

POTENCIAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

ADELBANI BRAZ DA SILVA¹ AGOSTINHO FERNANDES SOBREIRO NETO²
ANTÔNIO CARLOS BERTACHINI³

RESUMO

Com a sistematização das informações e dados disponíveis foi possível avaliar o potencial dos mananciais de águas subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. O acervo de dados hidrogeológicos utilizados, foram obtidos dos estudos de desaguamento de minas de ferro e do mapeamento hidrogeológico do município de Belo Horizonte. As reservas exploráveis estimadas para as principais formações aquíferas da região são da ordem de cinco bilhões de metros cúbicos. Estas reservas praticamente não são exploradas e a recarga é rejeitada em decorrência da saturação dos reservatórios de água subterrânea.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero vem sendo usadas desde o período colonial, para o abastecimento de vilas, povoados e minerações. A cidade de Ouro Preto por exemplo até hoje é abastecida por águas subterrâneas provenientes de nascentes que foram captadas desde o século XVII e aduzidas através de tubulações de Pedra Sabão. Estas águas também foram usadas para a movimentação de energia mecânica para as minerações. São conhecidas também no Quadrilátero Ferrífero, várias nascentes de águas termais, muitas vezes consideradas como "milagrosas". A cidade de Belo Horizonte no início dos anos 60 chegou a possuir uma bateria de 190 poços tubulares profundos, que abasteciam parcela ponderável de sua população. Esta bateria foi desativada após a entrada em operação da captação de água superficial no rio das Velhas.

A partir da década de 80, quando as lavras das principais minas do Quadrilátero Ferrífero atingiram os níveis das águas subterrâneas, diversas mineradoras iniciaram os primeiros estudos técnicos das características hidrogeológicas do subsolo. Nestes estudos foram aplicadas as modernas técnicas de pesquisa de hidrologia subterrânea, visando a avaliação das reservas hídricas e planejamento da exploração objetivando a racionalização econômica e a minimização dos impactos ambientais. A partir deste acervo de dados foi possível obter um melhor conhecimento da hidrogeologia do Quadrilátero Ferrífero.

O primeiro estudo sistemático de mapeamento hidrogeológico, em parte da região, foi iniciado recentemente (novembro de 1993) pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte em convênio com a Universidade Federal de Minas Gerais.

O objetivo deste trabalho foi a sistematização das informações e dados existentes, com vistas a definição dos mananciais de águas subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero e a avaliação de seu potencial.

GEOLOGIA REGIONAL

O quadrilátero ferrífero ocupa a parte meridional do Craton S. Francisco e em função da ocorrência de importantes jazidas minerais, notadamente de ferro e ouro, é uma das regiões mais investigadas do país em termos geológicos. Ele ocupa uma superfície aproximada de 7000 km² e apresenta uma longa evolução geológica, englobando unidades litoestratigráficas cujas idades estendem-se desde o Arqueano ao Proterozóico Superior.

Mercê da complexidade estrutural e importância econômica são inúmeros os trabalhos sobre a estratigrafia, geologia estrutural, econômica e geocronologia que tem contribuído para o conhecimento de sua evolução geológica. A partir do trabalho de Dorr II et al (1957), muitas sínteses acerca da estratigrafia e arranjo estrutural de suas unidades foram elaboradas, Dorr II (1969), Ladeira (1980), Ladeira e Viveiros (1984), e Marshak e Alkmin (1989), Chemale Jr. et al (1991), dentre outros. (Figura 1)

A região é composta por terrenos granito-gnáissicos arqueanos e transamazônicos, "greenstone belts" arqueanos e rochas supracrustais do Proterozóico Inferior, Médio e Superior. Resultado da atuação dos diversos eventos deformacionais vemos hoje uma geometria de domos gnáissicos e amplos sinclinais e anticlinais recortados por cavalgamentos com vergencia para W e falhas de rasgamento associadas. (Figura 2).

