



VALE

PARAUAPEBAS - PA

PROJETO N1 E N2

EIA - ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

***ADENDO AO ITEM 9.1 –
DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO
(SUBITEM 9.1.7.3 - Hidrogeologia)***

9.1.7.3 - Hidrogeologia

A caracterização dos aspectos hidrogeológicos regionais também foram baseados na bacia do rio Itacaiúnas visando avaliar o perfil geral de funcionamento dos aquíferos e demais formações geológicas mapeadas quanto a sua vocação principal como meio condutor e armazenador das águas subterrâneas. Também buscou identificar domínios com propriedades hidráulicas similares, de modo a retratar suas principais potencialidades e fragilidades diante do cenário ambiental em que se encontram. As informações basearam-se nos levantamentos elaborados para a Avaliação das Disponibilidades Hídricas na Região das Flonas (Golder, 2006) e para o EGAT - Estudos de Gestão Ambiental e Territorial (Golder, 2007). Por fim, a caracterização hidrogeológica regional basicamente trata-se de uma compilação das informações do EIA Global elaborado pela consultoria Amplo (2010) onde a hidrogeologia regional foi muito bem discutida e concebida por um bom documento técnico. Já a caracterização hidrogeológica local foi elaborada pela consultoria Hidrovia (2019), denominado de Modelo Hidrogeológico Conceitual e Numérico (Anexo 3).

As base cartográficas disponíveis sobre a geologia regional estão em 1:250.000 abrangendo toda a região da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, que de acordo com o CPRM (1991, 1994) identifica a maior parte das ocorrências litológicas existentes. Para o desenvolvimento dos trabalhos adotou-se os critérios nos estabelece dois níveis de entidades espaciais de agrupamentos hidrogeológicos: as Unidades Aquíferas e os Sistemas Aquíferos. A denominação Unidade Hidrogeológica ou Aquífera é utilizada para caracterizar a existência de um ou dois tipos predominantes e de rocha portadora de água, associada a uma unidade geológica específica. Já o termo Sistema Hidrogeológico ou Aquífero é utilizado para identificar um conjunto de Unidades Aquíferas com litologias predominantes e comportamento hidrogeológico semelhante.

Em função das propriedades hidráulicas dos grupamentos de rochas que caracterizam os sistemas hidrogeológicos em termos de seu maior ou menor potencial armazenador e condutor de água, os tipos litológicos podem ser agrupados, em função de seu comportamento hidrodinâmico e capacidade de circulação das águas subterrâneas, em aquífugos, acicludes, aquípardos e aquíferos.

Os Aquífugos são rochas que não armazenam e nem transmitem água subterrânea. Englobam, fundamentalmente, rochas coesas, maciças, não fraturadas e não intemperizadas. Este grupo inclui o jaspilito não lixiviado, o qual ocorre nas minas de ferro. Demais rochas que podem ser consideradas neste grupo referem-se aos diques de rocha básica, quando não alteradas, como os gabros.

Os Aquícludes incluem tipos de rochas que armazenam água, mas não a transmitem. Estão incluídas neste grupo, tanto as massas rochosas argilosas como as rochas coesas que apresentam uma baixa densidade de fraturas, com um nível baixo de interconexão de estruturas, representadas fundamentalmente pelas rochas máficas decompostas, rochas metavulcânicas ácidas ou básicas, rochas metamórficas de afinidade filítica e coberturas sedimentares pelíticas.



Os Aquitardos correspondem a tipos de rochas que armazenam água, bem como transmitem, mas ainda muito lentamente. Estão incluídos os conjuntos de rochas com porosidade elevada e baixa permeabilidade, como os materiais constituídos por frações granulométricas de silte e argila, de modo predominante. Podem ser representados pelas rochas metassedimentares, tais como xistos, biotita-xistos, filitos e quartzitos pouco fraturados, ou ainda, as rochas cristalinas pouco afetadas por processos tectônicos. Também as rochas pelíticas estão inseridas, tais como argilitos, siltitos e folhelhos.

Por fim, os aquíferos que são aquelas rochas que possuem elevada capacidade para armazenar e também de transmitir água. Incluem-se as rochas sedimentares que apresentam elevada porosidade primária como arenitos, sedimentos aluvionares, etc. e as rochas metamórficas e ígneas, cuja porosidade secundária seja manifestada por fraturas, juntas e falhas na forma de um sistema aquífero fissural de elevada interconectividade.

9.1.7.3.1 - Hidrogeologia Regional (AER)

Regionalmente, na bacia do Itacaiúnas são reconhecidos cinco grandes sistemas hidrogeológicos: Cristalino, Sedimentar, Metamórfico, Metassedimentar e Vulcânico, conforme pode ser observado no mapa abaixo. Dentre as dezenas de rochas que se encontram mapeadas nesta bacia, em sua maior parte, as ocorrências que se agrupam são pertencentes as rochas cristalinas, compondo desse modo os sistemas de aquíferos do tipo fissurado.

De maneira secundaria ocorrem outras composições de tipos litológicos, as quais se apresentam segundo as características de seus materiais constituintes. Podem ser decorrentes dos processos de transformação metamórfica de rochas pré-existentes, depósitos sedimentares que tenham sido metamorfisados ou não, corpos de rochas vulcânicas e metavulcânicas e, ainda, rochas de cobertura conformadas por mantos porosos de decomposição mineral, que se mantêm integrados a cada um dos sistemas majoritários, na forma de camadas de solos de composição, estrutura e porosidade diferenciadas.

Observa-se que os principais sistemas aquíferos no domínio de estudo são caracterizados de forma preponderante por aquíferos fissurados constituídos por rochas metamórficas, tais como gnaisses, xistos, filitos e quartzitos, além das outras rochas ígneas ou vulcânicas metamorfisadas, tais como as metavulcânicas ácidas ou básicas, e os metagabros, metariolitos, etc.

Paralelamente a todas essas rochas, encontram-se em contato subjacente ou lateral os diversos tipos de materiais ígneos ou vulcânicos pouco ou nada metamorfisados, caracterizados por gabros, dioritos, basaltos, granitos, charnokitos, monzonitos, sienitos, etc. Diante deste cenário, pode-se dizer que os sistemas aquíferos no domínio de estudo pressupõem uma dinâmica de fluxos de caráter extremamente heterogêneo e anisotrópico.

