

# Nascentes no estado do Paraná: um ponto de vista pedológico e suas interações

16

Gustavo Ribas Curcio

Engenheiro agrônomo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas

Annette Bonnet

Bióloga, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas

## INTRODUÇÃO

A nascente é um elemento de extrema importância para a sociedade humana e para o meio ambiente, sendo sua preservação necessária e inquestionável.

Trata-se do local onde a água subterrânea aflora através da superfície do solo, formando um curso de água (PINTO et al., 2004).

Embora sua conceituação envolva certo grau de imprecisão e subjetividade (FELIPPE, MAGALHÃES JR., 2013), a análise técnica rigorosa sobre sua dinâmica abrange diferentes temáticas do conhecimento (hidrologia, geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetacional etc.), sobretudo de forma sistêmica.

O perfeito entendimento de sua dinâmica e o exato reconhecimento de sua inserção dentro dos distintos ambientes é fundamental, pois, em última análise, nas nascentes de vazão perene é onde se iniciam todos os processos relacionados aos ambientes fluviais também de caráter permanente.

A discussão referente à preservação e recuperação de nascentes, tão pertinente e atual, é dotada de elementos muito específicos, haja vista que estes se encontram inseridos em contextos climáticos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos muito distintos, acobertados por diferentes fitotipias (unidades fitogeográficas), de natureza campestre ou florestal, condições que determinam performances de elevada peculiaridade. Ademais, o contexto rural, com seus sistemas de produção plurais, essenciais à continuidade do desenvolvimento sustentável (DONADIO et al., 2005; ALBUQUERQUE,

SILVA, 2008), muitas vezes determina alterações que minimizam funcionalidades primárias dos ambientes vizinhos às nascentes, cruciais para a perfeita funcionalidade hidrológica. Entre essas funcionalidades, pode ser citada a recarga hidrológica, processo dependente da porosidade contínua presente em solos e rochas que se situam a montante da nascente. A recarga é vital para o ciclo hidrológico e as características da cobertura vegetal e relevo interferem diretamente nesse processo (BORGHETTI et al., 2004), assim como os tipos e usos dos solos.

Os fortes embates técnicos que ocorreram recentemente no cerne da sociedade brasileira para o estabelecimento da Lei n. 12.651/2012, o novo Código Florestal (BRASIL, 2012), despertaram interesses técnico-políticos que sobrelevaram ainda mais a necessidade de tratar o assunto com maior rigor técnico-científico (CURCIO et al., 2010).

Evidentemente que, sob a ótica jurídica e em âmbito nacional, fica muito difícil estabelecer a área de circunscrição exata que atenda aos parâmetros técnicos ideais para o perfeito exercício funcional das Áreas de Preservação Permanente (APP) (BRASIL, 2012), garantindo, assim, a proteção das nascentes. Essa dificuldade deve-se à gigantesca dimensão territorial brasileira, a qual compreende diversidades bióticas e abióticas muito distintas, assim como a multiplicidade de sistemas produtivos que ladeiam as áreas de nascentes. Assim, a Lei n. 12.652/2012, de forma simplificada, propôs o limite de 50 metros ao entorno da nascente a fim de garantir sua proteção, incorrendo em um grau de generalização que muitas vezes colide com as reais necessidades funcionais. Para garantir maior proteção, seria muito mais sensato os estados, e não o governo federal, legislarem sobre a questão da proteção das APP (SODRÉ, 2013), sustentando assim maior legitimidade das proteções de acordo com as mudanças ambientais dentro do próprio território.

Portanto, a proteção rigorosa das funcionalidades das nascentes transcende o cumprimento das normas legislativas, clamando muito mais por direcionamentos operacionais técnicos de natureza interdependente, que possam contemplar aspectos relacionados a clima, solo, relevo e vegetação, além de elementos sociais, econômicos e culturais, todos voltados à permanência das funções hidrológicas, tanto em quantidade como em qualidade.

Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo apresentar dados, propor e discutir o tema nascentes do ponto de vista pedológico e, de forma contextual, abordar pontos de vista que possam, principalmente, caracterizar sua inserção na paisagem, mencionando funcionalidades e interações quanto à dinâmica dos ambientes que as circunscrevem, citando alguns exemplos em áreas com intenso uso dos solos para o estado do Paraná.

## DISCUSSÃO

### Nomenclatura

As denominações de nascentes no Paraná são muito amplas, envolvendo expressões populares consagradas como manancial, olho d'água e surgência hídrica (UHLMANN et al., 2011), embora também sejam utilizadas outras nomenclaturas como fonte (ROSA FILHO et al., 2010), nascedouro, mina de água, dentre outras. Em todas as regiões paranaenses essas denominações são muito usuais, além do termo cabeceira de drenagem, o qual envolve certo grau de relatividade pelo fato de o termo também fazer referência aos ambientes laterais que contornam as nascentes.

No que tange às esferas técnicas, além da palavra nascente, recorrentemente empregada, também é utilizada a denominação surgência hídrica (FITTS, 2015), a qual tem forte correspondência com o surgimento de fluxos hídricos de horizontes superficiais/subsuperficiais de solos, ou mesmo da própria rocha, ou seja, é o local onde a água subterrânea vem para a superfície do solo. Esse fluxo de água pode vir de forma contínua, caracterizando o grupo das nascentes perenes para o qual o Código Florestal brasileiro (BRASIL, 2012) exige uma série de medidas de proteção. Mas a surgência dos fluxos também pode ocorrer de forma descontínua – nascentes intermitentes e temporárias ou efêmeras. As nascentes intermitentes são efetivas dentro das estações mais chuvosas, enquanto as efêmeras têm menor durabilidade dos fluxos, existindo somente após eventos de precipitação. Essas últimas têm sua ocorrência atrelada principalmente a áreas em que é expressiva a ocorrência de solos com pequena espessura – Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, além de solos com caráter léptico – presença da rocha fracamente alterada ou mesmo não alterada entre 50 e 100 cm de profundidade. Evidentemente, a proteção das três categorias de nascentes (perenes, intermitentes e efêmeras) tornaria praticamente inviável a condução dos sistemas produtivos nas paisagens, uma vez que as áreas de APP em torno dos pontos com afloramento de água seriam vastas e sua sustentação, inexequível para o meio rural.

### Proteção legal e inserção das nascentes na paisagem

Sob o ponto de vista legislativo, mais especificamente para o Código Florestal brasileiro (BRASIL, 2012), a nascente tem sua proteção instituída no conceito de Área de Preservação Permanente (APP), nomenclatura que, independentemente da fitotipia ou mesmo das condições de conservação do

local, assume conotação de territorialidade, envolvendo todos os ambientes circundantes à nascente e que se encontram dentro dos limites de 50 metros a partir da surgência hídrica.

Assim, nessa área de aproximadamente 0,78 hectare encontram-se elementos importantes que tornam a preservação da APP de nascente primordial, sobretudo quando se tem em conta as plurais funcionalidades ecológicas presentes (FRANCO, 2005). Entre essas funcionalidades, evidenciam-se a recarga e a descarga hidrológica, além de outras funções, como manutenção de diversidade de flora e fauna, imobilização de carbono e óxido nitroso, entre outras que serão comentadas mais adiante neste capítulo.

Convém salientar que algumas funções da APP de nascentes, sobretudo suas intensidades, são variáveis, o que se justifica em razão das diferenças ambientais definidas pelos meios físico e biológico. Desse modo, é importante ter sempre em mente que a avaliação dos tipos e intensidades funcionais da APP devem ser balizadas pelas interdependências das características climáticas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e vegetacionais. Complementando as possíveis variações a que as nascentes estão sujeitas, devem-se considerar as condições ambientais de seu entorno, inclusive das rampas a montante e suas particularidades.

No Paraná, a minoria das nascentes e respectivas APP ainda se encontra circundada por ambientes naturais, enquanto a grande maioria está bordejada pelos mais diversos sistemas produtivos – soja, milho, feijão etc.

Para as áreas produtivas que ladeiam as APP de nascentes, é fundamental estabelecer manejos de solos que visem à manutenção de elevadas porosidades considerando, inclusive, a relação de macro e microporos, garantindo, assim, taxas de infiltração condizentes.

Nas áreas que constituem as APP, preconiza-se a manutenção da cobertura vegetal em adequado estado de conservação, fato comentado por Ahrens (2008), ou mesmo sua recuperação quando necessário, pois a vegetação poderá garantir menores taxas de escorrimento superficial e, assim, minimizar o carreamento de sedimentos e solutos para a zona de descarga hidrológica.