O Supergrupo Rio das Velhas, unidade supra crustal mais antiga, é composto por metavulcânicas básicas e ultrabásicas com metassedimentos químicos e clásticos associados, e é subdividido nos Grupos Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima, constituído essencialmente de metavulcânicas associadas a um ambiente típico de "greenstone belt", aflora no núcleo de anticlinais e apresenta importantes depósitos de ouro. O Grupo Maquiné compreende uma sequência clástica, metapelítica-arenosa com metavulcânicas subordinadas.

O Grupo Caraça engloba metassedimentos conglomerático-arenosos denominados como Formação Moeda que passam a metassedimentos pelíticos ou Formação Batatal, caracterizando a transição de ambientes flúvio-litorâneos para marinhos num regime transgressivo.

O Grupo Itabira constitui uma sequência de metassedimentos químicos que abrange as formações Cauê e Gandarela. A formação Cauê compõe a grande massa de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero e é constituída por itabiritos, compostos de bandas alternadas de hematita e quartzo, bem como por itabiritos anfibolíticos e carbonáticos com filitos e margas subordinadas. A formação Gandarela, superposta de maneira gradacional à Formação Cauê é formada por uma sequência de dolomitos com intercalações subalternas de itabiritos, filitos e filitos dolomíticos. As duas unidades litoestratigráficas são generalizadamente interpretadas como sedimentadas em ambiente marinho sobre uma plataforma estável.

O Grupo Piracicaba abrange as formações Cercadinho-quartzitos e filitos, por vezes ferruginosos, com dolomitos subordinados, Fecho do Funil - filitos, filitos dolomíticos e dolomitos, Tabões-quartzitos finos e maciços, Barreiro-filitos e filitos grafitosos e Sabará - clorita xistos, metatufos, grauvacas, quartzitos e metaconglomerados. O ambiente dessas rochas é tido como marinho de plataforma estável.

¹Geólogo PHd, IGC/UFMG, Rua Panema 338 - 31130.620 Belo Horizonte-MG

²Geólogo, Companhia Vale do Rio Doce, Centralizada Cauê - 35900.900 Itabira-MG

³Geólogo MSc, Minerações Brasileiras Reunidas, Av de Ligação 3000 - 34000 Nova Lima MG

Quartzitos, metaconglomerados e metabásicas correlacionáveis ao Supergrupo Espinhaço ocorrem na serra das Cambotas, parte norte do Quadrilátero Ferrífero, cuja deposição é atribuída ao Proterozóico Médio.

O principal evento metamórfico, representativo do evento Transamazônico, foi aquele que imprimiu as características principais nas rochas supracrustais do Quadrilátero Ferrífero, pouco modificadas nos eventos tectônicos posteriores. Das fases de deformação esse evento foi aquele de atuação mais vigorosa com esforços de sudeste para noroeste e que gerou as grandes dobras bem como o surgimento de grandes sistemas de falhas de empurrão.

HIDROGEOLOGIA

As informações e dados disponíveis indicam a existência de grandes reservas de águas subterrâneas em diversas formações geológicas. Destacam-se as hematitas e itabiritos da formação Cauê, os quartzitos ferruginosos da formação Cercadinho, os dolomitos da formação Gandarela e os quartzitos da formação Moeda.

O aquífero constituído pelas hematitas e itabiritos da formação Cauê é o principal reservatório de águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero. Trata-se de um aquífero regionalmente confinado, com porosidade intersticial mas frequentemente intercalado por zonas de porosidade fissural. Isto confere a este aquífero elevada capacidade de armazenamento. Por outro lado, a porosidade fissural proporciona uma elevada condutividade hidráulica ao meio e a espessura saturada média da ordem de 400 metros associada a grande área de ocorrência da formação Cauê, ratifica o grande potencial de águas subterrâneas deste aquífero.

A formação Cercadinho constitui um aquífero do tipo granular e fissural, confinado por intercalações de camadas intraformacionais de filitos e também pelos metapelitos das formações sobrejacentes. Trata-se também de um aquífero de elevada porosidade e permeabilidade. Sobre este aquífero existem ainda poucas informações e ainda não foram realizados estudos hidrogeológicos sistemáticos. Considerando-se as características geológicas e estruturais e os resultados dos poços tubulares profundos existentes pode-se estimar um elevado potencial de exploração para este aquífero.

