos norte-sul. As avaliações dos dados de lineações minerais e lineações de estrias mostram que o Domo foi estruturado após a colocação tectônica do Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá. No caso do Distrito Federal, por exemplo, o Domo de Brasília já estava estruturado na forma de braquianticlinal quando o Grupo Araxá cavalgou o Grupo Paranoá. A diferença básica é que a lineação de estiramento mineral na região de Caldas Novas apresentam um padrão centrífugo, enquanto no Distrito Federal esta estrutura linear apresenta atitude constante em torno de $05/270^\circ$ (Freitas-Silva & Campos 1998).

As fases de deformação do Distrito Federal têm fundamental importância no condicionamento dos aquíferos. As fases F_2 e F_3 provocaram a verticalização dos planos do acamamento e foliações de baixo ângulo, desenvolvidas na fase F_1 e na geração de foliações subverticais. Campos & Freitas (1998) descrevem que o alto ângulo das estruturas planares favoreceram a percolação/infiltração mais eficiente das águas superficiais em pequenas profundidades, ou seja, nos saprolitos e rochas intemperizadas do perfil de intemperismo. Na

rocha fresca, aflorante ou subaflorante, estas estruturas planares são geralmente fechadas ou seladas e a permeabilidade da rocha é muito baixa, quase nula.

Desta forma, é indiscutível a importância da neotectônica no contexto dos aquíferos fraturados de caldas Novas e do Distrito Federal. A ocorrência das águas quentes dos aquíferos Araxá e Paranoá na região de Caldas Novas é atribuída à intensidade das reativações neotectônicas na região.

6.3.2 Evidências de Registros Neotectônicos – DF e Caldas Novas

No Distrito Federal são identificadas evidências e registros de reativações neotectônicas, as quais incluem:

- ✓ Presença de Grábens como o Gráben do Maranhão e São Sebastião, nos quais há indicativos de fraturamentos e falhas de rejeito normal em material de cobertura, de idade recente;
- ✓ Presença de vales tectônicos presentes em solos e saprolitos na bacia do rio Jardim, nos quais não há correspondência da mesma sequência de solos nas margens do vale assimétrico, de forma que se pode inferir movimentação recente de blocos;
- ✓ Presença de perfis de solos na região de Águas Claras que representam evidentes estruturas neotectônicas nas quais são observáveis falhas normais com pequeno rejeito gerando canais preenchidos por Latossolo, em saprolitos de ardósias e metarritmitos do Grupo Paranoá;
- ✓ Presença de falhas e estruturas como *slickensides* em horizontes lateríticos, estruturas em materiais de origem neógena como brechas carbonáticas e conglomerados matriz-suportados de leques aluviais neógenos e ainda estratificações em latossolos.

Na região de Caldas Novas também há indícios de atividade neotectônica:

- ✓ A própria configuração da hidrogeologia da região reflete os indícios desta atividade. A presença de águas termais, por exemplo, cuja ocorrência é devida a grande profundidade das fraturas, demonstra que processos recorrentes resultaram na abertura destas estruturas até grandes profundidades.
- ✓ São observáveis nesta região afloramentos de quartzitos em que as fraturas apresentam aberturas de 70 cm;
- ✓ Presença de coberturas de solos com registros de movimentação e estruturas reativadas, além de vales assimétricos;
- ✓ Presença de sedimentos cretáceos preservados de forma localizada em blocos

rebaixados próximo a borda oeste da Serra de caldas.

- ✓ Presença de “cones de depressão naturais” na porção livre do Sistema Aquífero Paranoá na Serra de Caldas (Figura 6.2).

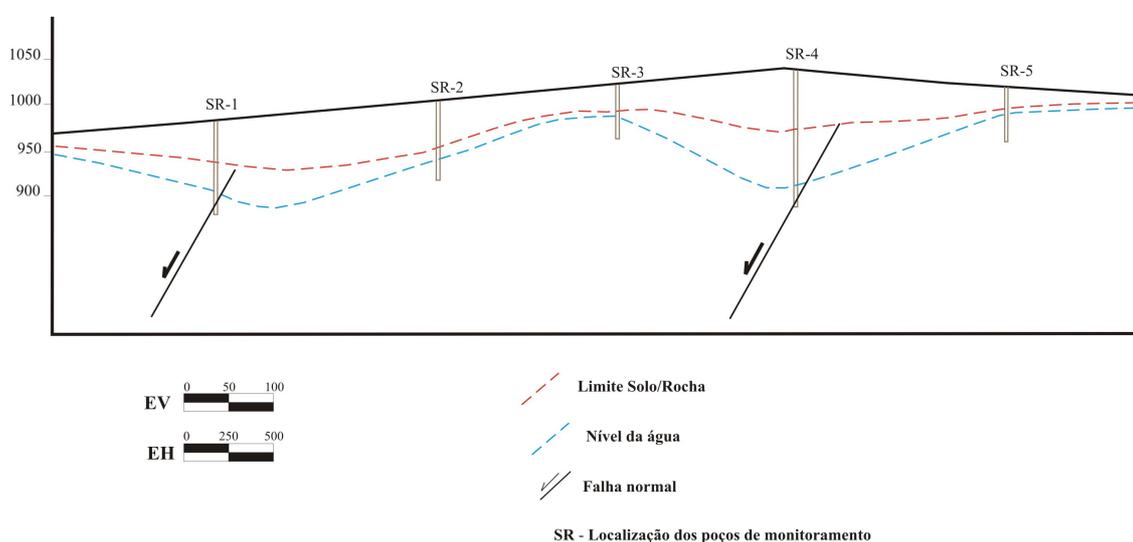


Figura 6.2 - Ilustração esquemática da presença de cones de depressão naturais no platô da Serra de Caldas (Campos *et al.* 2006)