Infelizmente, no estado do Paraná, assim como em outros estados, é comum se deparar com sistemas produtivos mal manejados, com foco voltado aos rendimentos econômicos e ao aumento das áreas de produção, desconsiderando a proteção dos recursos hídricos. Assim, determina-se forte pressão sobre as APP e, consequentemente, sobre as nascentes (UHLMANN et al., 2011). Por exemplo, a retirada da floresta minimiza drasticamente a “rugosidade superficial” da encosta diminuindo a infiltração dos fluxos hídricos, mormente quando essa ação é sucedida pela instalação de sistemas

produtivos que promovem a compactação dos solos nas áreas a montante. Com a baixa infiltração, ocorre diminuição da recarga hidrológica favorecendo o escorrimento superficial, que, dependendo da intensidade, carreia sedimentos e outros componentes para a zona de surgência, afetando em quantidade e qualidade o processo de descarga hídrica. Em outras palavras, as condições de uso e manejo dos solos circunvizinhos à nascente afetam diretamente seu potencial funcional (CURCIO et al., 2011).

Nesse sentido, antes de discutir as funcionalidades da nascente e da própria APP, é recomendável caracterizá-las, bem como as paisagens em que se encontram incluídas. Além da caracterização, é importante atentar para a detecção de elementos ou processos que difiram entre si, ou que possam estar alterados a ponto de provocar mudanças funcionais, como alterações expressivas na porosidade dos solos em decorrência da compactação. Em suma, a proteção e/ou recuperação da surgência e respectivo ambiente circundante deve ter sempre um foco interdependente, o qual considere o território estabelecido pela APP de nascente e os ambientes circunvizinhos, especialmente os que se encontram em condição de remonte erosivo longitudinal de nascente para as questões hidrológicas.

## Caracterização de nascentes

De forma simples, as nascentes podem ser classificadas quanto à origem e quanto à vazão (VALENTE, GOMES, 2011). Segundo os autores, quanto à origem, podem ser formadas por lençóis freáticos (depositados sobre camadas impermeáveis) ou artesianos (confinados entre camadas impermeáveis) e, quanto à vazão, as nascentes podem ser perenes, intermitentes e temporárias ou efêmeras.

Neste capítulo, o foco são as nascentes perenes tendo em vista as condições climáticas presentes no estado, as quais tornam possível a existência de densa malha de rios e nascentes de fluxo contínuo. Não obstante, é necessário que se observem outras formas de classificação das nascentes, sobretudo as que consideram sua inserção na paisagem, a fim de auxiliar no reconhecimento das distintas fragilidades desses ambientes.

Nesse sentido, Uhlmann et al. (2011) fizeram uma proposição de subdivisão em coerência à ótica geomorfológica, considerando intrinsecamente os tipos de solos e seus atributos. Os mencionados autores subdividiram as cabeceiras em esculturais e estruturais. As primeiras caracterizam-se por formas predominantemente radiais, em domínio absoluto de relevos suave-ondulados, dispostos em feições côncavas-convergentes. Sob o ponto de vista pedológico,

segundo os autores, as porções mais distantes da surgência são circundadas por solos mais evoluídos, portanto profundos e de elevada estabilidade, a exemplo, Latossolos Vermelhos. Imediatamente subjacente, portanto mais próximo da nascente, observa-se a presença de solos semi-hidromórficos, Cambissolos Flúvicos com caráter gleissólico e/ou petroplítico. Por fim, circundando as nascentes propriamente ditas, têm-se os Gleissolos.

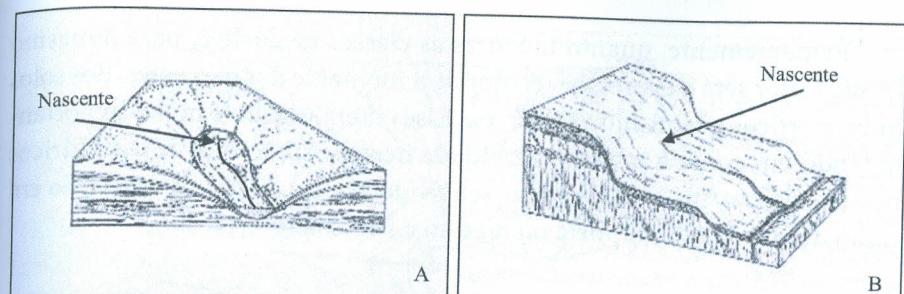
As cabeceiras estruturais estão inseridas em relevos mais movimentados, com amplo domínio das classes ondulado e forte-ondulado, harmonizados em feições convexas-convergentes, ou seja, diferem das esculturais pela maior dissecação da paisagem, exibindo conformações mais facilmente correlacionáveis às estruturas geológicas (UHLMANN et al., 2011). A combinação de solos mais rasos em relevos mais movimentados, em relação à cabeceira esculptural, também determina maior grau de fragilidade.

## Conformação das paisagens de nascentes

As nascentes encontram-se distribuídas em uma grande diversidade de paisagens, sendo praticamente impossível retratar com fidelidade todas as feições geomórficas detentoras de nascentes existentes no estado. Essa ampla heterogeneidade está, principalmente, relacionada às interações entre distintos climas e geologias, conjugados com respectivos lineamentos geológicos.

No entanto, com a finalidade de tornar mais didática a discussão sobre as características ambientais das nascentes e seus entornos, sobretudo quanto à constituição pedológica e respectivos regimes hídricos (hidromórfico, semi-hidromórfico e não hidromórfico), pode-se admitir a seguinte simplificação: nascentes inseridas em paisagens constituídas por relevos convexados de baixa declividade e em relevos patamarizados com alta declividade (Figuras 1A e B), condições encontradas em paisagens elaboradas sobre rochas eruptivas do Grupo São Bento – Formação Serra Geral (3º planalto paranaense).

O motivo dessa subdivisão são os regimes hídricos dos solos que constituem o entorno das nascentes, os quais determinam funcionalidades distintas e, consequentemente, devem ser tratados tecnicamente de maneira diferenciada. Assim, como exemplo, nos relevos convexados derivados de rochas eruptivas da Bacia Hidrográfica Paraná III, é comum encontrar surgências hídricas inseridas em ambientes com Organossolos Háplicos e Gleissolos Melânicos. Nos relevos patamarizados da região é comum deparar-se com as surgências em paisagens constituídas por Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos. Deve-se considerar que as vazões das surgências hídricas dos ambientes convexados são muito superiores às dos relevos patamarizados, pois

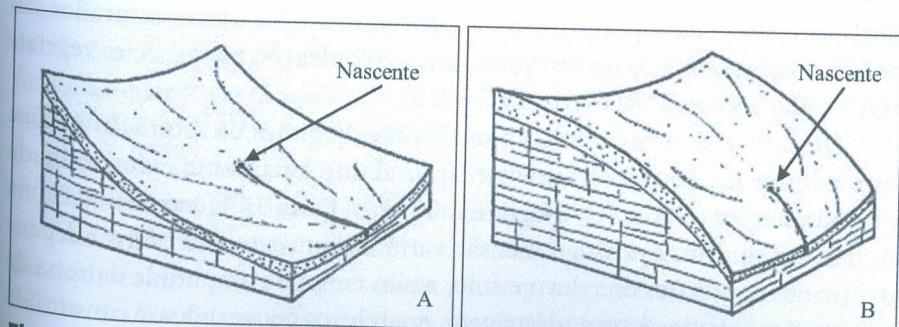


**Figura 1** A: nascente em relevo convexado com baixos declives. B: nascente em relevo patamarizado com alta declividade.

nos primeiros há a presença dos Latossolos como elementos de recarga hidrológica, enquanto nos patamarizados são encontrados os Neossolos Regolíticos e Litólicos. As pequenas espessuras dos Neossolos diante daquelas encontradas nos Latossolos – solos muito profundos –, são responsáveis por menores volumes de recargas hidrológicas.

Todavia, é difícil indicar uma classe de declive que diferencie essas duas grandes paisagens e os solos constituintes, pois outras variáveis interferem na presença da hidromorfia dos solos do entorno, direta ou indiretamente, como espessura e textura, além de características das próprias rochas, como grau de porosidade, grau de maciez etc.

Em geral, independentemente da classe de declive (alta ou baixa), pode-se afirmar que é comum a presença de nascentes em paisagens com conformações geomórficas que implicam a convergência dos fluxos hídricos. Dessa maneira, a forma de rampa mais comum em que se pode observar a presença de nascentes é a côncava-convergente (Figura 2A), embora existam outras formas onde a ocorrência é usual, como na convessa-convergente (Figura 2B).



**Figura 2** Nascentes em diferentes formas de rampa. A: côncava-convergente. B: convexa-convergente.

Evidentemente, quanto menores as classes de declive, para o mesmo clima, maior será a expressão territorial, a montante das nascentes, dos solos hidromórficos e semi-hidromórficos. Esse entendimento é muito importante tendo em conta a menor capacidade de depuração dos fluxos hídricos nesses solos, assim como a maior seletividade à ocupação da vegetação em razão dos regimes de hipoxia ou mesmo de anoxia nos solos.