Os dolomitos da formação Gandarela formam um aquífero tipo cárstico, muito heterogêneo e anisotrópico. As formas cársticas superficiais indicam uma circulação preferencial das águas subterrâneas ao longo da foliação e/ou bandamento destes dolomitos. O baixo grau de carstificação e a colmatação das fraturas e condutos cársticos por argilas, sugerem um pequeno potencial de águas subterrâneas explorável neste aquífero.

Os quartzitos da formação Moeda formam um aquífero do tipo fraturado, de baixa permeabilidade e pequena capacidade de armazenamento de águas subterrâneas. Apesar deste aquífero ter um pequeno potencial, a trama de fissuras existentes nestes quartzitos, torna-o contínuo e pouco heterogêneo. Os poços tubulares profundos perfurados neste aquífero normalmente são produtores.

Os parâmetros hidrodinâmicos existentes são provenientes principalmente dos estudos hidrogeológicos realizados por mineradoras do Quadrilátero Ferrífero para rebaixamento do nível d'água nas áreas de lavra. Com isto os dados disponíveis referem-se em sua maioria às formações ferríferas. No Quadro 1 encontram-se os valores das transmissividades e coeficientes de

armazenamento obtidos em ensaios de poços tubulares profundos, perfurados na formação Cauê em diversas minas no Quadrilátero Ferrífero. Observa-se neste quadro valores muito discrepantes, onde a transmissividade oscila entre 50 m²/dia e 1500 m²/dia e o coeficiente de armazenamento reflete a presença de aquíferos livre com valores de até 0,15 e aquíferos confinados com um mínimo de 10⁻⁶.

Os elevados valores da transmissividade encontrados nas minas da Mutuca e da Casa de Pedra refletem a existência de aquíferos do tipo fraturado, desenvolvidos nas zonas de hematitas compactas intensamente fraturadas. Estes corpos de hematitas compactas atuam como drenos naturais que captam água das hematitas macias e itabiritos que possuem menor permeabilidade. A baixa transmissividade do aquífero da Mina do Germano é decorrente do teor de argila e da fina granulometria do minério. No Germano, o minério está totalmente desagregado constituindo um aquífero tipicamente granular.

Quadro 1 - Valores de Transmissividade e coeficientes de armazenamento em minerações no Quadrilátero Ferrífero

Empresa	Mina	Poços Ensaçados	Transmissividade (m ² /dia)		Coeficiente de Armazenamento	
			Mínima	Maxima	Mínimo	Maximo
CVRD	Cauê	7	50	780	3,0 E-04	6,5 E-02
CVRD	Chacrinha	2	85	610	1,0 E-03	2,5 E-02
CVRD	Dois Corregos	2	150	380	2,1 E-05	2,8 E-02
CVRD	Conceição	8	90	560	9,0 E-04	8,7 E-02
MBR	Águas Claras	15	50	700	1,0 E-04	1,5 E-01
MBR	Mutuca	4	500	1500	1,0 E-01	1,5 E-01
MBR	Pico	2	100	600	5,0 E-02	1,5 E-01
SAMARCO	Germano	2	60	200	1,7 E-06	1,5 E-03
MANNESMAN	Pau Branco	1	150	450	1,0 E-04	1,0 E-02
CSN	Casa de Pedra	7	400	1300	1,7 E-02	1,2 E-01

Em minas como Águas Claras, a variação do processo de lixiviação do protominério, que é o itabirito dolomítico, faz com que se encontre localmente valores muito discrepantes de transmissividades. Na porção oeste da mina, por exemplo, onde a lixiviação foi mais intensa a transmissividade é maior. Por outro lado, no setor leste, onde a lixiviação foi menos intensa, tem-se um minério mais argiloso com a transmissividade muito menor.