6.3.3 Implicações

A reativação neotectônica está presente e fundamental na configuração das áreas de estudo. Os estágios neotectônicos são importantes para a caracterização do contexto hidrogeológico local e inclusive um dos principais condicionantes do hidrotermalismo observado na região de Caldas Novas. E no Distrito Federal é notável a influência dessas reativações na configuração fisiográfica e hidrogeológica da área.

Porém, ressalta-se que os processos não ocorrem com a mesma intensidade nas duas regiões.

Este fator é essencial na caracterização do comportamento hidrogeológico das áreas, que é distinto. Isso é explicado pela profundidade das estruturas neotectônicas em cada região. Em Caldas Novas as estruturas são muito profundas, existem poços tubulares profundos de até 960 metros de profundidade em que ocorrem entradas d'água em fraturas.

A manutenção de fraturas abertas em profundidade é um fator exclusivamente controlado por processos neotectônico. A comparação entre os aquíferos da região de Caldas Novas/GO e Distrito Federal, mostra a importância dos processos neotectônicos, pois embora sejam desenvolvidos sobre as mesmas rochas do Grupo Paranoá apresentam condições de circulação bastante distintas.

No Distrito Federal os poços raramente são mais profundos que 200 metros, uma vez que a partir dessa profundidade, as fraturas são seladas pela pressão litostática. Enquanto que

na região de Caldas Novas, existem fraturas abertas em até próximo a 1000 metros de profundidade o que, como já foi citado, inclusive controla o hidrotermalismo da região.

Os sistemas de fluxo e o comportamento hidrogeológico geral das regiões são bastante distintos. Pode-se dizer que no Distrito Federal predominam sistemas de fluxo hidrogeológicos locais, enquanto que na região de Caldas novas, ocorre de forma comum sistema de fluxo de caráter regional.

Este contraste é fundamentado pela configuração das fraturas, que condiciona todo o fluxo subterrâneo no domínio fraturado. A comparação direta entre as duas regiões mostra que a região de Caldas Novas apresenta maior área de influência, maior abertura destas estruturas, maior extensão dos sistemas de anisotropias conectadas, maior profundidade com presença de fraturas abertas, resultando em interconexão mais efetiva que promove a possibilidade de desenvolvimento de sistemas de fluxo regional.

No Distrito Federal, pelo fato das fraturas permanecerem abertas a profundidades menores a conexão é menos efetiva e o relevo é mais pronunciado e dissecado o que contribui para o desenvolvimento preferencialmente de sistemas de fluxo locais e intermediários.

6.4 DISCUSSÕES

A análise do contraste da temperatura média das águas subterrâneas das duas regiões mostra que nas duas áreas não há anomalias térmicas crustais vinculadas à magmatismo. Assim, a explicação para o hidrotermalismo na região de Caldas Novas é vinculada ao gradiente geotérmico local.

O grau geotérmico é o mesmo para as ambas as regiões (de cerca de 30 m por grau centígrado). Assim, a explicação para a diferença das temperaturas das águas é apenas plausível a partir da avaliação da profundidade de estruturas abertas a profundidades muito maiores na região de Caldas Novas em relação ao Distrito Federal.

A profundidade econômica dos aquíferos no Distrito Federal é considerada de 200 metros, isto é, não existem fraturas abertas abaixo desta zona. Por outro lado, a experiência de construção de poços e os resultados de vídeo inspeções em Caldas Novas mostram a presença de entradas d'água a pelo menos 1000 metros de profundidade.

Embora não se tenha ocorrência de águas quentes no Distrito Federal, tem-se registro da perfuração de um poço tubular profundo de 100 metros, o qual possui água com temperatura de 28,5^o C, que é considerada anômala quando comparada a média de 22^o C que representa a temperatura mais frequentemente encontrada nas águas subterrâneas do DF. Suspeita-se que a maiores profundidades esse poço possa apresentar águas ainda mais quentes.

Os aquíferos de Caldas Novas apresentam anisotropias mais evidentes que as encontradas no Distrito Federal. Neste sentido foram observados na principal área de recarga regional (platô da Serra de Caldas) sistemas denominados de “cones de depressão naturais” representados por duas áreas com nível de saturação mais profundas que as áreas adjacentes. É importante salientar que nas áreas de ocorrências dos “cones naturais” não existem poços de bombeamento e o gradiente topográfico é restrito.

6.5 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou estabelecer uma analogia entre os sistemas aquíferos das regiões de Caldas Novas, GO e do Distrito Federal de forma a destacar o papel da neotectônica nos contrastes hidrogeológicos das duas áreas. No Distrito Federal e em Caldas Novas, em função da geologia e pedologia, dois grandes grupos de aquíferos podem ser diferenciados, o Domínio Aquífero Intergranular e o Domínio Aquífero Fraturado. Em função de variações dos tipos litológicos ainda é possível subdividir os domínios em sistema e subsistemas aquíferos.