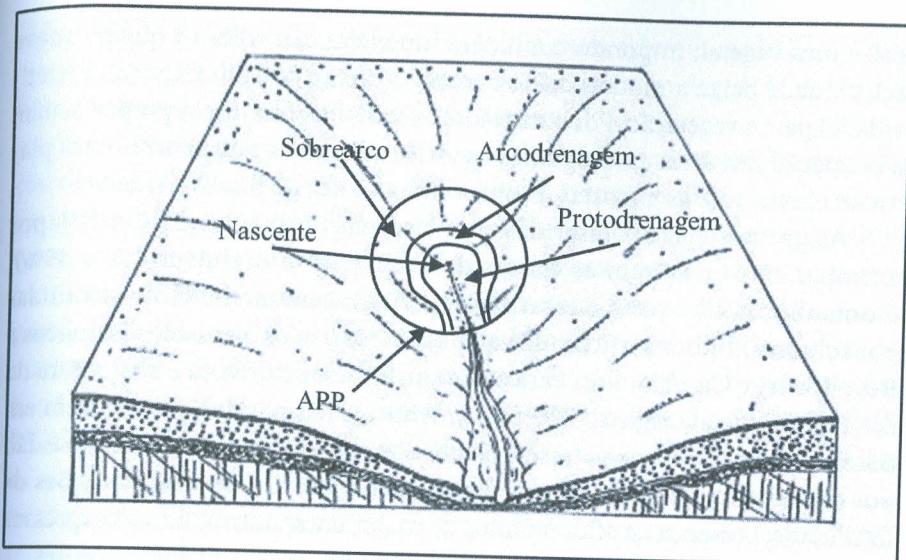
## Segmentação de nascentes

Para uma plena compreensão técnica da dinâmica ambiental, muitas vezes é necessário fazer uma prévia compartimentação, com estabelecimento das respectivas especificidades funcionais de cada subambiente para, finalmente, traçar as interdependências dos processos ali ocorrentes.

A região das nascentes, hoje enquadrada como APP e delimitada em 50 metros a partir da surgência pelo Código Florestal brasileiro (Lei n. 12.651/2012), não é diferente e pode ser subdividida em razão de suas principais características. Curcio e Bonnet (2019) subdividiram a referida região em três segmentos, coerentes aos processos de descarga e recarga hidrológica predominantes, tendo como elementos-chave os tipos de solos, mas especificamente seus distintos regimes de saturação hídrica (hidromórfico, semi-hidromórfico e não hidromórfico). Essa subdivisão foi criada em decorrência da relação entre as características hidromórficas do solo e as condições anaeróbicas decorrentes da saturação dos poros do solo por água (VEBRASKAS, LINDBO, 2012).

A segmentação consoante aos distintos regimes de saturação hídrica dos solos é oportuna, pois possibilita o entendimento do processo de depuração dos fluxos hídricos, assim como justifica diferentes níveis de seletividade na ocupação dos solos pela vegetação, independentemente se herbácea, arbustiva ou arbórea, de acordo com os níveis de oxigênio disponíveis nos solos. Deve-se ter em conta que os regimes hídricos saturados e semissaturados são condicionantes básicos na restrição para a colonização por espécies vegetais (CURCIO, 2006a; BARDDAL et al., 2016).

Dessa forma, de acordo com os distintos regimes de saturação hídrica dos solos, a região imediatamente circundante à nascente é denominada protodrenagem (CURCIO, BONNET, 2019 – Figura 3). É considerada zona de descarga hídrica e possui dimensão variável, com extensão e forma dependentes das condições de relevo e solo, assim como da amplitude da zona de recarga a montante. A protodrenagem, em relevos convexados, é constituída por solos essencialmente hidromórficos. No Paraná, são raras as ocasiões em que as surgências se manifestam diretamente de pontos com rochas.



**Figura 3** Região da nascente e sua segmentação – protodrenagem, arcodrenagem e sobrearco e limite de 50 m da APP.

Nas protodrenagens edificadas em paisagens côncavas-convergentes (Figura 2A), com relevos mais suaves, há o predomínio dos Gleissolos (Háplicos e Melânicos), os quais apresentam características evidentes de redução, condição privilegiada em razão do acúmulo de água (KÄMPF, CURI, 2000; VEBRASKAS, LINDBO, 2012). Segundo Santos et al. (2013), os solos citados são minerais e constituídos por horizonte glei dentro dos primeiros 50 centímetros da superfície do solo. Em ambientes praticamente planos podem ocorrer Organossolos, volumes que possuem acúmulo de material orgânico igual ou acima de 80 g kg<sup>-1</sup> avaliado na fração terra fina seca ao ar (TFSA), além de apresentarem horizontes hísticos (SANTOS et al., 2013). Ambas as condições, acúmulo de material orgânico ou presença de feições redoximórficas, são quesitos essenciais para caracterizar condições de hidromorfia nos solos (VEBRASKAS, LINDBO, 2012).

Por estar situada ao redor da surgência hídrica, sobretudo por ser constituída por solos hidromórficos, a protodrenagem é a área de maior fragilidade no entorno da surgência hídrica. Isso se justifica pela constante saturação hídrica dos solos ali presentes, onde praticamente não se verifica a infiltração dos fluxos superficiais, o que facilita a contaminação direta por soluções contaminantes provenientes da encosta a montante. Além disso, a saturação hídrica dos solos determina especificidade de ocupação para a

cobertura vegetal, impondo condições hipóxicas dos solos (o que promove seletividade baixa a moderada de espécies vegetais) ou anóxicas (alta seletividade) para a vegetação. Por outro lado, os solos hidromórficos proporcionam a ocupação das áreas por algumas espécies adaptadas que ocorrem nas planícies aluviais até as encostas, promovendo nichos de biodiversidade.

As protodrenagens inseridas em paisagens declivosas (Figura 1B), por exemplo, onde ocorrem as classes de declive forte-ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 70%) e escarpado (> 70%), geralmente são constituídas por solos não hidromórficos, dos quais sobressaem os Neossolos (Litólicos e Regolíticos) e Cambissolos. Para essas condições, a florística e a estrutura da cobertura vegetal original são praticamente as mesmas das que ocorrem em outras porções da encosta. Caso existam diferenças, estas seguramente se dão por outras características, como alterações no volume de solo, variações de fertilidade, presença de afloramentos de rocha, entre outros, fatores expressos comumente nas encostas, independentemente da presença das nascentes.

A arcodrenagem estende-se à volta da protodrenagem, ou seja, imediatamente a montante dos solos hidromórficos (Figura 3), e é composta por solos semi-hidromórficos (CURCIO, BONNET, 2019). Essa denominação provém exatamente da ocupação do território em forma de arco por parte dos solos semi-hidromórficos. Os solos constituintes desse segmento possuem horizonte glei entre 50 e 100 centímetros de profundidade, condição que proporciona a possibilidade de maior infiltração dos fluxos superficiais provenientes da encosta, assim como maiores possibilidades de troca gasosa pelas raízes da vegetação, principalmente dentro dos primeiros cinquenta centímetros de solo. Portanto, em relação à protodrenagem, alteram-se algumas características essenciais no entorno das nascentes, ou seja, amplia-se o “potencial filtro” dos solos, bem como diminui a seletividade para a ocupação por parte da cobertura vegetal, circunstâncias que acentuam a importância funcional desse segmento.

Deve-se ressaltar que, em períodos de elevada precipitação, quando se verifica a ascensão do lençol freático, os solos desse segmento podem se apresentar temporariamente saturados. Por esse motivo, para o caso das ações voltadas à recuperação de nascentes, deve-se ter a preocupação de planejar o plantio de espécies com alguma resistência temporária à saturação hídrica, ampliando as chances de sobrevivência das mudas.

Assim como na protodrenagem, a extensão e forma territorial do arcodrenagem depende diretamente das características da encosta – forma, declive e comprimento –, além dos atributos dos solos. Quando houver ocorrência de Organossolo Háplico na protodrenagem, a área ocupada pelo

segmento de arcodrenagem terá sua máxima expressão em razão da elevada retenção de água desses solos, minimizando, inclusive, a velocidade dos fluxos hídricos subsuperficiais laterais de montante.