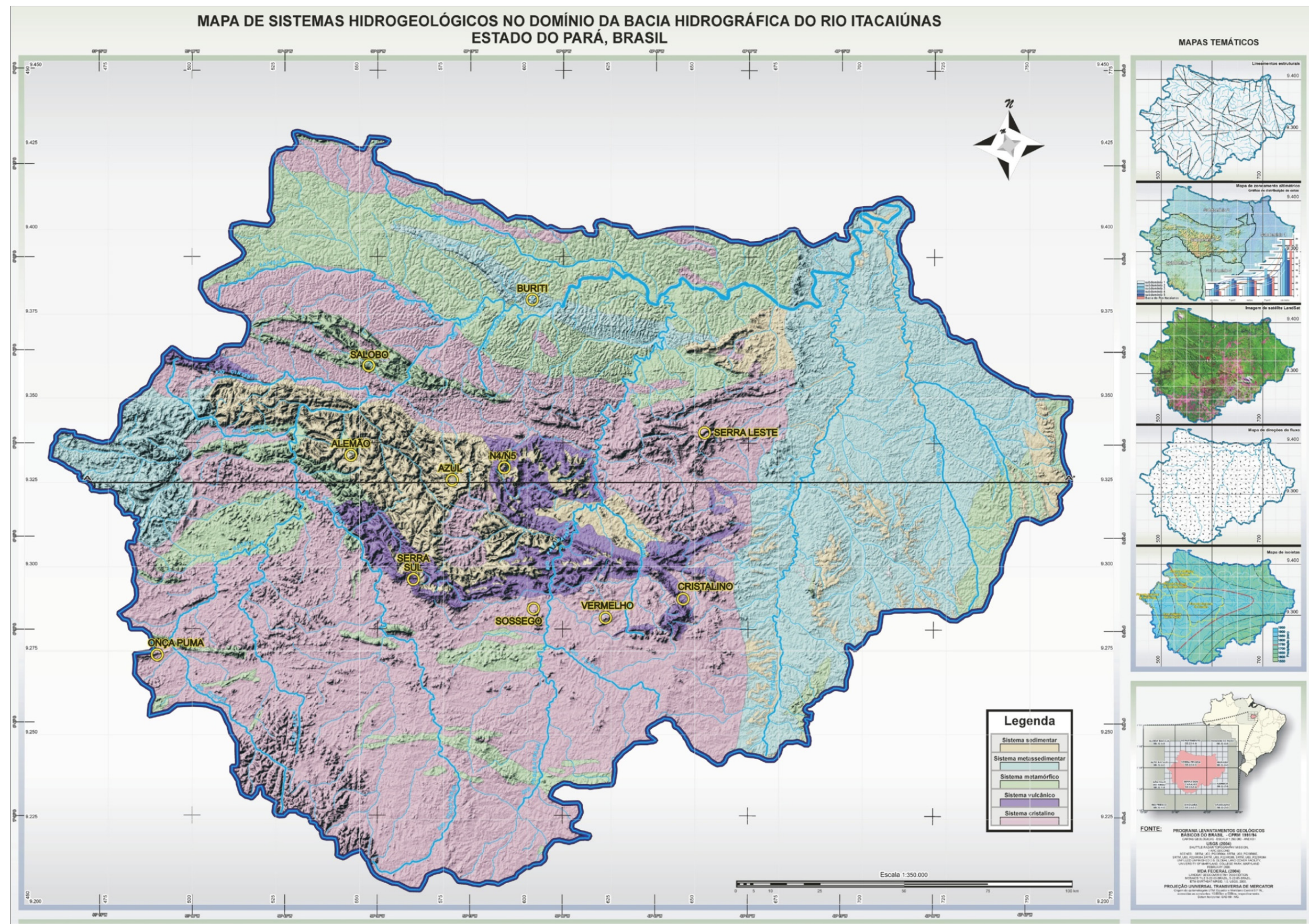


No entanto, tais rochas, a depender do grau de deformação e alteração imposta pelos diversos eventos tectonometamórficos que ocorreram na região, podem ser agrupadas dentro de sistemas hidrogeológicos similares. Em função das condições de circulação das águas subterrâneas estarem condicionadas por um mesmo padrão de fluxos decorrente da existência de aquíferos livres em meio fissural, predominantemente os mecanismos de circulação desenvolvem-se apenas nessas estruturas secundárias da rocha, caracterizadas por fissuras, fraturas e falhas geológicas, constituindo-se numa intrincada rede de condutividades hidráulicas variadas.

Desse modo, o conjunto de grupamentos litológicos presentes na bacia do rio Itacaiúnas é identificado basicamente pelos seus distintos tipos composicionais e reológicos, reconhecidos no mapa geológico apresentado na Figura abaixo, associados as suas distintas denominações de grupos e formações.



FIGURA 9.1.7-12 - Mapa do Sistema Hidrogeológico da bacia do rio Itacaiúnas



Fonte: AMPLO, 2010

Adeneira

Considerando-se a natureza hidrogeológica desses conjuntos de rochas segue uma breve descrição dos principais sistemas identificados na bacia do Itacaiúnas.

9.1.7.3.1.1 - Sistema Cristalino:

Os sistemas cristalinos mostram-se como os de maior representatividade na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, ocupando um total de 44% desta bacia e abrangendo subdomínios caracterizados, de modo majoritário, por formas de relevo mais arrasadas em termos regionais. No entanto, em face do variado leque composicional que constitui os distintos tipos litológicos presentes, localmente, pode ocorrer uma gama variável de gradientes hidráulicos, decorrente dos processos evolutivos de elaboração geomorfológica, onde a atuação de processos erosivos sobre distintos tipos litológicos (granitos, tonalitos, gabros, granodioritos, monzogranitos, charnockitos, peridotitos, etc.) diferenciou o modelado atual.

De um modo geral, esses sistemas encontram-se representados por pacotes de solos de porosidade intersticial, geralmente homogêneos, constituídos por frações de granulometria média a baixa, como resultado da alteração intempérica das rochas de afinidade granítica que recobrem os topos dos terrenos, com espessuras médias que oscilam em torno de 20 metros. Esses capeamentos são denominados de diversas maneiras, sendo as mais comuns os mantos de cobertura, regolítico, inconsolidado, ou ainda, mantos de intemperismo, de alteração ou residual.

Inserem-se em locais cuja presença de material granular ocorre em trechos de profundidade variada, mais espessos nas zonas aplainadas, e rasos ou quase aflorantes em terrenos onde há elevada declividade. Podem estar conformados, no entanto, por depósitos de tálus em que o transporte de detritos provenientes dos topos dos morros acomoda-se no sopé das encostas, dando origem a expressivos aquíferos temporários, localmente. É comum a presença de blocos de rocha coesa intercalada em meio ao pacote de solos e em superfície.

Nas zonas mais profundas do manto de cobertura, logo abaixo do contato com a porção inconsolidada e intemperizada dos terrenos, próximo à faixa onde se encontram preservados alguns minerais e estruturas reliquias das rochas pré-existent, esses sistemas mostram-se de modo mais heterogêneo. São constituídos, sobretudo, por rochas semi-decompostas (saprolitos) em contato com o topo das zonas rochosas muito fraturadas em que se inicia o caráter mais coesivo em profundidade. Esse trecho é caracterizado por uma faixa de transição entre a zona superior onde predomina os fluxos em meio essencialmente poroso, e sua passagem para faixas de material mais compacto onde se iniciam os processos de fluxos em meio fissural. Pode ser considerada assim como uma faixa de fluxos mistos. Constitui-se, portanto, numa faixa de potencial hidrogeológico considerável, dada a condição de aumento de espaços para circulação e armazenamento da água subterrânea.

Nesses ambientes mais profundos, de maior coesão, logo abaixo da zona de contato do meio poroso com o meio essencialmente constituído pela rocha cristalina, predominam zonas fissuradas que comandam todo o aporte de recarga proveniente das zonas de cobertura. Assim, todo o fluxo subterrâneo estará ocorrendo nessas zonas de porosidade secundária, materializadas por planos de fratura que se intercomunicam numa intrincada rede hidráulica, a qual é denominada de aquífero fissural cristalino. Quanto maior for a densidade de fraturas, extensão e grau de comunicação hidráulica entre as mesmas, maior será a capacidade de armazenamento e de transmissividade do referido meio aquífero.



Em virtude da idade muito antiga dessas rochas cristalinas (~2,8 Ga) e dos diversos episódios tectonometamórficos que transcorreram na região, o padrão de fissuramento da rocha foi sendo estabelecido, de certo modo, a partir da história evolutiva da geologia na área, onde se desenvolveram os referidos processos cinemáticos e geotectônicos pretéritos. Assim, as zonas preferenciais de fluxos subterrâneos estão relacionadas à existência de alinhamentos de fraqueza da rocha, coincidentes aos planos que se mostram mais persistentes e penetrativos em profundidade. Parte dos traços que compõe a rede de drenagem deve coincidir aos trechos de maior condutividade hidráulica dos aquíferos.

No entanto, a partir de uma determinada profundidade, acima de 100 metros, aproximadamente, as fissuras vão se tornando muito apertadas e até quase fechadas, em virtude do excessivo grau de compactação em que se encontram, impossibilitando a livre circulação das águas subterrâneas. Assim, os aquíferos em profundidade elevada deixam de existir, tornando-se os meios na forma de aquícludes ou até mesmo aquífugos, em face da pouca quantidade de água que pode ser armazenada conforme as restrições citadas.

As rochas cristalinas podem ser consideradas como fontes armazenadoras de água subterrânea, cuja potencialidade aquífera fica restringida ao tipo de condicionamento das estruturas secundárias, por onde se dá preferencialmente o escoamento de fluxos subterrâneos.

Aquíferos pobres e aquífardos relacionam-se desse modo, ao manto de intemperismo das rochas cristalinas. Aquíferos de potencial médio estão associados à rocha sã fraturada, em profundidades médias de 20 a 120 m. Sua distribuição é aleatória e a extensão variável. A produtividade aproximada está entre 1 e 20 m³/h, com águas doces de boa qualidade.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas por Golder (2006), a partir das caracterizações das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível d'água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, em caráter preliminar, valores da ordem de 170 mm/ano.