Apesar dos aquíferos das regiões estudadas serem condicionados aos mesmos tipos petrográficos, há fortes contrastes relativos às vazões médias, composição química das águas, potencial quantitativo dos aquíferos e com relação às temperaturas das águas subterrâneas.

No Distrito Federal a influência dessas reativações é identificada na configuração fisiográfica e hidrogeológica da área, que possui poços de vazão anômala nas regiões preferenciais de reativação neotectônica. Enquanto que na região de Caldas Novas a reativação neotectônica foi importante para a caracterização do contexto hidrogeológico local e inclusive é um dos principais condicionantes do hidrotermalismo.

No Distrito Federal os poços não ultrapassam 250 metros, uma vez que a partir dessa profundidade as fraturas tendem ao selamento pela pressão litostática. Por outro lado a região de Caldas Novas há ocorrência de fraturas abertas até próximo a 1000 metros de profundidade em que ocorrem entradas d'água em fraturas com grande abertura.

A manutenção de fraturas abertas em profundidade é um fator fortemente controlado por processos neotectônicos. A comparação entre os aquíferos da região de Caldas Novas/GO e Distrito Federal, mostra a importância dos processos neotectônicos, pois embora sejam desenvolvidos sobre as mesmas rochas do Grupo Paranoá apresentam condições de circulação bastante distintas.

Os sistemas de fluxo e o comportamento hidrogeológico geral das regiões são bastante distintos. Pode-se afirmar que no Distrito Federal predominam sistemas de fluxo

hidrogeológicos locais, enquanto que na região de Caldas novas, ocorre de forma comum sistema de fluxo de caráter regional.

A principal diferença entre o regime hidrogeológico destas regiões é fundamentada pela configuração das fraturas, que condiciona todo o fluxo subterrâneo no domínio fraturado. A comparação direta entre as duas regiões mostra que a região de Caldas Novas apresenta maior área de influência, maior abertura destas estruturas, maior extensão dos sistemas de anisotropias conectadas, maior profundidade com presença de fraturas abertas, resultando em interconexão mais efetiva que promove a possibilidade de desenvolvimento de sistemas de fluxo regional.

No Distrito Federal, pelo fato das fraturas permanecerem abertas a profundidades menores a conexão é menos efetiva e o relevo é mais pronunciado e dissecado o que contribui para o desenvolvimento preferencialmente de sistemas de fluxo locais e intermediários.

6.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amore L. 1994. Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal. São Carlos, 1994. (Dissertação de Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos.
- Barros, J.C.C. 1994. Caracterização geológica e hidrogeológica do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. 1994. p. 265-283
- Barros, J.G.C. 1987. Características geológicas e hidrogeológicas do Distrito Federal. In: Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas - O caso do Distrito Federal. UnB/SEMATEC, 657p.
- Billings, M.P. 1972. Structural Geology. Prentice Hall, New Jersey. Third Edition. 606p.
- Cadamuro A.L.M. 2002. Proposta, avaliação e aplicabilidade de técnicas de recarga artificial em aquíferos fraturados para condomínios residenciais do Distrito Federal. Brasília, 2002. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 126p.
- Campos, E.C. & Costa, J.F.G. 1980. Projeto estudo hidrogeológico da Região de Caldas Novas. Vol. I. MME/DNPM/CPRM. Goiânia. P.34-47.
- Campos, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: base para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Rev. Bras. Geogr., 34(1):41-48.
- Campos, J.E.G., Tröger, U. 2000. Groundwater occurrence in hard rocks in the Federal District of Brasília. A sustainable supply?. PROCEEDINGS DO XXX IAH CONGRESS. CAPE TOWN, 2000, p. 109-113.
- Campos, J.E.G.; Tröger, U.; Haesbaert, F.F. 2006. Águas Quentes de Caldas Novas, Goiás - Notável ocorrência de águas termais em associação com magmatismo. In: Winge, M. *et al.* (Edit.) – Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publ. na Internet em 6/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio113/sitio113.pdf>.
- Drake Jr., A.A. 1980. The Serra de Caldas window. In: Tectonic studies in the Brazilian Shield. *Geol. Surv. Prof. Pap.* 1119-A, U.S.G.S. Washington
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 87p.



- Haesbaert, F.F & Costa, J.F.G. 2000. Geologia e Hidrogeologia da Região de Caldas Novas: Adequação à Portaria 312 do DNPM. Relatório Técnico GEOCENTER/GEOCALDAS. 3 vol. (inédito).
- Joko, C.T. 2002. Hidrogeologia da Região de São Sebastião - DF, Implicações para a Gestão de Abastecimento de Água. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências (Dissertação de Mestrado).
- Loczy, L. de & Ladeira, E. A.1976. Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. Editora Edgard Blucher LTDA,528p.
- Lousada, E. O. 2005. Estudos hidrogeológicos e isotópicos em águas subterrâneas do Distrito Federal: modelos conceituais dos aquíferos. Brasília. 128p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- Mendonça A.F. 1993. Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal. Anexo 3a: Reservas de água de superfície do Parque Nacional de Brasília. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 154p. (Dissertação de Mestrado).
- Moraes, L.L. 2004. Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e entorno: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 128p.
- PGIRH. 2005. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Secretaria de Infra-Estrutura e Obras - SEINFRA-DF Brasília – DF, abril 2005.
- Romano, O. & Rosas, J.G.C. 1970. Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 24. 1970. Anais..., Brasília, SBG. p.313-333.
- Souza, M.T. 2001. Fundamentos para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 94p. (Dissertação de Mestrado).
- Zoby J.L.G. 1999. Hidrogeologia de Brasília - Bacia do Ribeirão Sobradinho. São Paulo. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado - inédita). 178p.
- Zschocke, A. 2000. Hidroquímica das águas termais da região de Caldas Novas - Goiás. Trabalho Final de Graduação. Universidade Técnica de Berlim. (inédito - original em alemão).