Observa-se que no âmbito das minas da CVRD, em Itabira, uma variabilidade muito grande nos parâmetros do aquífero. Essa variabilidade advém da própria heterogeneidade e anisotropia do minério uma vez que este se apresenta em distintos tipos físicos desde hematitas e itabiritos duros a hematitas e itabiritos pulverulentos. Observa-se que os primeiros apresentam porosidade essencialmente fissural enquanto os últimos mostram porosidade intersticial. Há de registrar que esses tipos físicos são extremos e entre eles há uma graduação de tipos com dupla porosidade que na realidade são os predominantes e que refletem atuação e fenômenos mais ou menos intensos de mobilização do quartzo, oriundas de processos tanto tectonometamórficos como de longo processo de intemperismo sob as condições climáticas atuais.

Os valores dos coeficientes de armazenamento encontrados no Quadro 1 sugerem que a maioria dos aquíferos são do tipo livre. No entanto, em função das condições geológicas e estruturais são encontrados também tanto aquíferos confinados como semi-confinados. Além disso, localmente são observadas condições de aquíferos livres com drenagem diferida, como são encontrados nas minas de Casa de Pedra e Águas Claras.

Nesse aspecto deve-se lembrar que há um intenso fenômeno de trapeamento na formação ferrífera devido tanto à conformação estrutural e topográfica do sinclínio, como pela presença de inúmeros corpos de rochas intrusivas impermeáveis, fato observado principalmente nas minas do Cauê e Chacrinha. Dessa maneira, observa-se no domínio em questão fenômenos locais de confinamento e semi confinamento do aquífero Formação Cauê atestados pelos valores de T e S mostrados na tabela anexa, bem como pela presença de poços jorrantes nas minas de Chacrinha e Dois Córregos. Não obstante a formação ferrífera mostra-se essencialmente nas minas de Itabira como um aquífero livre a semi confinado, localmente confinado, heterôgeneo e anisotrópico, com porosidade variando de fissural a intersticial e que está embutido em rochas impermeáveis dos Grupos Caraça e Nova Lima.

Existem poucos dados hidrodinâmicos para as demais unidades aquíferas do Quadrilátero Ferrífero. Tem-se, por exemplo, nos quartzitos da formação Moeda que ocorrem na mina de Águas Claras, valores de transmissividade entre $50 \text{ m}^2/\text{d}$ e m^2/d . No Hospital Hilton Rocha em Belo Horizonte, nos dolomitos da formação Gandarela têm-se poços com capacidade específica da ordem de $0,02 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Nos quartzitos ferruginosos da formação Cercadinho têm-se permeabilidades em torno de $1 \text{ m}/\text{dia}$ e transmissividade da ordem de $90 \text{ m}^2/\text{dia}$. Os dados dos poços existentes neste aquífero indicam uma capacidade específica por metro de penetração no aquífero da ordem de $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Em Itabira o Grupo Piracicaba ocorre indiviso e preenche o núcleo da estrutura sinformal do distrito. É constituído por quartzitos sericíticos predominantes, por vezes ferruginosos, com intercalações de filitos. Alguns poços perfurados mostram que esse pacote constitui importante reserva hídrica para a cidade e que o mesmo pode ocorrer em todo o Quadrilátero Ferrífero, sendo somente suplantado pela formação ferrífera. Os poços perfurados são em geral produtores e apresentam vazões de 15 a $150 \text{ m}^3/\text{h}$ com capacidade específica de $0,1$ até $2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Neste último caso condições de fissuramento conferem esse excelente desempenho aos quartzito.

AValiação DAS RESERVAS

Para se realizar uma estimativa preliminar das reservas de água subterrânea do Quadrilátero Ferrífero foram consideradas neste trabalho apenas as principais unidades aquíferas potencialmente produtoras, que são: os quartzitos da formação Moeda, as rochas ferríferas da formação Cauê e os quartzitos ferruginosos da formação Cercadinho. Nesta avaliação preliminar não foi incluída os dolomitos da formação Gandarela, por se tratar de um aquífero cástico, onde seriam necessários estudos mais acurados para poder estimar o seu potencial de água subterrânea.