9.1.7.3.1.2 - Sistema Sedimentar:

Os sistemas sedimentares ocupam cerca de 10% da área da bacia do rio Itacaiúnas, distribuindo-se basicamente, por toda a sua porção central e por uma pequena porção no extremo nordeste da bacia, totalizando uma superfície aproximada de 4.000 km². Comumente, os depósitos correspondentes às maiores bacias sedimentares estão inseridos nas faixas elevadas da topografia regional, tendo sido caracterizadas perante os estudos de CPRM (1991, 1994), conforme a distribuição dos sedimentos pelíticos da Formação Águas Claras e das Coberturas Detríticas e lateríticas. Incluem-se nesse sistema os depósitos aluvionares recentes que margeiam os cursos d'água e, também, os sedimentos coluvionares.

As unidades mais antigas que 2.680 Ma (Trendall et al., 1998) foram discordantemente recobertas pelos depósitos clásticos, marinhos rasos a fluviais da Formação Águas Claras. Esta corresponde à unidade superior do Grupo Grão Pará, tendo sido anteriormente denominada de Grupo Rio Fresco por Docegeo (1988). Durante reativações posteriores, diversos sills de diabásio foram encaixados nos sedimentos Águas Claras, mantendo uma relação discordante entre materiais porosos e coesos.



Já a unidade intermediária do Grupo Grão Pará, denominada Formação Carajás (Beisiegel et al., 1973) é composta por jaspilitos oolíticos e formações ferríferas bandadas, que correspondem ao protominério do ferro laterítico das grandes jazidas de Carajás. A Formação Carajás também está incluída nesse sistema hidrogeológico pelo fato de suas características litológicas estarem também, associadas à existência de porções friáveis intercaladas em materiais coesos, além de exibirem propriedades hidráulicas mais próximas desses sistemas do que em relação aos sistemas metassedimentares.

Do ponto de vista estratigráfico, os depósitos sedimentares podem funcionar como zonas de recarga preferenciais dos aquíferos, tanto pelo fato de se situarem no topo das principais serranias locais, como pela natureza das rochas que constituem esses sedimentos, sendo representados, mormente, por arenitos, siltitos, folhelhos e pelitos em geral. Os minérios friáveis e compactos das formações ferríferas exibem-se também através de extensas serranias, apresentando-se, no entanto, envoltos, em geral, por rochas vulcânicas da Formação Parauapebas.

No primeiro caso, considerando-se apenas as rochas sedimentares incluídas na Formação Águas Claras, os fluxos subterrâneos devem ocorrer, predominantemente, de modo laminar em meio poroso. Contudo, os arenitos mais coesos podem apresentar-se fraturados, localmente, condicionando a existência de fluxos mistos em meio poroso e fissural. Os depósitos sedimentares existentes nessa formação, pelo fato de se encontrarem, não raras vezes, interdigitados, devem promover a ocorrência de lençóis suspensos, devido à presença de camadas argilosas que agem na retenção da água infiltrada pelas zonas de cobertura.

Dadas as propriedades hidráulicas distintas dos sedimentos que integram o pacote sedimentar da Formação Águas Claras, tem-se que estes materiais conformam um complexo sistema hidrogeológico sedimentar, na forma de aquíferos, aquícludes e aquípardos comumente. Os folhelhos e os siltitos apontam para a existência de aquípardos e aquícludes, enquanto os arenitos devem constituir aquíferos de médio a elevado potencial, com o aproveitamento através de poços tubulares profundos com vazões que podem oscilar desde os 10 m³/h até os 100 m³/h, com águas doces de boa qualidade. Contudo, deve-se ressaltar que os trechos compreendidos pelos litotipos constituídos pelas frações mais argilosas podem apresentar poços secos ou de vazão inexpressiva.

Esses sistemas apresentam-se através de uma distribuição geralmente isotrópica, e de extensão definida em escala regional. As unidades hidrogeológicas correspondentes às formações ferríferas bandadas, em virtude de seu elevado potencial para armazenamento e transmissividade das águas subterrâneas, também podem manifestar condições de fluxo laminar em meio poroso e fissural. Essas rochas são consideradas excelentes aquíferos, pois se constituem a partir de materiais cujas características hidráulicas denotam elevados valores de seus coeficientes de armazenamento e de permeabilidade, apresentando também, valores elevados de transmissividade, em função das espessuras elevadas em que ocorrem.

Feições típicas ocorrem em referência à existência de lençóis suspensos conformados a partir do selamento da porção subjacente às lagoas que se destacam nas superfícies detrítico-lateríticas superiores de terrenos com jazimentos de ferro.



De forma muito frequente, a porção desses sistemas sedimentares representada pelas formações ferríferas, concorrem ao status de melhor aquífero em termos regionais e locais, apresentando potencial para exploração de água subterrânea por poços profundos, a partir de vazões que podem variar entre 70 m³/h e 250 m³/h, com águas doces e de boa qualidade. Ocorrem em geral, por extensos domínios de extensão regional, sendo sua distribuição comandada pela presença de camadas de hematita compacta ou de itabiritos coesos ou friáveis, que se intercalam em profundidade. Devido à natureza e gênese dos materiais que constituem as jazidas de ferro, e à existência de rochas encaixantes no restante das áreas em torno, pode haver a ocorrência de aquíferos confinados, localmente.

Os demais tipos litológicos presentes, na forma de coberturas detrítico-lateríticas, correspondem a aquíferos superficiais que sustentam por períodos significativos o aporte de água para os aquíferos subjacentes, sendo constituídos por materiais porosos de frações granulométricas variadas. Em geral, ocorrem de modo restrito em termos geográficos, podendo assumir um caráter regional, esporadicamente. Os aquíferos associados apresentam-se com potencial médio a baixo, para aproveitamento por poços tubulares de profundidade elevada. Águas de boa qualidade são esperadas em ambos os casos.

As faixas compreendidas por sedimentos aluvionares e coluvionares têm distribuição bem marcada e localizada, e de extensão variável, denotando um potencial relativamente baixo, para aproveitamento das águas subterrâneas e em pequena escala, por poços escavados de grande diâmetro com profundidades menores que 20 metros. Espera-se uma boa qualidade das águas subterrâneas para consumo humano e animal. As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas por Golder (2006), a partir das caracterizações das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível d'água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, em caráter preliminar, valores da ordem de 233 mm/ano.

9.1.7.3.1.3 - Sistema Metamórfico:

Os sistemas hidrogeológicos constituídos pelas rochas metamórficas foram assim designados para agrupar os tipos litológicos que representam, de modo predominante, todas as rochas ígneas que sofreram processos de transformação metamórfica, tais como micaxistos, metamafitos, anfibolitos, serpentinitos, talcoxistos, granulitos charnoquíticos, além de outras. De modo subordinado, outros tipos de rochas encontram-se mapeadas, embora as rochas citadas sejam observadas majoritariamente.

Apesar de conterem uma grande variedade de tipos litológicos, devem ser considerados como um sistema que concentra uma tipologia de materiais cujas propriedades hidráulicas denotam um baixo potencial aquífero, de maneira em geral. Isto ocorre, fundamentalmente, em decorrência das ordens de grandeza de alguns parâmetros hidráulicos (condutividade hidráulica e porosidade efetiva para fluxo), cujos baixos valores induzem à existência de aquíferos e aquícludes, não permitindo o armazenamento eficaz da água subterrânea e impedindo ou dificultando sua circulação.



Embora tenham um grau de similaridade considerável com os sistemas cristalinos, esses sistemas metamórficos mostram tendência a um comportamento mais debilitado de sua dinâmica hídrica subterrânea. Em função da presença de muitos tipos litológicos cuja matriz apresenta em sua estrutura cristalina uma grande contribuição de minerais filossilicáticos, as propriedades hidráulicas mostram-se, tanto para as rochas coesas como para seus produtos de alteração, uma forte restrição em relação às suas condições de armazenabilidade. Os referidos atributos hidrogeológicos, relacionados em grande parte aos seus minerais constituintes, conferem ainda uma condição em que as estruturas secundárias, tais como fraturas e planos de xistosidade, tendem a se desenvolver de modo incipiente, dado o caráter mais refratário dos materiais, induzindo a uma menor ruptibilidade dos corpos rochosos.

Desse modo, esses sistemas podem ser considerados como inexpressivas fontes armazenadoras de água subterrânea, cuja potencialidade aquífera fica restringida tanto pela limitação dos níveis de conectividade das estruturas secundárias, como pela baixa permeabilidade de seus produtos de alteração. Devem ocorrer assim, aquíferos de baixo potencial à exploração associados à rocha sã ou ao manto regolítico, com predomínio de meios pouco condutores como aquípardos e aquícludes. Podem existir poços onde a produtividade média pode ocorrer na faixa de 1 a 5 m³/h, com águas doces de boa qualidade ou mesmo salobras, para poços de profundidades médias variando entre 50 e 150 metros, com distribuição aleatória e extensão limitada. Poços escavados tipo cisterna podem produzir pouca quantidade de água para fins de abastecimento doméstico.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas por Golder (2006), a partir das caracterizações das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível d'água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, em caráter preliminar, valores da ordem de 132 mm/ano.