CAPÍTULO VII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação propôs caracterizar a Neotectônica no Distrito Federal, a partir da descrição e caracterização de registros neotectônicos nos tipos petrográficos existentes na área. Para alcançar tal objetivo fez-se a identificação das estruturas a partir de trabalhos de campo e ainda a partir de registros encontrados na literatura e proposição de novas evidências e registros da neotectônica na região.

Ficou demonstrado que os estudos neotectônicos, apesar de fundamentais, no entendimento das feições atuais da paisagem, do modelado do relevo, de controle da forma da drenagem, ainda é um tema pouco estudado pela comunidade geocientífica brasileira.

Foi mostrado a partir de trabalhos de outros autores, como áreas afins das geociências podem ser utilizadas na identificação de atividade neotectônica e como esses processos são de fundamental importância no entendimento de reativações recentes de estruturas como fraturas, desenvolvidas em fase geológica anterior. A atividade neotectônica pode ser identificada e estudada a partir de várias outras ciências que podem ser utilizadas como ferramentas na sua detecção, incluindo: estudos morfotectônicos, geocronológicos, sismológicos, tratamento de imagens através de sensoriamento remoto, sedimentológicos, entre outros.

A partir da síntese sobre os aspectos conceituais e da evolução da terminologia aplicada a neotectônica ou tectônica ressurgente, foi possível entender a evolução dos conceitos do tema no mundo e também fazer uma contextualização aos processos ocorridos em território brasileiro.

Na região do Distrito Federal os processos neotectônicos atuam sobre zonas de fraqueza e anisotropias que foram criadas nas fases de finais da orogênese brasiliana, e que os processos neotectônicos atuam na modificação e reativação destas estruturas. Os principais registros desta atividade são:

- ✓ O Gráben do Maranhão possui litologias cretáceas preservadas em sua porção central devido a processo neotectônico, de reativação de plano de falha pré-existente, que resultou na configuração de um gráben na região. Quando ocorreu o rebaixamento tectônico do bloco delimitado por falhas subparalelas, os conglomerados e arenitos foram preservados dos processos erosivos. A sucessão psamo-psefítica foi poupada dos processos erosivos exclusivamente em função das falhas consideradas recentes, uma vez que preservam rochas do cretáceo.

- ✓ O gráben de São Sebastião também apresenta indicativos de reativações neotectônicas em perfis de poços realizados por vídeo inspeção onde foram identificados espeleotemas em zona saturada do aquífero. Considerando que essas feições apenas são formadas em regiões não saturadas, pode-se inferir que houve movimentação recente desta porção. Associado a este fato ainda há o argumento de que as lentes de mármore são exclusivamente observadas no interior do bloco rebaixado do gráben. Estas rochas fora do bloco rebaixado do gráben foram eliminadas pelos processos denudacionais (erosão e transporte).
- ✓ Vales tectônicos presentes em solos e saprolitos na região de Águas Claras onde foi possível observar falhamentos em saprolitos de ardósias e metarrilitos do Grupo Paranoá, originando falhas normais de pequenos rejeitos com canais preenchidos por latossolos retrabalhados.
- ✓ Vales fluviais da região do Rio Jardim controlados tectonicamente. Há ocorrência de feições de assimetria dos vales em que não há correspondência do tipo de solo quando comparadas as duas margens da drenagem. Esta assimetria foi o resultado de retrabalhamentos recentes por falhas normais, o que representa um excelente registro da atividade neotectônica.
- ✓ Falhas com a presença *slickensides* em horizontes lateríticos, feições que representam excelente registro de atividade neotectônica, pois lateritos são materiais recentes, tornando-se então os traços de movimentação tectônica como fortes registros de neotectonismo na região.
- ✓ Fraturas em brechas carbonáticas terciárias, que ocorrem sobre os calcários do Grupo Bambuí, geradas a partir dos processos de dissolução e re-precipitação. Tais estruturas extensivas observadas neste conjunto de rochas são excelentes guias para estudos de reativações recentes, pois os fraturamentos abertos presentes nestas rochas por estarem presentes em material comprovadamente jovem, só podem ser atribuídas a um processo tectônico recente.
- ✓ Presença de conglomerados matriz-suportados desorganizados, heterogêneos, não litificados, considerados de idade cenozóica, configurando sistemas de leques aluvionares que ocorrem em áreas localizadas. As características petrográficas, a distribuição do material, o contexto deposicional permite interpretar como associados a leques aluviais desenvolvidos ao longo de escarpas de falhas recentes.