Existem algumas nascentes no estado do Paraná, por exemplo, em posição de reverso de *cuesta* (*cuesta* devoniana – transição do primeiro para o segundo planalto e *cuesta* Serra Geral – do segundo para terceiro planalto), onde a extensão territorial dos solos hidromórficos, somada aos semi-hidromórficos, resulta em áreas com dimensões bem elevadas. Assim, as áreas de protodrenagem e arcodrenagem agrupadas ultrapassam os limites de 50 metros estabelecidos para APP de nascentes, fato preocupante pela possibilidade de contaminação por agrotóxicos dos sistemas de produção (LAVORENTI et al., 2000), ou mesmo pelo manejo inadequado com adubos, sejam de natureza mineral ou resíduos orgânicos. As águas de escoamento agrícola muitas vezes possuem teores de nitrogênio, fósforo e agrotóxicos que acometem tanto águas superficiais como águas subterrâneas (ANA, 2011). Ao encontro dessa informação, deve-se levar em consideração que solos hidromórficos, quando se encontram hidricamente saturados, determinam o escoamento superficial dos fluxos, eliminando praticamente a capacidade de filtro do solo estabelecendo, consequentemente, elevado potencial de contaminação.

Como se sabe, a maioria dos fertilizantes nitrogenados comumente utilizados na agricultura são solúveis em água (CANTARELLA, 2007). Nesse sentido, a presença de nitrato, altamente solúvel, pode constituir um risco para a saúde humana, assim como a existência de fosfato, elemento presente em adubos, nos cursos d’água, que pode ter um efeito devastador para a ecologia aquática (BAIRD, 2002).

Os resíduos orgânicos usados nos sistemas de produção possibilitam diversos benefícios, todavia apresentam potencial poluidor, o que exige, portanto, prudência para evitar sua entrada nos corpos d’água, evitando-se, assim, a inserção de compostos tóxicos ou patógenos na cadeia alimentar (ABREU JUNIOR et al., 2005).

Finalmente, contornando a área dos solos semi-hidromórficos (arcodrenagem) tem-se o sobrearco (CURCIO: BONNET, 2019 – Figura 3), constituído essencialmente por solos não hidromórficos. Em virtude do maior afastamento da urgência hídrica, os solos do sobrearco apresentam boas condições de drenagem, possibilitando maiores níveis de infiltração dos fluxos hídricos superficiais, além de proporcionar maiores condições para a disponibilização de oxigênio para as raízes das plantas, o que incorre em plena possibilidade de colonização pela flora. Ao encontro dessa afirmação,

Pinto et al. (2005) verificaram padrão de distribuição espacial diferenciado das espécies, retratando especificidade de ocupação por espécies arbóreas-arbustivas em ambientes que circundam as nascentes.

Consoante à maior profundidade do lençol freático em relação aos dois segmentos anteriores, encontra-se no sobrearco o mais alto grau de “potencial filtro” do solo dentro da APP, determinando uma importante função na recarga hidrológica, qual seja, a de depurar os fluxos hídricos subsuperficiais, proporcionando maior qualidade à descarga hídrica.

Pelo ponto de vista vegetacional, as condições aeróbicas presentes nos solos do sobrearco determinam o fim da seletividade estabelecida pelos segmentos anteriores, ou seja, a cobertura vegetal tem as mesmas condições de solo existentes no restante da encosta. Assim sendo, com o afastamento gradual da surgência hídrica, estabelece-se um gradiente decrescente de hidromorfia nos solos circundantes, os quais propiciam mudanças quanto às espécies e suas adaptações em relação ao nível de saturação hídrica dos solos, conferindo maior biodiversidade à vegetação das APP de nascentes. Autores como Durigan et al. (2000) e Lobo e Joly (2000) comentam sobre as mudanças ocorridas na flora dos ambientes fluviais, em coerência à maior ou menor presença de água no solo, destacando a importância dessa característica de hidromorfia para estudos diagnósticos e projetos de recuperação.

Vale ressaltar que, pelo estado precário de conservação de algumas APP de nascentes (ANDRADE, 2010), tanto no Paraná quanto em outros estados, algumas funções ecológicas desses ambientes não são exercidas de forma plena, impondo-se a necessidade de planejamento de ações específicas de recuperação. Dessa forma, muitas vezes é provável que a recuperação da nascente implique combinações de práticas dentro da área e no entorno da APP simultaneamente, com o propósito de restabelecer infiltração, rugosidade superficial e “potencial filtro” dos solos, além de diversidade e conectividade das manchas de vegetação nativa, associando funcionalidades.

Para os sistemas de produção que circundam a zona de APP, o ideal é que suas distribuições espaciais na propriedade rural, bem como suas respectivas infraestruturas, sejam planejadas com a finalidade de diminuir os impactos sobre a nascente (CALHEIROS et al., 2004).

## Solos e a inserção de nascentes

O solo é um dos elementos mais importantes e variantes dentro e em torno das APP. Sob esse ponto de vista, há de se considerar também a grande heterogeneidade pedológica do Paraná, variação esta, sobretudo, devida à

combinação das diversidades climáticas, geológicas e geomorfológicas do estado (EMBRAPA, 1984).

No terceiro planalto paranaense, por exemplo, em alto nível abstracional, existem três grandes ambientes – regiões oeste, noroeste e norte – distintos de acordo com as heranças litotípicas, uma vez que se encontram praticamente sob o mesmo clima e sob a mesma cobertura vegetacional. Na região noroeste observam-se paisagens relacionadas às rochas areníticas (Formação Caiuá), enquanto no oeste e norte estão os ambientes derivados das rochas eruptivas (Formação Serra Geral), respectivamente, dos períodos Cretáceo e Juro-Cretáceo (MINEROPAR, 2001).

Para um mesmo clima, rochas areníticas e rochas eruptivas geram solos muito distintos, com variações expressivas no que se refere ao complexo sortivo (saturação por bases, capacidade de troca catiônica etc.), nas características granulométricas (especialmente os teores de argila) e suas implicações nas propriedades físico-hídricas (p. ex., condutividade hidráulica). Essas distinções, naturalmente, também conferem discrepâncias aos ambientes das nascentes.

No entanto, mais do que comparar fragilidades das nascentes e das respectivas APP entre ambientes originados de rochas distintas, há de se evidenciar as diferenças ambientais dentro de uma mesma litotipia, marcadas por distinções dos solos e respectivos relevos, os quais incorrem em abordagens técnicas específicas visando à proteção/recuperação desses ambientes.

Como exemplo, podem ser citadas as variações na geomorfologia existentes nas rochas eruptivas da Formação Serra Geral, oeste e norte do Paraná, onde se identificam, genericamente, as províncias geomorfológicas convexada e patamarizada (CURCIO et al., 2011). Nas províncias convexadas do subplanalto de Cascavel (Bacia Hidrográfica Paraná III) há o predomínio de solos profundos, bem drenados e argilosos, como os Latossolos Vermelhos, os quais estão posicionados nos terços superior e médio de grandes rampas. Na porção inferior dessas mesmas rampas, em relevo ondulado, verifica-se a presença dos Nitossolos Vermelhos, também profundos, argilosos e bem drenados.

Ambos os pedons, Latossolos e Nitossolos, para condições naturais, possuem grande potencial de recarga hidrológica. Em razão de suas grandes espessuras, bem como suas amplas territorialidades, determinam longos tempos de descarga hídrica para as nascentes. Estas se encontram ao final das rampas, em posição de terço inferior, em relevo praticamente plano (0-3%). Na protodrenagem são comuns os solos hidromórficos, como Gleissolos (Háplicos ou Melânicos), os quais, pelo grau de saturação hídrica, configuram alta seletividade para a ocupação das espécies vegetais, sejam herbáceas, sejam

arbustivas ou arbóreas. No segmento de arcodrenagem identificam-se solos semi-hidromórficos, como os Cambissolos com caráter gleissólico, caracterizando caráter de transitividade quanto à drenagem. Somente no sobrearco se observam Cambissolos Háplicos ou mesmo Nitossolos Vermelhos, constituindo ambiente não hidromórfico.

Nas províncias patamarizadas do subplanalto do São Francisco (Bacia Hidrográfica Paraná III), onde os processos de rejuvenescimento ambiental são mais acentuados, há a exposição mais superficial dos derrames com suas respectivas características estruturais e petrográficas, impondo fortes mudanças na constituição pedossequencial (Figura 4). Na figura, verifica-se a ocorrência de solos bastante adelgaçados com textura média (Neossolos Regolíticos e Litólicos), em relevos mais vigorosos (forte-ondulado e montanhoso), alternando com Nitossolos Vermelhos de textura argilosa em relevo ondulado.

As nascentes das províncias patamarizadas são praticamente destituídas da circunvizinhança de solos hidromórficos. Ocorrem sob condições de relevo com elevada declividade, muito sujeitas ao processo erosivo, portanto, sob elevado grau de fragilidade. Assim, os processos de recarga e descarga



**Figura 4** Nascente inserida em anfiteatro de relevo patamarizado no subplanalto do São Francisco (Bacia Hidrográfica Paraná III), constituído por Neossolos Regolíticos/Lítólicos e Nitossolos Vermelhos.

hidrológica diferem muito dos ambientes convexados, incorrendo em propriedades distintas das anteriores no que se refere à proteção/recuperação de nascentes.