9.1.7.3.1.4 - Sistema Metassedimentar

As rochas que estão sendo incluídas nesse domínio referem-se àquele grupamento litológico onde se encontram todos os tipos de depósitos de bacias sedimentares, cujos processos de metamorfismo regional atuaram na transformação de sua matriz intersticial pré-existente, previamente constituída por uma elevada porosidade primária, tendo originado estruturas planares adicionais ao acamamento, tais como xistosidades, além das paragêneses minerais.

Os tipos litológicos existentes correspondem àqueles que ocupam todo o extremo leste do domínio de estudo, ocupando parte da Província Tocantins e cerca de 21% do domínio abrangido pela bacia do rio Itacaiúnas. Estão representados por metassedimentos da Formação Couto Magalhães, a qual é composta basicamente por ardósias e filitos, ou seja, rochas de baixo grau metamórfico. De modo subordinado, ocorrem argilitos sílticos, calcário, conglomerado suportado por clastos, metarcóseo, metarenito feldspático, metassilito e quartzitos.

Esses materiais, sem se levar em consideração a condição morfológica do relevo, onde são observadas as menores amplitudes altimétricas do domínio estudado, apresentam uma inexpressiva aptidão para armazenamento de água e baixíssimos valores de condutividade hidráulica, o que a torna inapta ao aproveitamento hídrico subterrâneo em função da própria natureza em que se constituem seus atributos hidrogeológicos.



Os tipos litológicos traduzem a existência de aquíferos muito pobres e o predomínio de aquíferos e aquícludes. A situação é agravada pelo padrão morfológico de relevo, como citado anteriormente, em que a condição de baixos gradientes hidráulicos implica na diminuição da capacidade de circulação da água subterrânea. Desse modo, a recarga proveniente dos aportes pluviométricos tende a se processar lentamente no sentido vertical, induzindo ao favorecimento do aumento das taxas de evaporação em superfície.

Os materiais porosos que constituíram originalmente esses materiais metassedimentares denotam a existência de uma matriz muito fina, de granulometria das argilas e, no entanto, cederam espaço à existência de rochas cuja elevada porosidade primária foi transformada numa rocha coesa, constituída majoritariamente por minerais micáceos orientados presentes nas ardósias e nos filitos. Assim como no contexto dos sistemas metamórficos descritos anteriormente, embora em maiores proporções, os sistemas metassedimentares tendem a apresentar estruturas secundárias, como fraturas e fissuras e até mesmo planos de falhas, de modo muito fechado, dificultando também os processos de circulação das águas subterrâneas de modo em geral.

Em síntese, esses ambientes metassedimentares devem, em sua maior parte, apresentar condições de aproveitamento insuficiente da água subterrânea, seja por poços profundos ou cisternas, devido ao seu baixo potencial aquífero. Esporadicamente, em porções localizadas, onde porventura haja maior desenvolvimento da estruturação litológica a partir dos processos tectônicos incidentes em rochas mais coesas como os calcários, as ardósias ou os quartzitos, pode haver um favorecimento à circulação e ao armazenamento da água subterrânea. Da mesma forma, uma melhor condição pode ser esperada onde o relevo permitir um aumento significativo das condições de gradiente hidráulico em associação a um tipo de rocha com vocação um pouco mais favorável em termos hidrogeológicos.

Nesses termos, não se espera que poços perfurados nos aquíferos pobres existentes nesses sistemas venham a produzir volumes apreciáveis de água. Portanto, esse baixo potencial à exploração deve permitir, de modo geral, apenas vazões insignificantes associadas à rocha sã ou ao manto regolítico. Deve predominar a existência de poços com baixa produtividade cujas vazões não devem ultrapassar a faixa dos 5 m³/h, sendo as águas de boa qualidade ou medianamente salobras, para poços de profundidades médias variando entre 50 e 150 metros. A distribuição atrelada a traços de fraturas de extensão limitada ou regional pode favorecer a ocorrência de vazões mais elevadas, superiores a 20 m³/h. Poços escavados tipo cisterna podem produzir pouca quantidade de água para fins de abastecimento doméstico.

As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas por Golder (2006), a partir das caracterizações das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível d'água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, em caráter preliminar, valores da ordem de 223 mm/ano.



9.1.7.3.1.5 - Sistema Vulcânico:

Os sistemas vulcânicos apresentam-se caracterizados pelos tipos litológicos homônimos, ou seja, pelas rochas de afinidade vulcânica. Ocupam cerca de 5% do domínio de estudo, distribuindo-se de modo majoritário em sua porção central, mas ocorrendo disseminadas ao longo de intercalações em outros grupamentos litológicos. É constituído basicamente por rochas metavulcânicas dominadas por basaltos toleíticos ou basaltos andesíticos, quartzo dioritos cálcio-alcalinos, vulcânicas félsicas, traquiandesitos e riolitos. Esses tipos litológicos ocorrendo, de modo preferencial, na região morfológica do relevo caracterizada por amplitudes altimétricas elevadas, podem significar a existência de uma forte estruturação tectônica, onde a maior densidade de fraturas torna o ambiente propenso a desenvolver formas de conexão hidráulica de modo mais intenso.

Considerando-se a configuração desses materiais vulcânicos no entorno imediato das zonas mineralizadas da Província Mineral de Carajás, onde ocorrem de maneira mais marcante, pode-se esperar que os processos deformacionais tardios tenham atuado no desenvolvimento dos sistemas de fraturas de todo o conjunto litológico existente, produzido formas de interconexão hidráulica entre sistemas hidrogeológicos distintos, ultrapassando os limites dos sistemas vulcânicos.

Tais assertivas convergem para uma situação em que os sistemas hidrogeológicos vulcânicos, apesar da natureza intrínseca de seus materiais constituintes apontarem para uma condição de relativa inaptidão hidrogeológica, adquirem um incremento em sua capacidade de armazenamento e transmissividade de água subterrânea, posto que o ambiente tectônico ao qual se insira, possibilita a participação de agentes estruturais secundários como atributos naturais de capacitação das condições ocorrência das águas subterrâneas.

Contudo, os produtos de alteração das rochas vulcânicas constituem-se por material granular, geralmente de granulação fina (argilas), cobrindo grandes porções de seus trechos aflorantes, com espessuras variadas. Esses materiais de composição argilosa restringem os processos de recarga superficial. Contudo, é comum a presença de blocos de rocha coesa intercalada em meio ao pacote das coberturas de alteração superficial.

Quanto aos aspectos de aproveitamento da água subterrânea nesses ambientes, pode-se considerar que seus produtos de alteração superficiais funcionam como aquíardos e as faixas constituídas pelas rochas consolidadas podem apresentar um espectro amplo quanto às suas propriedades hidráulicas. Desde a existência zonas de condutividade muito baixa, onde a massividade é muito elevada, até os trechos onde as fraturas tenham se manifestado a ponto de permitir condições de armazenamento e fluxo da água subterrânea para fins de exploração. Poços tubulares nesses compartimentos mais fraturados podem acusar vazões superiores a 20 m³/h, sendo a qualidade das águas passível de incorporação de íons solúveis de cálcio e magnésio, tornando as mesmas mais duras, com um conteúdo mais elevado de salinidade. As disponibilidades hídricas subterrâneas estimadas por Golder (2006), a partir das caracterizações das vazões mínimas dos sistemas hídricos superficiais e das oscilações de nível d'água dos aquíferos em poços de monitoramento revelam, em caráter preliminar, valores da ordem de 106 mm/ano.



9.1.7.3.1.6 - Considerações Finais

De modo geral, os materiais de alteração que se sobrepõem aos materiais coesos ocorrem na forma de coberturas de natureza granular, constituídos por solos residuais e/ou transportados, na forma de elúvios, saprolitos ou solos aluvionares. Os sistemas hidrogeológicos constituídos preponderantemente pelas zonas aquíferas são caracterizados pela ocorrência de um empilhamento de distintos materiais, cujas propriedades designam as formas de interação entre as condições de recarga, circulação e descarga. Os sistemas sobrejacentes, os quais recebem as águas meteóricas, apresentam-se na forma de mantos de intemperismo de porosidade granular, e os sistemas inferiores podem constituir-se por diversos tipos litológicos de rocha coesa, com caráter fissural.