A indicação das evidências e dos registros neotectônicos é uma importante ferramenta para a melhor compreensão da hidrogeologia do Distrito Federal, pois se sabe que o fluxo de

água subterrânea se dá através destas estruturas. A ampliação do conhecimento sobre as principais direções neotectônicas é importante, pois a partir deste estudo é possível prever o comportamento das fraturas no condicionamento do fluxo e facilitar as ações de locação de novos poços e de gestão dos sistemas de captação.

Uma análise preliminar mostra que a ampla maioria dos poços com vazões anômalas no Distrito Federal (com vazões de cerca de 8 vezes a média) está situada sobre lineamentos considerados neotectônicos. As duas principais direções que sofrem reativações estão associadas às famílias que compõem o par conjugado de cisalhamento, N40-50E e N40-50W, geradas na fase final da Orogênese Brasileira.

Neste trabalho foram caracterizadas fraturas por dimensão, abertura, densidade, rugosidade, preenchimento, presença de percolação, e a relação com as outras fraturas presentes, de forma a quantificar e demonstrar através dos dados coletados, a atual fase de reativação destas estruturas, através dos padrões de fraturamento e suas características descritas.

O contexto regional apresenta como principais sistemas de fraturas/falhas a direção geral NS, com variação de até 20° para leste e oeste, tendo sido caracterizado como fraturas de alívio da compressão principal. O segundo sistema possui direção EW, podendo também mostrar variações de 20°. Este sistema mostra o estágio compressivo da tectônica formadora brasileira em sua intensidade máxima. O terceiro sistema é composto por duas famílias que representam um par de fraturas de cisalhamento conjugado N45E e N45W, com pequenas variações.

A observação das fraturas em afloramentos indica que aquelas em que há maior abertura e maior evidência de percolação de águas (mudança de cor ao longo do plano da estrutura) são as famílias de direção N40-50E e N40-50W. Estruturas com esta atitude são consideradas as principais direções neotectônicas do Distrito Federal, com presença subordinada de reativações ao longo de planos próximos a NS e a EW.

A comparação da atividade neotectônica nas regiões do Distrito Federal e Caldas Novas, GO mostra que as direções gerais das estruturas reativas são similares e que a cinemática que controla as reativações também é compatível nas duas regiões. A principal diferença é o contraste de magnitude dos processos, que na região de Caldas Novas apresenta intensidade muito superior à observada no Distrito Federal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M. & Hasui Y. 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 501 p.
- Almeida, F.F.M. 1967. Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. In: Congr. Bras. Geol., 21. Curitiba, 1967. Programa, resumo das comunicações, roteiro das excursões...Curitiba, SBG. 1967, p.19-22.
- Almeida, F.F.M. 1981. O Cráton do Parnamirim e suas relações com o do São Francisco. In: Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1. Salvador, 1981. *Anais...*, Salvador. SBG/BA. p.1-10.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y., Fuck, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces. *Earth Scie. Rev.*: **17**:1-29.
- Amore L. 1994. Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal. São Carlos, 1994. (Dissertação de Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos.
- Angelier, J.1976. La néotectonique cassant et sa place dans un arc insulaire: l'arc égéen méridional. *Rev. Géog. Phys. Géol. Dun*, **18**:1257-1265.
- Barros, J.C.C. 1994. Caracterização geológica e hidrogeológica do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. 1994. p. 265-283
- Barros, J.G.C. 1987. Características geológicas e hidrogeológicas do Distrito Federal. In: Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas - O caso do Distrito Federal. UnB/SEMATEC, 657p.
- Bezerra, F.H.R. & Amaro, V.E. 1998..Sensoriamento Remoto Aplicado à Neotectônica da Faixa Litorânea Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. Simp. Brasil. de Sens. Rem. 9, Santos, CD-rom,
- Bezerra, F.H.R. 1999 Intraplate paleoseismicity in Northeastern Brazil. *Anais do SBG*, Lençóis, 7 (4): pp. 12-16.
- Bezerra, F.H.R. 2000. Neotectonic movements in northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic hazard assessment. *Revista Brasileira de Geociências* 30(3): 562-564
- Bezerra, F.H.R.; Saadi, A.; Moreira, J.A.M.; Lins, F.A.P.L.; Nogueira, A.M.B.; Macedo, J. W. P.; Lucena, L.F. & Nazaré Jr. D.1993. *Estruturação Neotectônica do Litoral de Natal-RN, Com Base na Correlação Entre Dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos*. In: IV Simp.Nac. Estudos Tectônicos, Belo Horizonte, Atas, Bol.12:317-321.
- Billings, M.P. 1972. Structural Geology. Prentice Hall, New Jersey. Third Edition. 606p.
- Branner, J.C. 1910. Earthquakes in Brazil. *J. Geol.*, **18**:327-335.
- Cadamuro A.L.M. 2002. Proposta, avaliação e aplicabilidade de técnicas de recarga artificial em aquíferos fraturados para condomínios residenciais do Distrito Federal. Brasília, 2002. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 126p.
- Cadamuro, A.L.M., Campos, J. E. G., Tröger, U. 2002. Artificial recharge in fractured rocks? An example from the Federal District of Brazil for the sustainability of the system. Proceedings do 4 Inter. Symp. on Artificial Recharge. Adelaide: , v. 1, p.56 - 60, 2002.
- CAESB. 2001. Plano de Proteção Ambiental da Bacia do Ribeirão Pipiripau. Brasília/DF. 89p.
- Campos J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 12, Boletim de Resumos. Brasília. 113p.
- Campos J.E.G.; Freitas-Silva, F.H. & Dardenne, M.A. 1999. Ocorrência de conglomerados da Formação Abaeté, Eocretáceo da Bacia Sanfranciscana, na região do Distrito Federal,