Nos ambientes derivados do Arenito Caiuá, na região noroeste, quando se verificam usos incompatíveis ao potencial dos solos, as possibilidades de o processo erosivo se instalar são bem maiores. Merten et al. (2016), em pesquisas relativas a perdas de solo e água no Paraná, verificaram que as perdas por erosão são bem maiores em solos com baixos teores de argila em razão da menor coesividade das partículas, fato presente em todos os solos originários do Arenito Caiuá. Além disso, uma das condições primordiais para a predisposição ao processo erosivo em paisagens próximas das nascentes é a fatal conjugação de solos com textura binária – arenosa/média e média/argilosa, algumas vezes com transição abrupta, em rampas com feições côncavas-convergentes de longa distância.

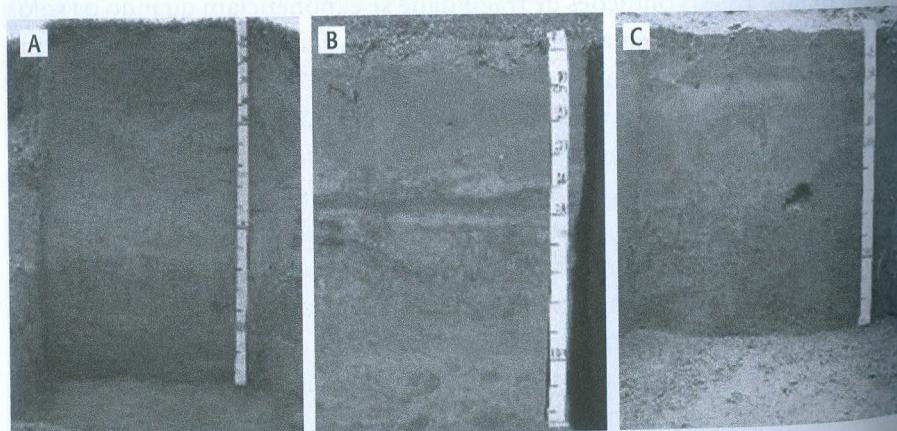
As nascentes do Arenito Caiuá, em sua maioria, encontram-se no terço inferior das encostas e estão fortemente sujeitas à erosão quando destituídas da floresta. Essa tendência natural à erosão se justifica pela combinação das feições geomórficas das encostas, predominantemente longas e onduladas, combinadas à textura arenosa dos solos que compõem essas pedossequências, sobretudo nos solos circunvizinhos às nascentes, os quais se encontram em relevos onde se verifica a convergência de fluxos hídricos superficiais e sub-superficiais. Essas condições de fragilidade se exponenciam quando os solos se encontram sob sistemas produtivos mal manejados (Figura 5), fato ainda comum dentro do estado.

No Arenito Caiuá é muito frequente identificar, em protodrenagem, os Neossolos Quartzarênicos com caráter hidromórfico, circundados por Argissolos Acinentados (arcodrenagem) e Argissolos Bruno-Acinentados e Vermelho-Amarelos no sobrearco (Figura 6), estes em ocupação territorial variável, segundo a configuração de relevo. Vale lembrar que o Neossolo Quartzarênico, por definição, é formado por horizontes que apresentam as classes texturais areia e areia franca (SANTOS et al., 2013), portanto, desprovidos de estruturas desenvolvidas que pudessem se contrapor minimamente ao processo erosivo. Complementarmente, os Argissolos dessa litotipia também possuem texturas essencialmente arenosas nos horizontes superficiais, agravando ainda mais o problema.

Outro fator importante a ser considerado, principalmente quando se trata de ambientes derivados do arenito Caiuá, é o potencial filtro dos solos que se encontram constituindo o entorno das nascentes. A grande maioria desses solos possui baixos percentuais da fração de argila, o que, somado aos



**Figura 5** Erosão severa em sulco de nascente inserida em Argissolo Acinzentado de textura arenosa/média, paisagem do Arenito Caiuá.



**Figura 6** Solos constituintes de nascentes nas paisagens elaboradas sobre o Arenito Caiuá. A: Neossolo Quartzarênico (protodrenagem). B: Argissolo Acinzentado (arcodrenagem). C: Argissolo Vermelho-Amarelo (sobrearco).

baixos teores de matéria orgânica, resulta em uma das menores capacidades de troca catiônica do Paraná (EMBRAPA, 1984). Ademais, é extremamente comum deparar-se com teores de argila decrescentes à medida que os solos se aproximam das surgências hídricas, sobretudo nos horizontes superficiais, acentuando ainda mais o problema.

Portanto, em termos de potencial filtro, pouco se pode esperar desses solos em razão de a capacidade de troca de cátions ser extremamente baixa. Em pesquisa realizada com colunas indeformadas de solos do estado do Paraná, esses solos de textura mais arenosa mostraram-se muito pouco eficientes na retenção de atrazinas, assim como para reter nitrogênio, fósforo e potássio (NEIVERTH, 2009).

Consequentemente, é de se esperar que os prognósticos e diagnósticos técnicos apontem para uma elevada fragilidade das nascentes dessa litotipia, requerendo, portanto, cuidados especiais no que se refere às ações voltadas à sua proteção/recuperação, assim como de suas APP. Os solos que circundam as nascentes no Arenito Caiuá, todos com altíssima predisponibilidade à erosão, necessitam de cuidados específicos para a proteção/recuperação das APP, sobretudo quando os Argissolos possuem caráter abrupto e este se verifica à pequena profundidade. O citado caráter, segundo Santos et al. (2013), implica expressivos aumentos nos teores de argila em pequena distância, mais especificamente na zona de transição entre os horizontes A ou E e o horizonte Bt. O acréscimo em subsuperfície no teor de argila proporciona mudanças consistentes na quantidade e no tipo de poros do solo (aumento de microporos em detrimento dos macroporos), fator que diminui a capacidade de infiltração e enseja a materialização dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais laterais, condição necessária para deflagrar os processos erosivos. Portanto, o técnico em seu planejamento das ações no Arenito Caiuá terá de considerar, além da possibilidade de ocorrer erosão, o baixo potencial filtro desses solos, além da presença de um acentuado gradiente de hidromorfia na APP.

Inúmeras outras situações são detectadas nos ambientes das nascentes do terceiro planalto paranaense. O técnico deve identificar quais são os distintos elementos e processos que possam caracterizar funcionalidades ecológicas diferenciadas.

Sob essa ótica, atenção especial deve estar voltada aos pisos altitudinais mais elevados, acima de 1.000 metros, como os planaltos de Guarapuava e Palmas, ainda no terceiro planalto paranaense. Para as citadas regiões, a presença de rochas eruptivas mais ácidas (andesitos, riolitos etc.), combinadas ao efeito de climas mais frios e úmidos, impõem evoluções pedogenéticas

distintas das demais, gerando solos mais rasos e ricos em matéria orgânica, condições que geram especificidades muito importantes no contexto de proteção/recuperação dos ambientes de nascentes.

Nos planaltos de Guarapuava e de Palmas é muito comum identificar a presença de nascentes inseridas em relevos de conformação convergente, com declividades que variam de plano (0-3%) a suave-onulado (3-8%). Embora as nascentes continuem fortemente controladas por lineamentos geológicos, apresentam constituição pedológica muito característica, com amplo predomínio dos solos hidromórficos, dentre os quais sobressaem os Organossolos Háplicos, os Gleissolos Melânicos e os Cambissolos Húmicos, respectivamente, ocupando posição de protodrenagem, arcodrenagem e sobrearco. A presença de Organossolos, muitas vezes ocupando vastas extensões territoriais, determina funcionalidades muito distintas, seja em tipo, seja em intensidade funcional para os ambientes de nascentes.

Deve-se salientar que existem porções das paisagens, normalmente de menor extensão territorial, muito semelhantes às paisagens anteriormente citadas, também com Organossolos, mas sem vinculação a lineamentos geológicos. Nesses locais também se observam acúmulos de água, porém esta não tem origem em surgências hídricas, mas sim oriunda de escorrimento superficial das encostas. Ao atingir as partes mais baixas da paisagem ocorre acúmulo hídrico em decorrência da presença dos horizontes gleis situados embaixo dos horizontes hísticos, normalmente argilosos ou argilo-siltosos, com baixíssima permeabilidade saturada (CURCIO, 2006b).

Importante destacar que Organossolos Háplicos são considerados fontes excepcionais para imobilização de gases efeito estufa (RACHWAL et al., 2014), em especial para dióxido de carbono e óxido nitroso, gases altamente deletérios à camada de ozônio (BAIRD, 2002). Ademais, pelos elevados teores de matéria orgânica, possuem a capacidade de reter grande quantidade de água (OLIVEIRA, 2001), tornando-se verdadeiras “caixas d’água” na natureza, garantindo a perenidade dos fluxos da maioria dos grandes rios paranaenses (Tibagi, Ivaí, Chopin etc.). Esse regime de saturação hídrica plena praticamente durante o ano todo determina flora específica, predominantemente herbácea e extremamente diversa (SOUZA, 2013).