O transporte das águas pluviométricas e parte de seu armazenamento se iniciam nos sistemas superiores e se direcionam para os sistemas fraturados inferiores. Os efeitos de recarga nos sistemas fissurais cobertos vão depender da permeabilidade do aquífero superior. Muito da água subterrânea armazenada na camada granular superior pode representar a maior parte da água disponível nos referidos sistemas aquíferos, posto que os aquíferos fissurais tendem a diminuir a capacidade de armazenamento em profundidade, pelo fato das fraturas mostrarem-se mais apertadas ou fechadas pelo efeito de compactação das rochas.

Em face do predomínio regional de rochas cristalinas (ígneas ou vulcânicas), considerasse que os divisores superficiais de água são coincidentes aos divisores subterrâneos, acarretando, grosso modo, na distribuição das direções de circulação da água subterrânea através de componentes rumo aos eixos de drenagem locais.

Contudo, devido à existência de uma forte estruturação tectônica, principalmente na porção central do domínio de estudo, fatores relacionados ao sistema de fraturas pode interconectar distintos sistemas hidrogeológicos. Quanto ao potencial hidrogeológico atrelado a tais sistemas aquíferos, os produtos de alteração das rochas ígneas de natureza plutônica devem produzir materiais porosos de granulação variada, predominando a fração areno-argilosa. Desse modo, os solos de alteração de granitos, por exemplo, deve representar meios permeáveis com capacidade mais elevada de armazenamento de água em relação ao meio fissural inferior.

Devem, portanto, corresponder a regiões de maior capacidade de regularização do escoamento básico ou subterrâneo, distintamente dos sistemas aquíferos onde há o predomínio de rochas de afinidade argilosa, como as metavulcânicas e filíticas, onde o manto de decomposição é constituído por frações mais argilosas, na forma de aquitardos.

Em função das condições de precipitação e recarga ocorrerem de forma bem marcada, regionalmente, com períodos de estiagem e úmidos bem definidos, o período chuvoso invariavelmente apresenta a elevação nos níveis potenciométricos dos sistemas aquíferos, sendo rápidas e maiores as taxas de escoamento subsuperficial. Já o período de estiagem corresponde a um regime condicionado por valores de precipitação nulos ou muito baixos, com decaimento dos níveis potenciométricos, e fluxos subsuperficiais mais lentos, refletindo, muitas vezes, no desaparecimento do escoamento superficial de algumas drenagens.



9.1.7.3.2 - Hidrogeologia Local (AEL)

Conforme o estudo realizado pela HIDROVIA em 2019, na visão hidrogeológica mais ampla, reconhece-se que a principal unidade aquífera ocorrente nos platôs N1 e N2 constitui-se nas rochas ferríferas da Formação Carajás, composta por hematitas friáveis, compactas, compactas manganesíferas e lateríticas, além de jaspelitos, unidades cobertas por cangas química e de minério evidentes no alto do platô. A afinidade aquífera destas unidades foi comprovada pelos valores relativamente mais altos de condutividade hidráulica obtidos em ensaios de campo. Ainda que não visíveis em mapeamento de superfície, diques máficos intrudidos nestas unidades podem estar presentes, condicionando barreiras hidráulicas que desempenham papel de compartimentação do aquífero em determinadas porções restritas.

O arranjo geológico complexo na região dos platôs imputa às formações ferríferas diferenciado contexto de circulação hídrica subterrânea, que passa a fazer maior sentido quando se consideram as diversas estruturas penetrativas reconhecidas na área. As feições estruturais que podem demonstrar tal comportamento são traduzidas através de foliações com mergulhos médios a suaves para W; juntas e fraturas NW-SE em rochas metavulcânicas máficas; falhas estriadas e espelhadas em zonas de fraturas; e, lineamentos NW-SE, N-S e E-W evidenciados pelas drenagens. Tais estruturas são importantes para o controle dinâmico de fluxo de água subterrânea, somadas aos potenciais hídricos subterrâneos dos materiais geológicos presentes, sendo também responsáveis pela formação de nascentes pontuais com vazão expressiva quando comparadas a outras nascentes situadas no entorno e no mesmo litotipo.

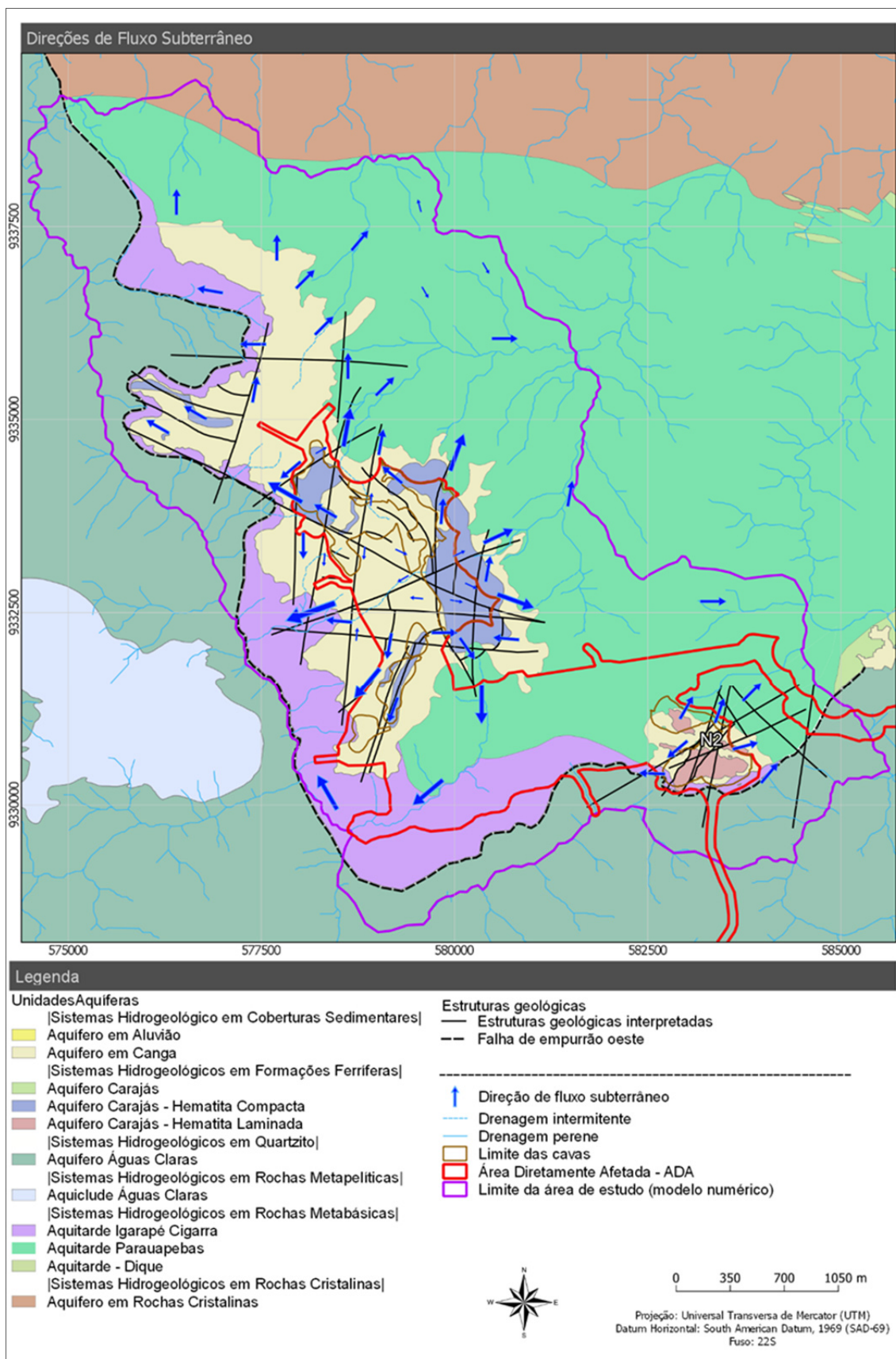
Em relação às nascentes, registraram-se, em alguns pontos, vazões elevadas no sopé e meia encosta dos platôs, associadas a certas direções estruturais, ou interseções destas que cortam os platôs em quase toda sua extensão, inclusive suas encaixantes máficas, sendo mais nítidas no platô de N1 devido à sua maior dimensão. A montante dos pontos de surgência principais, os talwegues de drenagem são notadamente intermitentes ou efêmeros, sendo que alguns guardam ligação em termos de entalhamento até as lagoas, mantendo o fluxo durante o período úmido, por pequenos trechos a partir destas, caracterizando a ocorrência de surgências e sumidouros localizados, com vazão pouco expressiva. Na região de encosta e sopé dos platôs, os talwegues são fortemente encaixados, com a presença de enormes blocos rolados de canga, marcando o seu desmonte a partir de direções estruturais importantes. Na porção elevada do platô, os talwegues são mais suavemente encaixados devido à carapaça de cangas, porém guardam, também, a continuidade dos alinhamentos percebidos. Outros pontos de nascentes se mostraram com vazões muito menores, apesar de apresentarem alguma associação com direções estruturais, o que pode denotar que nem todas as direções percebidas são proeminentemente favoráveis à descarga do aquífero.