Adianta-se que no Quadrilátero Ferrífero existem ainda outras unidades aquíferas que podem assumir importância relevante em função de suas características geológico-estruturais. No entanto, estas unidades aquíferas não foram sistematicamente estudadas com o objetivo de se definir as suas características hidrogeológicas. No Quadro 2 encontram-se as áreas de ocorrência das unidades aquíferas em apreço.

Quadro 2 - Área de ocorrência das Principais Unidades Aquíferas

Estruturas / Regiões	Área das unidades aquíferas em km^2		
	Moeda	Cauê	Cercadinho
Sinclinal Gandarela	178	152	51
Região de J. Monlevade e Itabira	86	56	33
Sinclinal Santa Rita	200	182	91
Sinclinal Dom Bosco	375	340	279
Sinclinal Moeda	283	255	100
Serra do Curral	55	47	353
TOTAL	1177	1032	907

Com os dados geológicos existentes, pode-se estimar as seguintes espessuras médias: quartzitos da formação Moeda 100 metros, rochas ferríferas da formação Cauê 400 metros e quartzitos ferruginosos da formação Cercadinho 200 metros. As porosidades eficaz dos quartzitos das formações Moeda e Cercadinho, foram estimadas considerando os valores representativos para a granulometria predominante e o grau de cimentação e/ou compactação destas formações. Para a formação Cauê, considerou-se a média dos valores das porosidades eficaz encontradas no Quadro 1.

Quadro 3 - Avaliação Preliminar das Reservas de Água Subterrânea

Aquíferos		Moeda	Cauê	Cercadinho
Área de ocorrência	(km^2)	1.177	1.032	907
Espessura saturada	(m)	100	400	200
Porosidade Eficaz		0,02	0,10	0,05
Reserva Geológica	(10^6 m^3)	2354	41280	9.070
Reserva Explotável	(10^6 m^3)	235	4128	907

Assim a reserva explotável estimada para os principais aquíferos do Quadrilátero Ferrífero atinge aproximadamente cinco bilhões de metros cúbicos ($5 \times 10^9 \text{ m}^3$)

CONCLUSÕES

As informações e dados disponíveis, e os estudos em andamento, indicam a existência de grandes reservas de águas subterrâneas em diversas formações geológicas.

Pelo grau atual de conhecimento hidrogeológico os principais aquíferos encontram-se na formação Cauê (hematitas e itabiritos), quartzitos ferruginosos da formação Cercadinho e/ou Grupo Piracicaba indiviso e quartzitos da formação Moeda.

Praticamente os recursos hídricos subterrâneos não são utilizados na região e a recarga das águas superficiais para os aquíferos é rejeitada em decorrência da saturação dos reservatórios de água subterrânea.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas de mineração: Mannesman, Samarco, Companhia Siderurgica Nacional, Companhia Vale do Rio Doce e Minerações Brasileiras Reunidas, que gentilmente forneceram os dados para a execução deste trabalho. Os autores agradecem também ao Sr. Flavio Soares Nunes graduando de geologia pela colaboração na elaboração deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

Chemale Jr,F; Rosiere, C.A; Endo, I. 1991- Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais-Um modelo. 18(2): 104-127 - UFRGS - Porto Alegre -RS.

Dorr, J.N; GAIR, J.E. , J.B.; Reynearson, G.A. 1957- Revisão da Estratigrafia Precambriana do Quadrilátero Ferrífero. Tradução A.L.M. Barbosa , Rio de Janeiro DNPM /DPFM , 33P. (Avulso 81).

Dorr, J.N. 2d. 1969 - Physiographic , stratigraphic ,and structural developement of the Quadrilátero Ferrífero , Minas Gerais. United States Geological Survey, Professional Paper, 641-A: 1-110.

Ladeira.E.A. & Viveiros.J.F.M. 1984 - Hipótese sobre a Estruturação do Quadrilátero Ferrífero com Base nos Dados Disponíveis. Boletim Especial, SBG-MG , 4:1-14.

Ladeira.E.A. 1980 - Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine , and in Nova Lima District , Quadrilátero Ferrífero , Minas Gerais , Brazil. University of Westen Ontario. Tese de Doutorado. 272p..