- Brasil. V Simp. Brás. Geol. Do Cretáceo. Águas de São Pedro – SP. Boletim de resumos expandidos. p. 339-343.
- Campos, E.C. & Costa, J.F.G. 1980. Projeto estudo hidrogeológico da Região de Caldas Novas. Vol. I. MME/DNPM/CPRM. Goiânia. P.34-47.
- Campos, J.E.G., Tröger, U. 2000. Groundwater occurrence in hard rocks in the Federal District of Brasília. A sustainable supply?. PROCEEDINGS DO XXX IAH CONGRESS. CAPE TOWN, 2000, p. 109-113.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: *Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal*, Brasília, IEMA / SEMATEC / UnB, p. 1-84, (Vol. IV Relatório Técnico).
- Campos, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: base para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Rev. Bras. Geogr.*, 34(1):41-48.
- Campos, J.E.G.; Tröger, U.; Haesbaert, F.F. 2006. Águas Quentes de Caldas Novas, Goiás - Notável ocorrência de águas termais em associação com magmatismo. In: Winge, M. *et al.* (Edit.) - *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publ. na Internet em 6/2006 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio113/sitio113.pdf>.
- Carmelo, A.C. 2002. Caracterização de aquíferos fraturados por integração de informações geológicas e geofísicas. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 179p.
- Carvalho, J.C.; Sales, M.M.; Souza, N.M.; Melo, M.T.S. 2006. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC.
- Chen, Y.W.; Chen, Y.G.; Murray, A.S.; Liu, T.K.; Lai, T.C. 2003 Luminescence dating of neotectonic activity on the southwestern coastal plain, Taiwan. *Quaternary Sciences Reviews* 22:1223-1229.
- CODEPLAN 1984. Atlas do Distrito Federal. Brasília. Secretaria do Governo/Secretaria da educação e Cultura/CODEPLAN. v. 1. 78p.
- Costa, D.A.A. 2004. Proposta de zoneamento urbano e de gestão dos recursos hídricos do Setor Habitacional Tororó - DF, com aplicação de Sistema de Informação Geográfica. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 98p.
- Costa, J.B.S; Bemerguy, L.R; Hasui Y; Borges, M.S; Ferreira, R.B.P.J; Bezerra, P.E.R; Costa. M.L; Fernandes, J.M.G; Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos* 4(2):23-44.
- Costa, W. 1975. Estudo hidrogeológico preliminar das cidades do Gama, Taguatinga, Ceilândia e Sobradinho – Distrito Federal. CONTEGE/CAESB. 150p. (Relatório Interno).
- Dardenne, M.A. 1978. Zonação tectônica da borda ocidental do Cráton São Francisco. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, vol.1, p. 299-308, 1978.
- Dardenne, M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds). *Tectonic Evolution of South America*. 31st Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro, pp. 231-263
- Doornkamp J.C. 1986. Geomorphological approaches to the study of neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143: 335-342
- Drake Jr, A.A. 1980. The Serra de Caldas window. In: *Tectonic studies in the Brazilian Shield. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1119-A, U.S.G.S. Washington
- Etchebehere, M.L.C.; Saad, A.R.; Santoni, G.; Casado, F.C.; Fulgaro, V.J. 2006. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista UNESP – Geociências*, v.25, n. 3, p.271-287.