De acordo com o que já foi descrito acima, contribuindo para o potencial hidrogeológico da área dos platôs N1 e N2, a presença de grandes lineamentos revela a importância do fator estrutural associado. Estas direções guardam estreita relação com a evolução tectônica destes platôs, os quais correspondem aos blocos mais ocidentais da Serra Norte. A partir desta percepção, a interpretação de imagens de satélite somada à base estrutural existente corroborou a ocorrência de diversos alinhamentos estruturais. Independentemente de sua classificação evolucionária temporal, estas estruturas tiveram e têm grande importância no desenvolvimento de feições de interesse hidrogeológico e, por conseguinte, para a composição do modelo conceitual de fluxo das águas subterrâneas e de interação com as águas superficiais, bem como para o modelo numérico (Hidrovia, 2019). Conforme pode ser visto na FIGURA 9.1.7-13, estas direções se caracterizam na região dos platôs como NE/SW, NW/SE, S/N e E/W e são corroboradas pelas direções apresentadas em bases citadas no capítulo de geologia. Supondo uma correlação destas direções com aquelas descritas na história evolucionária da região de Carajás, pode-se conjecturar o seguinte:

- NE/SW: Direção de encurtamento regional associada a uma tectônica compressiva oblíqua.
- NW/SE: direção paralela/subparalela a eixos de dobras e estruturas regionais (Dobra Carajás e falhas Carajás e Cinzento).
- S/N: ramificações lítricas do tipo splay desenvolvidas a partir de falhas regionais principais (Falhas Carajás e Cinzento).
- E/W: falhas subparalelas ao plano axial de dobras.



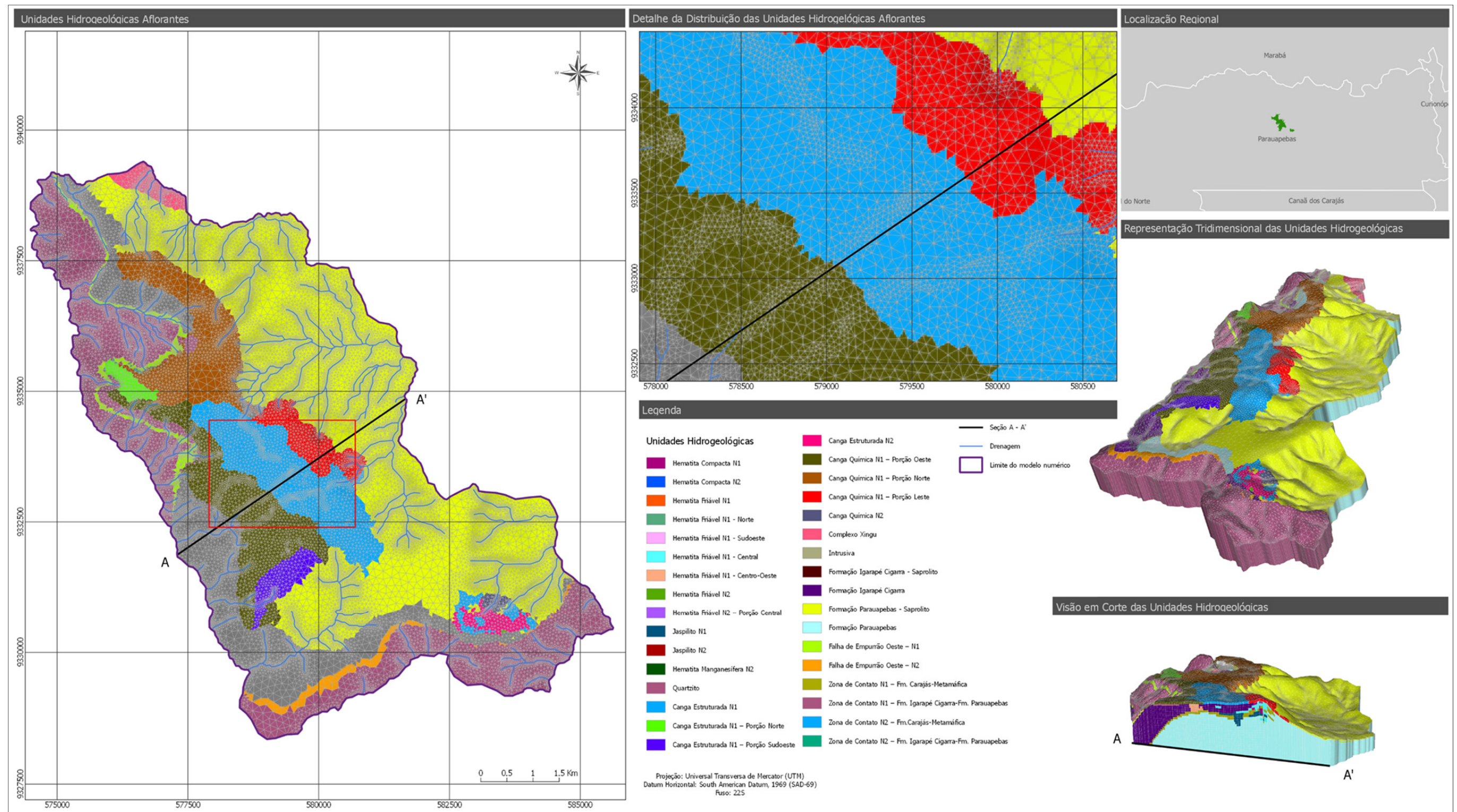
FIGURA 9.1.7-13 - Direções de fluxo interpretadas nos platôs N1 e N2

Fonte: HIDROVIA, 2019

A Figura 9.1.7-14 abaixo mostra a distribuição tridimensional das unidades hidrogeológicas produzida pela Hidrovia 2019 (Anexo 3).