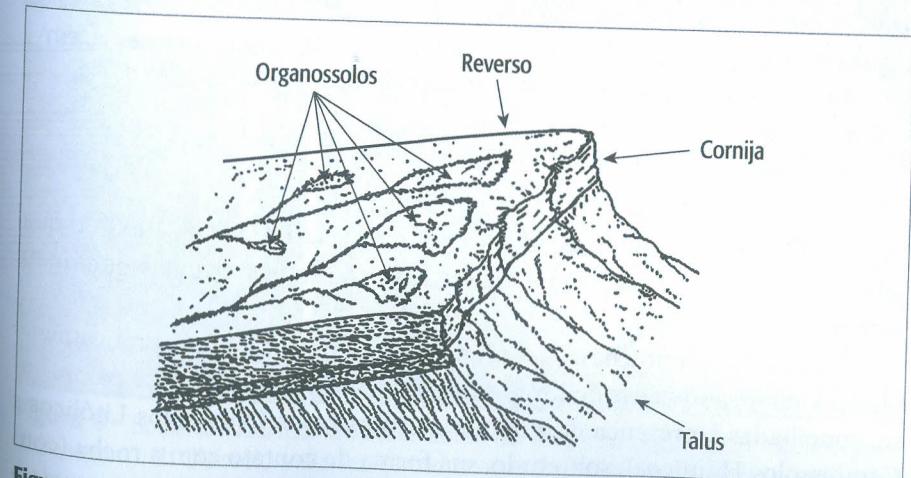
No segundo planalto paranaense também são observadas variações ambientais importantes que implicam cuidados específicos para a proteção/recuperação de nascentes e APP. Trata-se de um planalto constituído predominantemente por rochas sedimentares do Paleozóico, com origens e processos diversos (ZALÁN, 2004), onde se destacam argilitos, siltitos e arenitos, com respectivas variações de seus atributos intrínsecos (MINEROPAR, 2001).

As características desses tipos de rocha, conciliadas às variações ocorrentes durante a evolução da paisagem, com climas e unidades fitotípicas se sucedendo ao longo do tempo, acabaram por consagrar províncias pedológicas muito características, as quais colaboram para as especificidades dos processos hidrológicos.

Assim, por exemplo, nascentes e seus entornos, inseridos em ambientes de siltitos da Formação Teresina (Eo-Permiano), exibem diferenças marcantes quanto aos aspectos geomorfológicos, pedológicos e vegetacionais em relação às paisagens no arenito Furnas (Siluro-Devoniano), diferenças essas que, inclusive, conferem fragilidades diferenciadas aos dois ambientes.

Em razão da importância da bacia hidrográfica do rio Tibagi para o estado do Paraná, localizada no segundo e terceiro planaltos, alguns dados de suas nascentes e entornos serão discutidos mais pormenoradamente. Em pesquisa efetuada na vegetação ciliar (arbórea e epífita) e suas relações com os tipos de solos do rio Tibagi, os autores deste capítulo observaram as nascentes do citado rio posicionadas no reverso proximal da *cuesta* devoniana (Figura 7), sobre a faciologia do arenito Furnas – pacote estratigráfico siliciclástico (ASSINE, 1996), em condições privilegiadas para prover recarga/descarga hidrológica.

O posicionamento do citado arenito como componente superficial da *cuesta* devoniana (Figuras 7 e 8) favorece a conjugação de duas variáveis importantes para determinar altas densidades de nascentes, quais sejam, maiores precipitações locais condicionadas por chuvas orogênicas (MAACK,



**Figura 7** Elementos geomorfológicos de *cuesta*: reverso, cornija, talus e a inserção de nascentes com Organossolos em posição de reverso.



**Figura 8** Fotografia aérea (escala 1:25.000) do segundo planalto paranaense, em que aparece a transição do primeiro para o segundo planalto e a nascente do rio Tibagi.

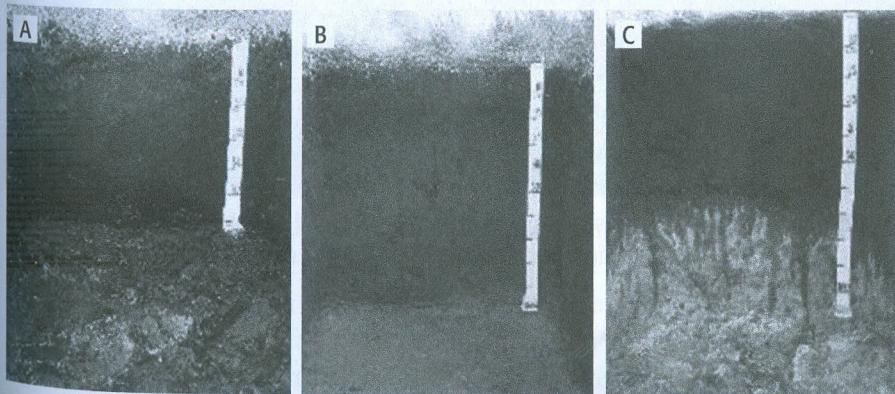
1981) e alto grau de silicificação do arenito Furnas (JUSTUS, 1990), o qual determina baixa infiltração dos fluxos hídricos subsuperficiais que fluem entre o solo e a rocha.

Além dessas condições, as configurações geomorfológicas praticamente planas a suave-onduladas do reverso de *cuesta* no segundo planalto paranaense, conciliadas à presença dominante de solos rasos (Neossolos Litólicos e Cambissolos Húmicos), sobretudo, sua forma de contato com a rocha (contato lítico), sustentam uma pluralidade muito grande de nascentes para o mencionado rio (Figuras 7 e 8).

O contato lítico refere-se à presença de rochas extremamente resistentes imediatamente subjacentes ao solo (SANTOS et al., 2013), a ponto de minimizar a infiltração dos fluxos hídricos nelas. Esse fato determina a transferência dos fluxos encosta abaixo, de forma lateral subsuperficial, na zona de contato entre o solo e a rocha, os quais afloram à superfície quando atingem pontos da paisagem que favorecem a convergência hídrica, contribuindo, assim, para a formação das nascentes. Em várias áreas com surgência hídrica também é verificada a união dos fluxos que percolam subsuperficialmente, no contato solo/rocha, com os fluxos provenientes de camadas internas da própria rocha. As fraturas presentes em grande quantidade nas rochas, como nas zonas de recarga, seguramente alimentam os fluxos hídricos internos nas rochas.

Em razão da similaridade geológica, geomorfológica e vegetacional, os ambientes das nascentes do rio Tibagi possuem forte correspondência quanto a sua segmentação. Portanto, a protodrenagem é constituída por solos de natureza essencialmente orgânica – Organossolo Háplico – enquanto a arcodrenagem e o sobrearco são formados por solos minerais ricos em matéria orgânica, respectivamente, Gleissolo Melânico e Cambissolo Húmico gleissólico (Figura 9A, B e C).

É importante ressaltar que a distribuição do Organossolo Háplico na nascente do rio Tibagi tem sua regência maior controlada por lineamento geológico relacionado à megatectônica do Brasiliano. Os lineamentos dessa tectônica, ao se intercruzarem com os lineamentos da megatectônica Arco de



**Figura 9** Solos constituintes de nascente do rio Tibagi. A: Organossolo Háplico (protodrenagem). B: Gleissolo Melânico (arcodrenagem). C: Cambissolo Húmico gleissólico (sobrearco).

Ponta Grossa mais a jusante, tornam-se constituintes do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná, delineando padrão em "X" (ZALÁN et al., 2004).

Essa composição pedológica, com alto grau de hidromorfia em relevos praticamente planos (Figura 10), onde sobressaem os horizontes hístico e húmico, ambos com elevados teores em matéria orgânica em meio hídrico saturado, favorece o desempenho de funcionalidades ecológicas importantes. Dentre elas, destacam-se elevadas taxas de recarga e descarga hidrológica, expressiva imobilização de dióxido de carbono e óxido nitroso, alta biodiversidade, entre outras, fazendo desse ambiente uma das "pérolas do estado do Paraná".



**Figura 10** Aspecto da paisagem com predomínio de relevo praticamente plano na nascente do rio Tibagi, posicionada em reverso da cuesta devoniana – segundo planalto paranaense.