Marshak.S. & Alkimim.F.F. 1989 - Proterozoic extension / contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions , Minas Gerais , Brazil: A kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordillera do Espinhaço Tectonics, 8(3):555-571.

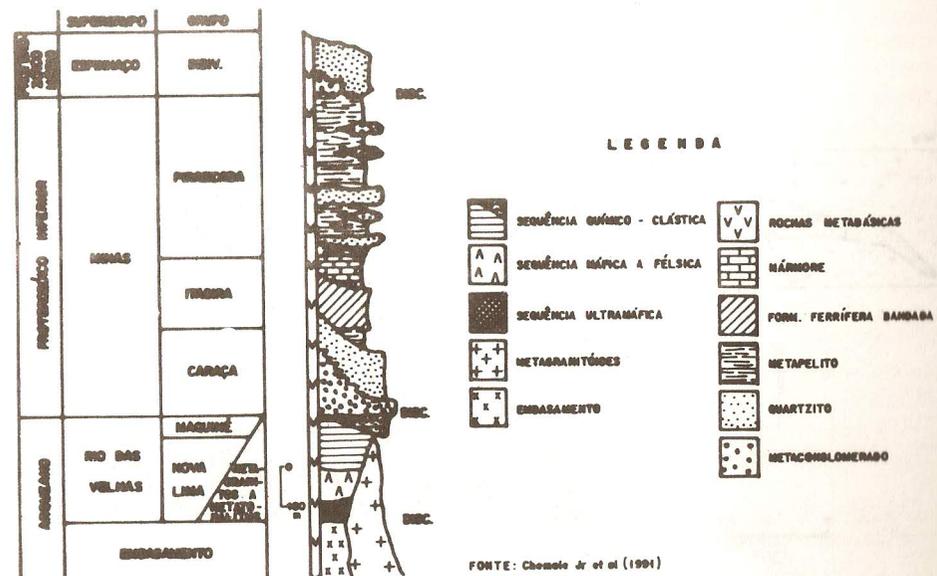
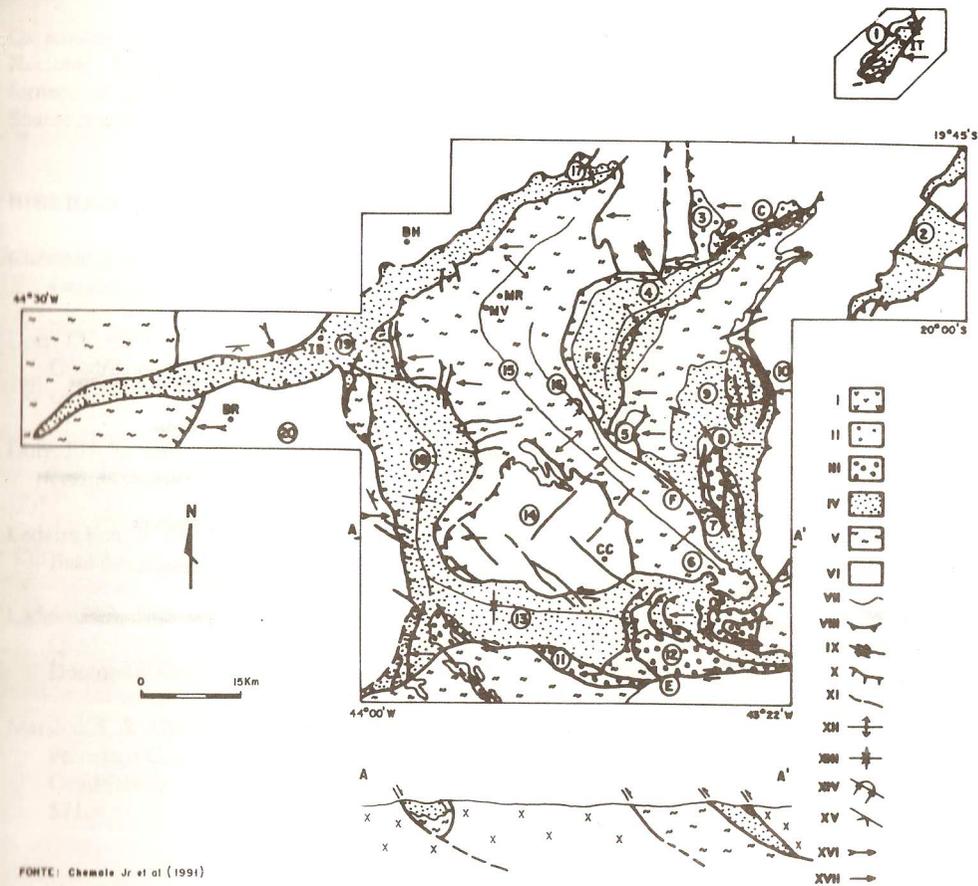