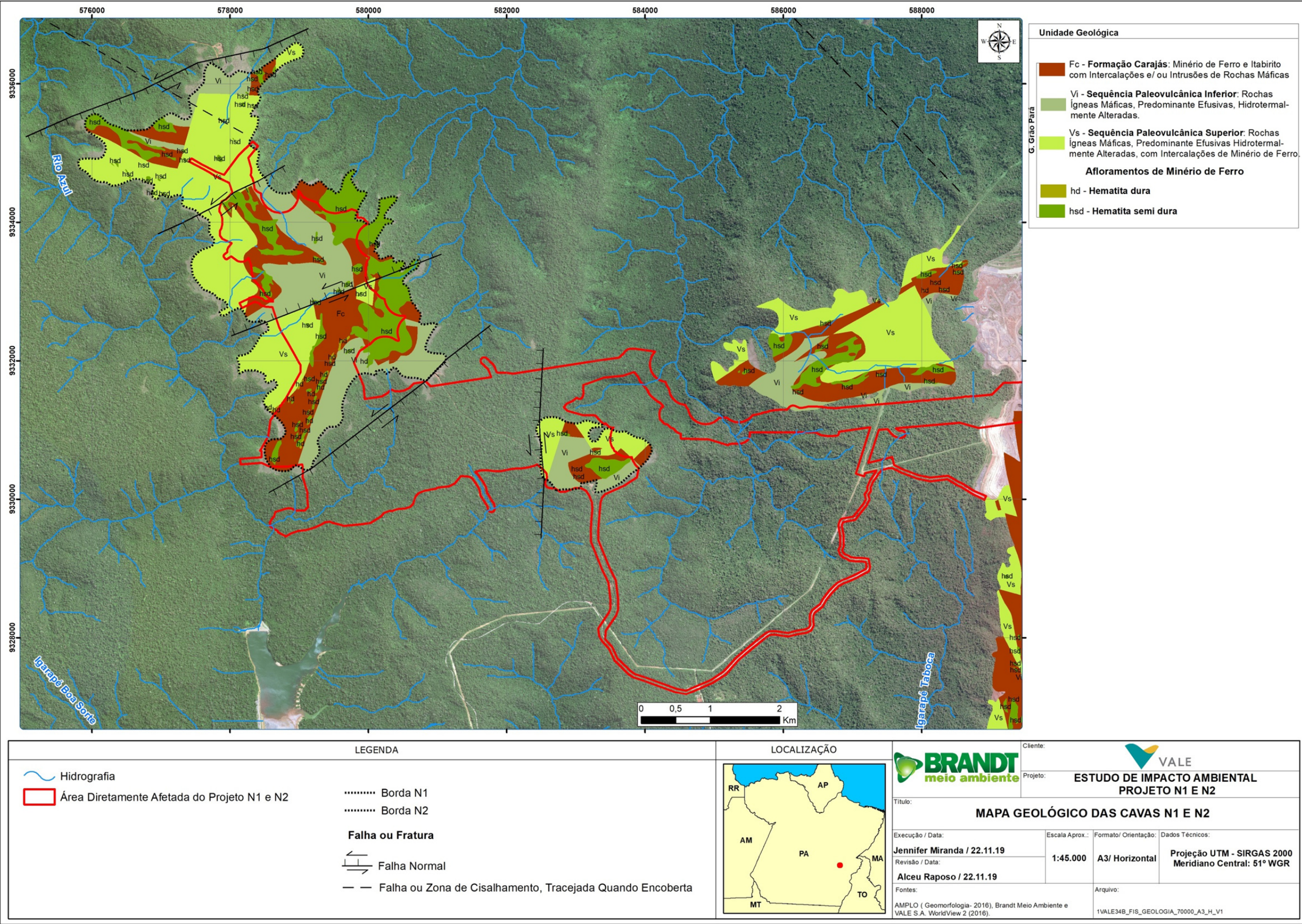
FIGURA 9.1.7-14- Distribuição tridimensional das unidades hidrogeológicas no modelo numérico FEFLOW



Fonte Hidrovia 2019

Adriana

FIGURA 9.1.7-15 - Mapa geológico das cavas N1 e N2 (Dados Vale)



[Assinatura]

Adameira

Na área do projeto são identificadas rochas do Grupo Grão Pará, sendo as máficas associadas às Formações Parauapebas e Igarapé-cigarra e os afloramentos ferríferos associados a Formação Carajás. O embasamento desse litotipo é composto por gnaisses do Complexo Xingu, e sobrepondo o Grupo Grão Pará está a Formação Águas Claras. Recobrimo grande extensão dos platôs N1 e N2, estão os depósitos recentes (cangas e lateritas) que derivam dos diversos processos intempéricos, reativados em diferentes momentos de sua evolução geo-tectônica, sofridos pela região.

Uma vez que ainda não há consenso quanto a litoestratigrafia da Província Mineral de Carajás (da qual a área deste projeto faz parte), este relatório adotará a estratigrafia proposta pelo estudo da DOCEGEO (1988), segundo o qual da base para o topo, a disposição das unidades: Complexo Xingu; Supergrupo Itacaiúnas - Grupo Grão Pará - Formação Parauapebas - Formação Carajás - Formação Igarapé Cigarra; Formação Águas Claras; Diques básicos e coberturas recentes.

Considerando a distribuição das unidades geológicas e parâmetros hidrodinâmicos dessas unidades (porosidade, permeabilidade, condutividade hidráulica, transmissividade, armazenamento e recarga) foram caracterizadas unidades e sistemas hidrogeológicos (Quadro 9.1.7-3). A espacialização das unidades aquíferas pode ser visualizada na Figura abaixo (HIDROVIA, 2019, Anexo 3).

QUADRO 9.1.7-3 - Caracterização das unidades hidrogeológicas

Unidade Hidrogeológica	Litologia	Espessuras médias (m)	Valores típicos de porosidade efetiva (%)	Valores típicos de condutividade hidráulica (cm/s)	Valores típicos de recarga (% média de chuva)
Aquífero Carajás	Formações ferríferas	410 (superior) 100 (inferior)	4 a 8	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$	>20 ou < 40
Aquífero Águas Claras (quartzito)	Rochas Metareníticas	> 1000	2 a 3,5	$1,0 \times 10^{-5}$ a $1,0 \times 10^{-3}$	>15 ou <25
Aquífero em aluviões, colúvios, cangas e lateritas	Coberturas sedimentares	~ 20	0,1 a 10,0	$5,0 \times 10^{-5}$ a $5,0 \times 10^{-2}$	> 10 ou < 40
Aquífero em rochas cristalinas	Rochas cristalinas	< 100	0,75 a 2,0	$5,0 \times 10^{-7}$ a $5,0 \times 10^{-3}$	> 5 ou < 15
Aquíclode Águas Claras (pelitos)	Rochas metapelíticas	> 200	0,50 a 0,75	$1,0 \times 10^{-8}$ a $1,0 \times 10^{-6}$	< 5
Aquíclode em diques máficos, aquíclode Igarapé Cigarra, Aquíclode Parauapebas	Rochas metabásicas	Alterado e saprolítico ~ 20 / Fissurado ~100	0,25 a 0,50	$5,0 \times 10^{-8}$ a $5,0 \times 10^{-6}$	< 5

Fonte: HIDROVIA, 2019 (Anexo 3)

Aquíferos em formações ferríferas: responsáveis pela maior parte do abastecimento das drenagens de N1 e N2. A porção formada por hematita friável, de origem residual ou supergênica consiste em material poro-permeável que caracteriza um aquífero intergranular; a hematita compacta geralmente é fraturada permitindo a circulação de água originando aquíferos fissurais. A espessura dessas formações pode chegar a 410 metros.

Aquíferos em quartzitos: são descontínuos, do tipo fissural, pode ser livres ou confinados por rochas impermeáveis, anisotrópicos, heterogêneos e apresentam porosidade e permeabilidade secundárias. Possuem relativo alto potencial hidrogeológico devido a elevada porosidade efetiva, condutividade hidráulica e capacidade de armazenamento. A circulação e armazenamento de água ocorrem, predominantemente, nas discontinuidades (planos de fraturas em nível local e regional); a recarga ocorre pela infiltração de águas de chuva e as direções de fluxo são predominantemente controladas pelo gradiente da topografia e, subordinadamente, por contatos entre geologias de diferentes permeabilidades.

Aquíferos em coberturas sedimentares: em geral são localizados, temporários, descontínuos, livres, anisotrópicos, heterogêneos, com porosidades e permeabilidades primárias maiores nos níveis arenosos e grosseiros. Seu potencial hidrogeológico depende da sua espessura e continuidade lateral. Ainda que suas porosidades tendam a ser baixas no perfil inicial, sua infiltração condiciona a recarga dos aquíferos sotopostos.

Aquíferos em rochas cristalinas: seu fluxo pode ser intergranular e/ou fissural, associado ao manto de alteração e a rocha são fraturada. No manto de alteração, onde o fluxo está associado a porosidade intergranular ocorrem aquíferos livres com espessuras máximas de 30m. Nas rochas, os aquíferos fissurais formados apresentam boa continuidade lateral e o seu potencial de recarga depende da interconexão de fraturas. Quanto mais profundo, menor o faturamento e maior a coesão caracterizando um aquífero de baixo potencial hidrogeológico.

Aquicludes em rochas metapelíticas: reúne unidades geológicas impermeáveis como filitos, metapelitos, siltitos e argilitos. Aparecem como faixas em unidades de maior potencial hidrogeológico; embora os argilominerais, presentes nesta unidade, armazenem água eles não são capazes de transmiti-las, pois sua plasticidade origina fraturas fechadas podendo configurar aquitardes em zonas fraturadas.

Aquicludes em rochas metabásicas: de modo geral são identificados através de testes de aquífero. Constituem barreiras hidráulicas entre aquíferos do mesmo sistema ou unidade e estão presentes nas sequências metassedimentares. Os corpos intrusivos seccionam aquíferos alterando os fluxos subterrâneos.