No que se refere às funcionalidades hídricas, uma das grandes diferenças que se pode evidenciar em nascentes constituídas por Organossolos é sua grande capacidade de retenção d'água (ILNICKI, ZEITZ, 2003), muito acima dos solos minerais. Essa característica impõe uma dinâmica de escoamento dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais de maneira difusa e muita

lenta a jusante da nascente, mais propriamente na protodrenagem. Assim, o modo de fluir da água fica caracterizado por constituir não fluxos acanalados (como são os rios), mas sim um escoamento superficial difuso muito lento em razão da alta densidade de plantas herbáceas presentes no Organossolo, somado a um fluxo subsuperficial que se verifica dentro do solo – fluxo intravolume – em razão da grande quantidade de poros presentes nesse tipo de solo (ILNICKI, ZEITZ, 2003; RACHWAL, 2013), especialmente de macroporos nos horizontes hísticos mais próximos da superfície (ANDRADE, 2010). Dessa maneira, as velocidades do fluxo difuso são bem menores do que em fluxo acanalado (rio ou córrego), como se observa em solos minerais.

Além disso, essa grande retenção hídrica proporciona condições para ocupação pela flora herbácea muito específica e diversa (ANDRADE, 2010), a qual, por sua vez, favorece a formação e manutenção dos citados solos. Fica caracterizada, assim, a dinâmica exclusiva dessa classe de solo – gênese ascensional, ou seja, sua dependência da citada vegetação para sua contínua formação e manutenção dos horizontes hísticos. A grande quantidade de água retida pelos Organossolos gera condições microclimáticas muito específicas, a ponto de interferir até na ocupação de epífitos, que são as plantas que vivem sobre outras plantas, em florestas fluviais vizinhas das áreas ocupadas por essa classe de solo (BONNET et al., 2010).

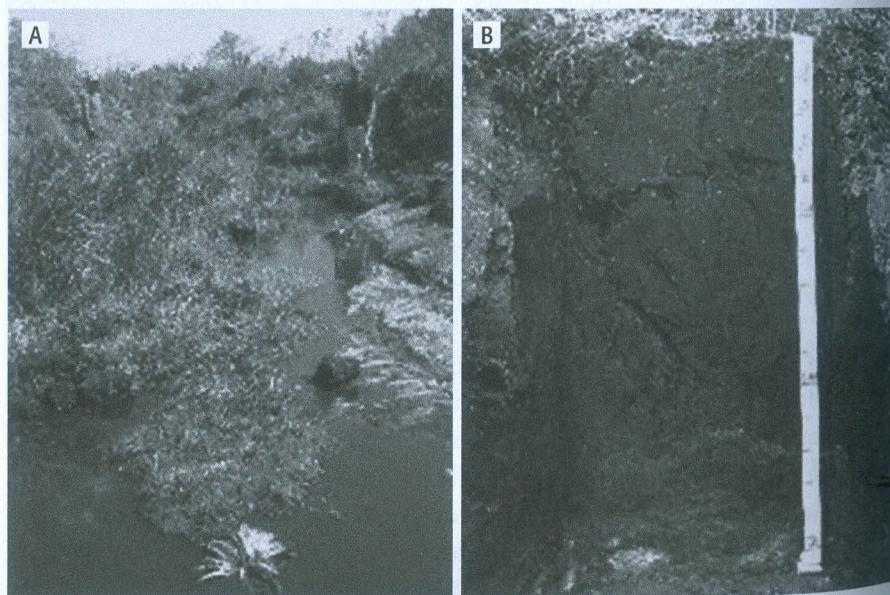
Essa interdependência água/solo/vegetação legitima a extrema fragilidade desses ambientes, tornando-se vital manter a estabilidade dos processos que edificam as nascentes. Sob essa ótica, proteger, ou mesmo recuperar as condições funcionais das APP pontualmente é, na grande parte das vezes, insuficiente. Complementarmente, reforça-se a necessidade das boas práticas de manejo nos sistemas de produção que circundam as APP, assim como das formas de uso e ocupação em coerência ao potencial dos solos.

Complementarmente, quando se analisam os ambientes de nascentes em pisos altitudinais elevados, há de se considerar que nessas áreas os solos exponenciam sua capacidade de imobilização de carbono, ratificando informações técnico-científicas de que eles constituem o maior reservatório de carbono na superfície da Terra (STEVENSON, 1994; LAL, 2003). Esse potencial amplia-se ainda mais em meios anóxicos, trazendo consigo, além da fixação do dióxido de carbono, o fato positivo de imobilizar óxido nitroso (RACHWAL, 2014), além de proporcionar condições de estabelecimento de enclaves de flora diversificada e exclusiva dessas paisagens.

No entanto, em razão dos manejos inadequados que hoje se encontram a montante das nascentes do rio Tibagi, a despeito das condições de relevo praticamente plano (Figura 10), os autores deste capítulo identificaram pro-

cessos de erosão severos, com presença de vossorocamento ativo em Organossolo Háplico, segmento de protodrenagem. A vossoroca identificada, com mais de 300 metros de comprimento, chega em alguns pontos a ter praticamente dois metros de profundidade (Figura 11A), limite proporcionado pela presença do arenito altamente consolidado – Furnas, imediatamente locado abaixo do solo, em contato lítico. Em determinados locais, sua largura atinge cerca de 4 metros, causando profundo grau de degradação ao solo (OKRUSZKO, ILNICKI, 2003), com perdas consideráveis de carbono (Figura 11B), flora e água e, consequentemente, danos ambientais muito sérios.

A presença de vossoroca promove a retirada de água do Organossolo, o qual passa a sofrer um rebaixamento de seu nível superficial, fenômeno conhecido como subsidência (Figura 12). Essa degradação caracteriza a fragilidade e efemeridade do Organossolo e sua dependência da saturação hídrica plena, no mínimo, pela maior parte do ano. A fase subsequente à subsidência dos Organossolos, caracterizada pela expressiva diminuição dos teores de matéria orgânica, promove a gradual e rápida perda de suas propriedades intrínsecas, uma vez que nos horizontes hísticos mais superficiais praticamente



**Figura 11** Aspecto da nascente do rio Tibagi localizada no reverso de *cuesta* devoniana – segundo planalto paranaense. A: vossoroca em Organossolo Háplico. B: Organossolo Háplico com superfícies de contração por dessecação e perda de matéria orgânica.



**Figura 12** Subsidiência de Organossolo Háplico em segmento de protodrenagem, nascente do rio Tibagi – reverso de *cuesta* devoniana, segundo planalto paranaense.

praticamente não se tem a ligação do carbono com coloides minerais, interação que diminuiria consideravelmente a mineralização do material orgânico pelos microrganismos (DICK et al., 2010). As fendas de contração retratam com fidelidade os níveis de degradação do Organossolo quando submetido ao processo de perda de água e consequente subsidência.

Esse ressecamento do Organossolo, ladeando a vossoroca na região da nascente do rio Tibagi, pode ser caracterizado pela formação de uma “zona aureolar de dessecação”, onde há profundas alterações nas características do solo e, consequentemente, mudanças profundas no que se refere a densidade, biomassa e riqueza florística vegetacional (ANDRADE, 2010). A citada autora, comparando Organossolos próximos e distantes da vossoroca, verificou temperaturas bem mais altas nas camadas superficiais (0-5 cm) do horizonte hístico do primeiro. Isso se dá porque o Organossolo situado mais próximo do sulco de erosão encontra-se mais dessecado pelo rebaixamento do lençol freático, consequentemente, com expressivo raleamento da vegetação e altos níveis de exposição da superfície do solo. Esse fato é preocupante porque as temperaturas mais elevadas determinam maior grau de mineralização da matéria orgânica, acelerando o processo de degradação, que deve ser estancado com urgência.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme exposto, as características das paisagens em que as nascentes e seus entornos se encontram inseridas decorrem de relações interdependentes entre os constituintes climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e vegetacionais.

O ambiente de nascentes e seus entornos, dentro dos limites territoriais determinados pelo Código Florestal brasileiro – Lei n. 12.651/2012 como APP, cumpre uma série de funcionalidades ecológicas. Essas funções variam muito, sobretudo em intensidade, de acordo com as variações dos elementos que constituem o ambiente, dentre eles, o solo.

Várias características e propriedades do solo interferem na dinâmica funcional da nascente e seu entorno. O regime hídrico do solo é uma das mais importantes por sua direta interferência nas funções ecológicas, por exemplo, na recarga hidrológica, no potencial filtro, como agente seletor para o desenvolvimento de plantas etc. Assim, é importante realizar a segmentação das nascentes segundo o grau de hidromorfia dos solos, inclusive para o planejamento das ações de recuperação dessas áreas.

Em qualquer situação, a análise e o planejamento de ações voltadas à proteção/recuperação das nascentes devem considerar as condições prevalecentes dentro e fora da APP, observando sempre as condições de uso e manejo dos solos que se situam a montante.

## REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; M. T.; K. J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. DA; CARDOSO, E. J. (eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 391-469. v. 1.
- AHRENS, S. Mudanças climáticas e a reparação de danos em ecossistemas florestais. In: Congresso Internacional de Direito Ambiental, 12, 2008. Mudanças climáticas, biodiversidade e uso sustentável de energia. *Anais...* São Paulo, O direito por um planeta verde, 2008. v. 2, p. 1089-102.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, G. (eds.). *Agricultura tropical*: quatro décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1337 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente. *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília, ANA, 2011. 154 p.
- ANDRADE, B. O. *A vegetação das nascentes do Rio Tibagi e sua relação com o regime hídrico dos solos*. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ASSINE, M. L. *Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. 1996. 207 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, USP. São Paulo, 1996.

BAIRD, C. *Química ambiental*. 2.ed. Porto Alegre, Bookman, 2002. 622 p.

BARDDAL, M. L., CURCIO, G. R., BONNET, A. *Relação entre umidade do solo e distribuição de árvores do rio Iguaçu: a importância do relevo, tipo de solo e saturação hídrica na dinâmica de ocupação arbórea das margens de rios*. [s.l.], Novas Edições Acadêmicas, 2016. 162 p.

BONNET, A.; CURCIO, G. R.; GALVÃO, F.; KOZERA, C. Diversidade e distribuição de bromeliáceas epífitas do altíssimo Rio Tibagi – Paraná – Brasil. *Floresta*, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 71-80. 2010.

BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. *Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul*. Curitiba, GIA, 2004. 214 p.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis ns. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis ns. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166 – 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm) Acesso em: 25 jul. 2018.

CALHEIROS, R. O.; TABAI, F. T. V.; BOSQUILIA, S. V.; CALAMARI, M. *Preservação e recuperação de nascentes*. Piracicaba, Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios, PCJ – CTRN, 2004. 40 p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CALHEIROS, R. O.; TABAI, F. C. V.; BOSQUILIA, S. V.; CALAMARI, M. *Preservação e recuperação de nascentes*. Piracicaba, Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ-CTRN, 2004. XII, p. 37.

CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; SEVEGNANI, L. *Geopedologia e a sua influência sobre espécies arbóreas em florestas fluviais*. Colombo, Embrapa Florestas, 2006a. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 135).

CURCIO, G. R. *Relações entre geomorfologia, pedologia e fitossociologia, nas planícies fluviais do rio Iguaçu, PR, BR*. 2006b. 500 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. O Código Florestal Brasileiro: considerações sobre Áreas de Preservação Permanente (APP) Reserva Legal (RL). In: VILELA, D.; FERNANDES, E. N.; ZOCCAL, R.; MARTINS, C. E.; SIQUEIRA, K. B.; BRITO, M. A. V. P. (ed.). *Estratégias e conhecimentos para o fortalecimento do agronegócio do leite*. Livro publicado no CD-ROM: Congresso Internacional do Leite, 8; Simpósio Sobre Sustentabilidade da Pecuária de Leite no Brasil, 10; Workshop Sobre Políticas Públicas Para O Agronegócio DO Leite, 8.; Workshop de Qualidade do Leite, 2., 2010, Juiz de Fora. Fórum das Américas: leite e derivados: anais. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 2010. 280 p. il. Color. 1 CD-ROM. p. 166-88.

CURCIO, G. R.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. Levantamento semidetalhado de solos do município de Cambé, PR. In: FARIA, G. S. (ed.). *Levantamento semidetalhado de solos e diagnóstico dos remanescentes florestais do município de Cambé – PR*. Londrina, IAPAR, 2011. p. 9-78.

CURCIO, G. R.; BONNET, A. Planejamento conservacionista: condicionantes para a floresta em Área de Preservação Permanente em nascentes no Estado do Paraná. In: BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. C.; SANTOS, J. B.; GUIMARÃES, M. F. (ed.). *Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná*. Curitiba, SBCS, NEPAR, 2019. p. 291-8.

- DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, W.; ALLEONI, L. R. F. (eds.). *Química e mineralogia do solo: parte dois – aplicações*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-67.
- DONADIO, N. M. M.; GABIATTI, J. A.; DE PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 5, n. 1, p. 115-25. 2005.
- DURIGAN, G.; RODRIGUES, R. R.; SCHIANVINI, I. A Heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da floresta ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo, Edusp, 2000. p. 159-67.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná*. Londrina, Embrapa SNLCS, 1984. 2 tomos (EMBRAPA/SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27, IAPAR. Boletim técnico, 16).
- FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. *Geografias Artigos Científicos*, v. 9, n. 1, 2013.
- FITTS, C. R. Águas subterrâneas. Trad. Daniel Vieira. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015. 577 p.
- FRANCO, J. G. O. *Direito ambiental matas ciliares: conteúdo jurídico e biodiversidade*. Curitiba, Juruá, 2005. 19 2p.
- ILNICKI, P.; ZEITZ, J. Irreversible loss of organic soil functions after reclamation. In: LEON-ETIENE, P.; ILNICKI, P. (eds.). *Organic soils and peat materials for sustainable agriculture*. Boca Raton, CRC Press, 2003. p. 15-32.
- JUSTUS, J. O. Hidrografia. In: *Geografia do Brasil: região Sul*. Rio de Janeiro, IBGE, 1990. p. 189-218. v. 2.
- KÄMPF, N.; CURÍ, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 107-38. v. 1.
- LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B. Comportamento de pesticidas em solos – fundamentos. In: CURÍ, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, ALVAREZ, V. H. (ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 335-400. v. 1.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 22, n. 2. p. 151-84, 2003.
- LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudoeste do Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo, Edusp, 2000. p. 143-58.
- MAACK, R. *Geografia física do estado do Paraná*. 2.ed. Curitiba: Ed. Olympio, 1981.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; CAVIGLIONE, J. H.; BARBOSA, G. M. C.; OLIVEIRA, J. F. Perdas de solo e água no Paraná. In: MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C. (eds.). *Erosão no estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios*. Londrina, IAPAR, 2016. p. 67-102.
- Minerais do Paraná SA (MINEROPAR). *Atlas geológico do estado do Paraná*. Curitiba, MINEROPAR: Secretaria da Indústria do Comércio e do Turismo, 2001. 1 CD-ROM.
- NEIVERTH, C. A. *Lixiviação de NPK e atrazina em colunas indeformadas de solos de diferentes pedossequências no Paraná*. 2009. 169 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- OKRUSZKO, H.; ILNICKI, P. The moorsh horizons as quality indicators of reclaimed organic soils. In: LEON-ETIENE, P.; ILNICKI, P. (eds.). *Organic soils and peat materials for sustainable agriculture*. Boca Raton, CRC Press, 2003. p. 1-14.
- OLIVEIRA, J. B. *Pedologia aplicada*. Jaboticabal, Funep, 2001. 414 p.

- PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudos das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 65, p. 197-206. 2004.
- PINTO, L. V. A.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; MACHADO, E. L. M. Distribuição das espécies arbóreo-arbustivas ao longo do gradiente de umidade do solo de nascentes pontuais da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. *Cerne*. Lavras, v. 11, n. 3, p. 294-305, 2005.
- RACHWAL, M. F. G. *Gases de efeito estufa em Organossolo natural e drenado – Paraná*. 2013. 155 p. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; DENEGA, G. L.; CURCIO, G. R.; BAYER, C. Methane fluxes from waterlogged and drained Histosols of highland areas. *Revisão Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 486-94, 2014.
- ROSA FILHO, F. E.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. *As águas subterrâneas no estado do Paraná*. Curitiba, Edição do Autor, 2010. 145 p.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, Embrapa, 2013. 353 p.
- SODRÉ, A. A. *Novo Código Florestal comentado: Lei 12.651/12 e Decreto n. 7.830, ambos de 17 de outubro de 2012*. Leme, J. H. Mizuno, 2013. 466 p.
- SOUZA, L. P. de. *Estudo de biomassa e flora de estepes hidrófilas no Paraná em interação com o meio físico*. 2013. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, J. Wiley, 1994. 496 p.
- UHLMANN, A.; CURCIO, G. R.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. Os remanescentes florestais do município de Cambé, PR. In: FARIA, G. S. (ed.). *Levantamento semidetalhado de solos e diagnóstico dos remanescentes florestais do município de Cambé – PR*. Londrina, IAPAR, 2011. p. 61-147.
- VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. *Conservação de nascentes: produção de água em pequenas bacias hidrográficas*. Viçosa, Aprenda Fácil, 2011. 267 p.
- VEBRASKAS, M. J.; LINDBO, D. L. Redoximorphic features as related to soil hydrology and hidric soils. In: LIN, H. (ed.). *Hydropedology: synergistic integration of soil science and hydrology*. Amsterdam, Elsevier, 2012. p. 143-72.
- ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSEO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, 2004. p. 595-612.