- Faria, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília, 1995. 199p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília
- Feitosa, A.C. 1997. Pesquisa de Água Subterrânea. In: Feitosa, A.C.F. & Manoel Filho, J. (Coord). 1997. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. CPRM/LABHID. Fortaleza. p 53-80.
- Fetter, C.W. 1994. Applied Hydrogeology. McMillan College Publ. Co. New York. 680p.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1998. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 87p.
- Freitas-Silva, F.H. 1990. Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu - MG. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 151p. (Dissertação de Mestrado - Inédita).
- Freitas-Silva, H. F. 1996. Metalogênese do Depósito do Morro do Ouro, Paracatu – MG. Brasília, 1996. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 338 p.
- Fuck, R. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: Simp. Geol. Centro-Oeste, 4, Brasília, 1994. *Anais...Brasília*, SBG-CO/DF. p.184-187.
- Gaspar, M.T.P.; Campos, J.E.G.; Cadamuro, A.L. 2007. Condições de infiltração em solos na região de recarga do Sistema Aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos. *Revista Brasileira de Geociências* 37(3): 542-550.
- Haesbaert, F.F & Costa, J.F.G. 2000. Geologia e Hidrogeologia da Região de Caldas Novas: Adequação à Portaria 312 do DNPM. Relatório Técnico GEOCENTER/GEOCALDAS. 3 vol. (inédito).
- Hancock, P.L. & Engelder, T. 1989. Neotectonic joints. *Geol. Soc. A. Bull.*, 101:1197-1208.
- Hancock, P.L. & Williams, G.D.1986. Neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143:325-326.
- Hasui, Y. 1990 Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, 1, Belo Horizonte. *Boletim*. Belo Horizonte, SBG-MG, p.1-31.
- Hiruma, S.T.; Riccomini, C.; Modenesi-Guttieri, M.C. 2001. Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3): 375 – 384.
- Jaim, V.E. 1980. *Geotectónica general*. Editora Mir, Moscou, v.1, 356p.
- Joko, C.T. 2002. Hidrogeologia da Região de São Sebastião - DF, Implicações para a Gestão de Abastecimento de Água. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências (Dissertação de Mestrado).
- Loczy, L. de & Ladeira, E. A.1976. Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. Editora Edgard Blucher LTDA,528p.
- Lousada, E. O. 2005. Estudos hidrogeológicos e isotópicos em águas subterrâneas do Distrito Federal: modelos conceituais dos aquíferos. Brasília. 128p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).
- Marini, O. J.; Fuck, R. A.; Dardenne, M. A.; Danni, J. C. 1984. Provincia Tocantins, setores central e sudeste In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (coords.) 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo. Edgard Blucher. p. 205-264.
- Marini, O.J. & Fuck, R.A. 1981. Atas do I Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia, SBG, p. 716-745.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A.; Dardenne, M.A.; Teixeira, N.A. 1978. Dobramentos da borda oeste do

- Cráton do São Francisco. Salvador. SBG/BA. Public. Espec.. bol. 3, p. 155-193.
- Markovic, M; Pavlovic, R; Cupkovic, T; Zivkovic, P.1996; Structural pattern and neotectonic activity in the wider Majdanpek área (NE Serbia, Yugoslavia). *Rocnik*, 2, 151-158.
- Martins, E.S. & Baptista, G.M.M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte II. 53p..
- Megiato, E.I.; Dadalt, A.M.; Koester, E.; Garrastazú, M.C.; Filippini A.J.M. 2007. Aplicação do Índice RDE (Relação Declividade-Extensão) na Bacia do Arroio Pelotas para detecção de deformações neotectônicas. XVI Congresso de Iniciação Científica. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. 5p. CD Rom.
- Mendonça A.F. 1993. Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal. Anexo 3a: Reservas de água de superfície do Parque Nacional de Brasília. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 154p. (Dissertação de Mestrado).
- Mercier, J.L. 1976 La néotectonique, ses méthodes et ses buts. Un exemple: L'arc Égéen (Méditerranée orientale). *Rev. Géog. Phys. Géol. Dyn.*, 18:323-346.
- Mescherikov, Y.A. 1968. Neotectonics. In: FAIRBRIDGE, R.W. (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, New York, p.768-773.
- Moraes, L.L. 2004. Estudo do rebaixamento de lagoas cársticas no Distrito Federal e entorno: a interação hidráulica entre águas subterrâneas e superficiais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 128p.
- Morner, N.A. 1989a. Paleoseismicity and neotectonics. *Bull. INQUA Neotectonics Commission*, 12:104p.
- Morner, N.A. 1989b. Paleoseismicity and neotectonics. *Tectonophysics*, Special Issue, 163:181-184.
- Mörner, N.A. 1993. Neotectonics, the new global tectonic regime during the last 3 Ma and the initiation of ice ages. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65(2):295-301.
- Nikolaev, N.I. 1974 Tectonic conditions favourable for causing earthquakes occurring in connection with reservoir filling. In: JUDD, W.R. (ed) Seismic effects of reservoir impounding, *Engineering Geology*, Special Issue, 8:171-189.
- Nogueira, F.C.C.; Bezerra, F.H.R.; Castro, D. L.2005. Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil. *Revista de Geologia*, 18,(2):139-149.
- Nogueira, F.C.C; Bezerra, F.H.R; Castro, D.L; Branco, R.M.G. 2006; Radar de Penetração no Solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil; *Revista de Geologia*, Vol.19, n° 1, 23-33.
- Nogueira, F.C.C; Bezerra, F.H.R; Castro, D.L; Casatelo Branco, R.M.G. 2006; Radar de Penetração no Solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil; *Revista de Geologia*,19, (1): 23-33.
- Novaes Pinto, M. & Carneiro, P.J.R. 1984. Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal. In: CONGR. BRAS. DE GEÓGRAFOS. 4. 1984. *Anais ... São Paulo*. Livro II, v.2. p.190-213.
- Novaes Pinto, M. 1987. Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. *Rev. Bras. Geogr.*, 49(2):9-26.
- Novaes Pinto, M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília. Editora UnB. 2ª ed.. p. 285-320.

- Obruchev, V.A. 1948 Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektoniki. Akad. Nauk. SSSR Izv. Serv. Geol, 5:13-24.
- Palha, W.S. & Carvalho, A.S. 2005. Extração automática de lineamentos e análise neotectônica preliminar da região hidrográfica centro amazonense utilizando dados de interferometria de radar. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. p. 1839-1846.
- Palha, W.S. & Carvalho, A.S. 2005. Extração automática de lineamentos e análise neotectônica preliminar da região hidrográfica centro amazonense utilizando dados de interferometria de radar. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. p. 1839-1846.
- Palha, W.S.M; Carvalho, A.S. 2005. Extração automática de lineamento e análise neotectônica da região hidrográfica centro amazonense utilizando dados de interferometria de radar. No: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16 a 21 abril 2005, INPE, p. 1839-1846.
- Pavrides, S.B. 1989 Looking for a definition of neotectonics. *Terra nova*, 1:233-235.
- PGIRH. 2005. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Secretaria de Infra-Estrutura e Obras - SEINFRA-DF Brasília - DF, abril 2005.
- Reatto, A.; Correia, J. R.; Spera, S. T.; Chagas, C.S.; Martins, E.S.; Andahur, J.P.; Godoy, M.J. S.; Assad, M.L.C.L. 2000. Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Jardim-DF, escala 1:50.000. Boletim de pesquisa-EMBRAPA Cerrados, (18) 66p.
- Riccomini, C. 1992 Evidências geológicas da atividade neotectônica no Estado de São Paulo e regiões adjacentes. *Bol. IG-USP*, Publ. Esp., 12:95-96.
- Romano, O. & Rosas, J.G.C. 1970. Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 24. 1970. Anais..., Brasília, SBG. p.313-333.
- Saadi, A. & Valadão, R.C. 1990. Eventos tectono-sedimentares na bacia neo-cenozóica do Rio da Morte (região de São João del Rei - MG). In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste do Brasil, 1, Belo Horizonte. *Boletim. SBG/MG*, p.81-99.
- Saadi, A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*, 1(1):1-15.
- Saadi, A.; Hasui, Y.; M, F.S. 1991 Informações sobre a neotectônica e morfogênese de Minas Gerais. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônico, 3, Rio Claro. *Boletim. Rio Claro, SBG*, p. 105-107.
- Salvador, E.D. & C. Riccomini, 1995. Neotectônica da região do alto, estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Rev. Bras. Geociências*. 25, 151-164.
- Salvador, E.D; Pimentel, J. 2008. Avaliação da neotectônica no município de Angra dos Reis, setor sul-fluminense da Serra do Mar, com base em mapas morfométricos gerados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 44., 26-31 out. 2008, Curitiba, PR. Anais... Curitiba, PR: SBG,
- Salvador, E.D; Riccomini, C. 1995. Neotectônica da Região do Alto Estrutural de Queluz, SP - RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 25(3): 151-164, junho de 1995.
- Santos, A.C. 1997. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, A.C.F. & Manoel Filho, J. (Coord). 1997. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. CPRM/LABHID. Fortaleza. p 81-108.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 306p.



- Schobbenhaus, C. & Brito Neves, B.B. 2003. A Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: L. A. Bizi; Schobbenhaus, C. ; R. M. Vidotti; J. H . gonçalves. (Org.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília-DF: Serviço Geológico do Brasil-CPRM, v. 1, p. 1-54
- Sengor, A.M.C.; Gorur N.; Saroglu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic scape: Turkey as a case study. In: BIDDLE, K.T. & CHRISTIE-BLICK N. (eds.) *Strike-slip deformation*
- Silva, M.D. 2003. Caracterização do meio físico da região de Águas Lindas - GO: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Souza, M.T. 2001. Fundamentos para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Distrito Federal. Brasília. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 94p. (Dissertação de Mestrado).
- Suguio, K. & Martin, L.1996. The Role of Neotectonics in the Evolution of the Brazilian Coast, *Geonomos*, 4 (2): pp. 45-53
- Tassinari, C.C.G.; SIGA Jr., O.; TEIXEIRA, W. 1981. Panorama geocronológico do Centro-Oeste brasileiro: soluções, problemáticas e sugestões. In: SIMP. GEOL. CENTR. OEST., 1. Goiânia, 1981. *Atas...*Goiânia, SBG\CO, p. 93-116.
- Trifonov, V.G.1989 An overview of neotectonics studies. *International Geology Review*, 31:111-161.
- Valente, C.R.; Oliveira, S.M.A; Veneziani, P. 2001. Controle Neotectônico das Águas Subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 10, 21-26 abr. 2001, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: INPE., p. 367-373. Sessão Poster.
- Valeriano, C.M.; Heilbron, M.; Simões, L.S.A.1994. Compartimentação tectônica da porção meridional da Faixa Brasília nos segmentos de Araxá e da represa de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38, Camboriú, 1994. *Anais...*Camboriú, SBG, p. 218-219.
- Wegmann, E.1955 Lebendige tektonik, eine übersicht. *Geologische Rundschau*, 43:4-34.
- Yegingil, Z; Boztug, D; Murat, E.; Oddone, M.; Bigazzi, G. 2002. Timing of neotectonic fracturing by fission track dating of obsidian in-filling faults in the Ikizdere-Rize area, NE Black Sea region, Turkey. *Terra Nova* 14(3):169-174.
- Zoby J.L.G. 1999. Hidrogeologia de Brasília - Bacia do Ribeirão Sobradinho. São Paulo. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado - inédita). 178p.
- Zschocke, A. 2000. Hidroquímica das águas termais da região de Caldas Novas - Goiás. Trabalho Final de Graduação. Universidade Técnica de Berlim. (inédito - original em alemão).