9.1.7.3.2.1 - Unidade Hidrogeológica Carajás

O Sistema Hidrogeológico Carajás é formado pelos litotipos representantes das formações ferríferas bandadas. Neste sistema distinguem-se fundamentalmente três unidades principais, quais sejam: hematitas friáveis, hematitas compactas e jaspilitos. Estas unidades se comportam como aquíferos, aquitardes ou aquicludes e se encontram recortadas por corpos concordantes (sills) e discordantes (diques) de rochas básicas, os quais se constituem em barreiras hidráulicas impermeáveis e provocam a compartimentação do Sistema Hidrogeológico Carajás.



9.1.7.3.2.1.1 - Aquífero Hematitas Friáveis:

A gênese das hematitas friáveis, minério de alto teor, é admitida hoje pela atuação conjunta de dois fenômenos: inicialmente teria havido uma alteração hidrotermal, com a substituição de sílica por carbonatos, e posteriormente, a atuação de um longo processo de lixiviação teria provocado a dissolução dos carbonatos, gerando as hematitas ricas e friáveis. Desse modo originou-se um material extremamente poroso e com elevada permeabilidade, fato comprovado pela alta vazão e capacidade específica dos poços para rebaixamento desse aquífero.

Apresentam porosidade intersticial predominante, com porosidade de fratura secundária. Nota-se ainda que a estrutura sedimentar das hematitas preserva parcialmente o acamamento, o que define esse plano como importante superfície de percolação de água. Dessa forma, essa unidade hidrogeológica contém no plano de acamamento, quando preservado, um eixo preferencial de permeabilidade. Essa unidade possui excelentes características aquíferas, como elevada condutividade hidráulica e alto armazenamento.

9.1.7.3.2.1.2 - Aquífero Hematitas Compactas:

A segunda unidade aquífera de importância dentro do Sistema Hidrogeológico Carajás é constituída de hematitas compactas. Trata-se de uma unidade aquífera com características de porosidade fissural, em que os seus sistemas de descontinuidades determinam a circulação de água. Não obstante, de maneira subordinada, podem-se notar poros que conferem certo grau de porosidade primária. Esta unidade possui uma relativa elevada condutividade hidráulica e baixo coeficiente de armazenamento.

9.1.7.3.2.1.3 - Aquífero Jaspilitos:

A terceira unidade presente no Sistema Hidrogeológico Carajás se refere aos jaspilitos. Tais jaspilitos se caracterizam por serem maciços e, via de regra, pouco fraturados. Trata-se de aquífero fissural por excelência, mas devido ao baixo grau de descontinuidades presentes, o mesmo pode se comportar como aguitarrado em alguns locais dentro da formação ferrífera. Ocorre principalmente na base da formação ferrífera ou como lentes irregularmente distribuídas dentro das hematitas friáveis, podendo constituir barreiras hidráulicas secundárias.

9.1.7.3.2.2 - Unidade Hidrogeológica de Cobertura

O Sistema Hidrogeológico de Cobertura é constituído pelas extensas e delgadas coberturas de cangas lateríticas, de natureza eluvial e coluvial e de idade cenozóica, que recobrem todos os platôs da Serra dos Carajás. Constituem camadas de até 5 m de espessura, as quais cobrem indistintamente todas as unidades estratigráficas presentes. Vale ressaltar que incluídos nesse sistema encontram-se os depósitos de fluxo gravitacional nas encostas exteriores aos platôs da Serra Norte.



Esse sistema hidrogeológico, por sua natureza detrítica, constitui-se essencialmente em uma unidade aquífera de porosidade intersticial. No entanto, em determinadas porções pode apresentar comportamento de aquíferos ou aquíclides. Essas coberturas possuem uma função vital para o funcionamento dos sistemas hidrogeológicos existentes, pois possibilitam a recarga para os mesmos, ao controlar a taxa de infiltração. Constitui-se, via de regra, por um material com fragmentos das rochas subjacentes, cimentados por hidróxidos de ferro.

9.1.7.3.2.2.1 - Aquífero em Canga de Minério:

As cangas de minério apresentam grande quantidade de vazios, tratando-se de um material muito permeável, constituído de fragmentos de hematitas de diversas dimensões cimentados por hidróxidos de ferro. Observa-se, na época chuvosa, que esse sistema sustenta um importante escoamento hipodérmico, persistente por todo esse período, o que atesta a sua grande capacidade de absorção de água. Ocorrem normalmente “*in situ*” sobre a formação ferrífera, mas pode avançar sobre esses limites, com pequeno transporte de fragmentos que mascara o contato com as rochas básicas encaixantes.

9.1.7.3.2.2.2 - Aquífero/Aquíclide em Cangas Químicas:

Nas áreas de domínio das rochas metabásicas, as cangas são constituídas por concreções lateríticas cimentadas essencialmente por material argiloso denominadas por “cangas químicas”, de modo que nessas áreas a sua condutividade hidráulica é bem inferior às cangas de minério.

9.1.7.3.2.2.3 - Aquíferos em Depósitos de Fluxo Gravitacional:

Os Depósitos de Fluxo Gravitacional ocorrem nas encostas de altas declividades que descem a partir das bordas dos platôs, como talus e colúvios que recobrem grande parte dessas encostas e que obliteram o contato entre o minério e os sistemas aquíferos constituídos pelos basaltos de base e topo da sequência litoestratigráfica regional. Tais depósitos impedem uma melhor visualização das surgências de água ao longo desse contato. Em geral, dão origem a fluxos intermitentes, devido a sua forma e volume, bem como devido à declividade das encostas.

9.1.7.3.2.3 - Unidade Hidrogeológica Parauapebas/Igarapé Cigarra

Esse sistema compreende as formações homônimas e constitui-se por espessa sequência de derrames basálticos na base da formação ferrífera. Trata-se de um sistema hidrogeológico constituído, em geral, por rochas de baixa condutividade hidráulica, no qual pode-se identificar duas unidades principais: aquíclides em basaltos decompostos e aquíferos e aquífugos em basaltos sãos.



9.1.7.3.2.3.1 - Aquicludes em Basaltos Decompostos:

Ocorrem próximos à superfície, na zona de alteração da rocha, cujas maiores espessuras são encontradas no contato com o Sistema Hidrogeológico Carajás. Devido à sua constituição mineralógica, o produto de sua alteração é formado essencialmente por argilo-minerais.

Dessa maneira, esta unidade possui características de aquíclude, com muita baixa permeabilidade. Costuma ocorrer em toda a província de Carajás uma delgada “camada” de rocha máfica decomposta na zona de contato entre a formação ferrífera e a Formação Parauapebas, o que determina um forte contraste hidrodinâmico entre ambas, definindo uma baixa conexão hidráulica ao longo desse contato.

9.1.7.3.2.3.2 - Aquitardos/Aquicludes em Basaltos Sãos

Os basaltos são podem ser classificados tanto como aquíardos ou como aquícludes, dependendo da presença de descontinuidades ou não, uma vez que a circulação de água nessas rochas se faz por meio das mesmas. Em geral, essas rochas exibem diversos sistemas de descontinuidades, mas com baixa interconexão, o que confere a essa unidade uma baixa condutividade hidráulica.

Excepcionalmente, ao longo de faixas cisalhadas coincidentes com os principais falhamentos, podem-se desenvolver zonas aquíferas estreitas e alongadas, que possuem melhor capacidade de condução de água subterrânea. Foram constatados raros pontos de conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Parauapebas e Carajás ao longo de zonas de cisalhamento, com a presença de restituição de água do sistema Carajás no fundo de vales dominados por rochas básicas do Sistema Parauapebas.

9.1.7.4 - Qualidade das Águas

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de agrupamentos humanos, animais e equilíbrio dos ecossistemas. Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas, onde se destacam: o abastecimento público e industrial, irrigação agrícola, produção de energia elétrica, atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática. Tendo em vista o papel primordial que os recursos hídricos desempenham e considerando o grau de interferência ao qual estão sujeitos, é fundamental a caracterização da qualidade desses. Dessa forma, este item contempla o diagnóstico da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área de estudo regional e local do Projeto N1 e N2.

9.1.7.4.1 - Metodologias

9.1.7.4.1.1 - Dados Regionais

Para a verificação da qualidade da água superficial da área de estudo regional foi realizado o levantamento dos pontos de monitoramento da qualidade da água realizados trimestralmente pela VALE no âmbito da área de estudo regional de 2010 a 2018. Dentre o banco de dados, foram selecionados 20 pontos que representam o ambiente regional em relação à qualidade da água (Quadro 9.1.7-4 e Figura 9.1.7-19).