FIGURA 1 - COLUMA ESTRATIGRÁFICA PARA O QUADRILÁTERO FERRÍFERO E ADJACÊNCIAS



FORTE: Chemale Jr et al (1991)

FIGURA 2 - MAPA ESTRUTURAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO COM SUAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS E INDICADORES CINEMÁTICOS

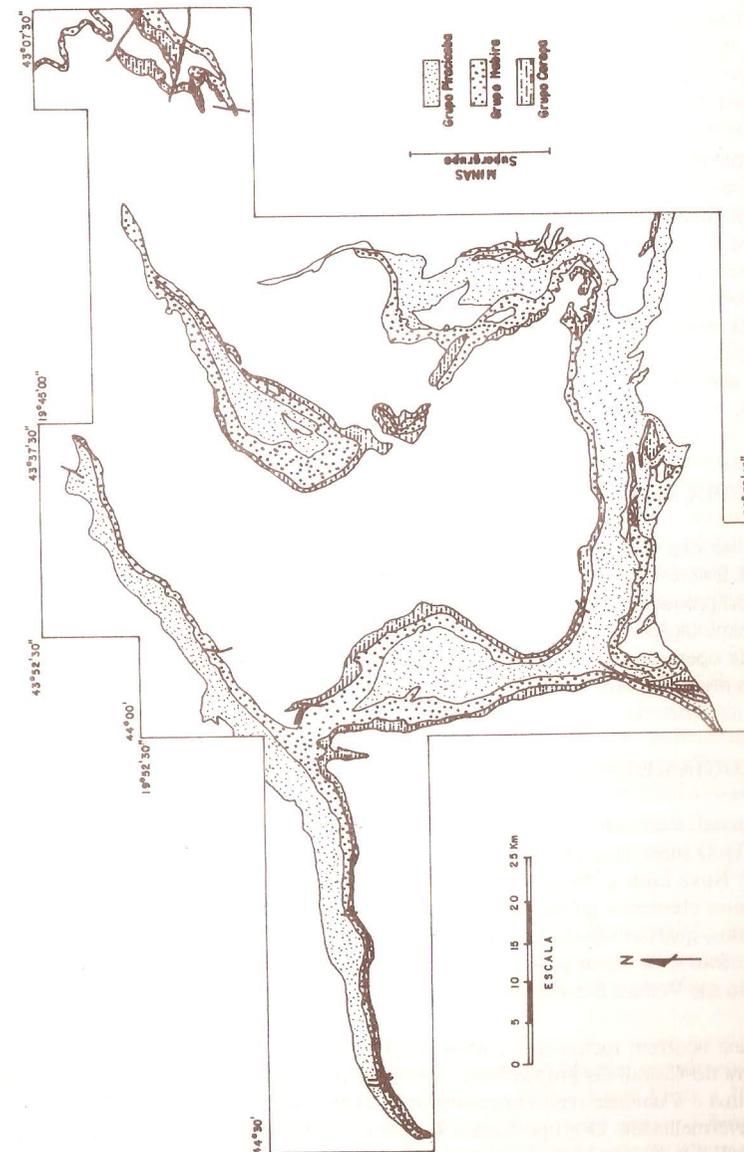


FIGURA 3 - ÁREA DE OCORRÊNCIA DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO