

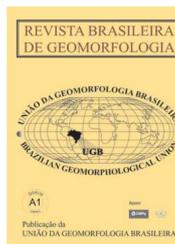


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 3 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1192>



# OS SOLOS E GEOAMBIENTES DAS CAMPINARANAS AMAZÔNICAS: RELAÇÃO GENÉTICA ENTRE OS GEOAMBIENTES E A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM EM UM TRANSECTO NA BACIA DO ALTO RIO NEGRO, AMAZÔNIA

## SOILS AND GEOAMBIENTS OF AMAZON CAMPINARANAS: GENETIC RELATIONSHIP BETWEEN GEOENVIRONMENTS AND LANDSCAPE EVOLUTION IN A TRANSECT IN THE UPPER RIO NEGRO BASIN, AMAZONIA

**Débora de Sena Oliveira Mendes**

*Departamento de Geografia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Av. Itaú, 505, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30535012. Brasil  
Email: dsomendes@gmail.com*

**Guilherme Taitson Bueno**

*Universidade Federal de Goiás  
AC UFG Campus II - Campus Universitário, Goiânia, Goiás.; CEP: 74690970. Brasil  
Email: guilhermetaitsonb@gmail.com*

**Felipe Silva Guimarães**

*Departamento de Geografia. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Av. Itaú, 505, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30535012. Brasil  
Email: felipeecologia@yahoo.com.br*

**Bruna Gomes Rossin**

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Av. 24-A, 1515, Rio Claro, São Paulo. CEP: 13506-900. Brasil  
Email: brurossin@yahoo.com.br*

**Nádia Regina do Nascimento**

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Av. 24-A, 1515, Rio Claro, São Paulo. CEP: 13506-900. Brasil  
Email: nascimr@rc.unesp.br*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
18/03/2017  
Aceito (Accepted):  
10/05/2017

### Palavras-chave:

Campinaranas Amazônicas.  
Espodosolos. Pedogênese.  
Evolução da paisagem.

### Resumo:

As Campinaranas Amazônicas da bacia do alto Rio Negro constituem ecossistemas singulares, que têm como substrato material arenoso, principalmente solos do tipo Espodosolos. Ocorrem em diferentes posições topográficas, como em zonas deprimidas sobre interflúvios tabulares, bases de vertentes, terraços fluviais e paleocanais e envolvidos pela floresta tropical amazônica, da qual diferem principalmente pelo porte dos indivíduos. Há variações fisionômicas importantes diretamente ligadas às condições edáficas (textura, teor de nutrientes e matéria orgânica), topográficas e à influência do nível freático. Embora ocupem áreas

Campinaranas Amazônicas.  
Espodosolos. Pedogênese.  
Evolução da paisagem.

significativas da bacia do Rio Negro e constituam ambientes de grande fragilidade, ainda são poucos os estudos sobre a ecologia das Campinaranas na região. O Objetivo deste trabalho é caracterizar uma área de campinaranas na bacia do alto rio Negro e compreender relações genéticas entre os solos e a vegetação

na escala da paisagem. Em campo foi feito um transecto abrangendo quatro geoambientes distintos. Em cada um deles o foram realizadas análises do solo, de complexo sortivo, teor de matéria orgânica, nitrogênio e textura. Constatou-se que os padrões florísticos, estruturais e de diversidade das Campinaranas estão fortemente relacionados à profundidade do lençol freático, à variação de textura e do teor de macro e micronutrientes. Dois geoambientes foram interpretados como mais antigos e dois como mais jovens a partir da diversidade da vegetação e dos solos ao longo do transecto, tal diferença está intimamente ligada ao desenvolvimento e evolução da podzolização e ao processo de instalação e incisão da rede de drenagem na área. Conclui-se que a vegetação e sua variação no espaço se mostraram importante indicador da transformação da paisagem.

### Abstract:

The upper Rio Negro basin's Amazon Campinaranas are natural ecosystems which have sandy material as substrate, mainly Spodosols. These ecosystems occur in different topographical positions, as well as depressed areas on tableland interfluves, downslopes, alluvial terraces and paleochannels. Campinaranas are often surrounded by "terra firme" forests, being differentiated from the latter by vegetation size. There are important physiognomic variations, which are directly related to soil conditions (texture, nutrient content and organic matter), topography, and the influence of the water table level. Although occupying significant areas of the Rio Negro basin and constituting very fragile environments, there are few studies about the Campinaranas ecology in this region. The goal of this study is to characterize an area of campinaranas the upper Rio Negro basin's Amazon as well as the genetic relationships between soil and vegetation on the landscape scale. In the field a transect was made covering four different geoenvironments. In each of them, were performed soil analysis of sortive complex, organic matter content, nitrogen and texture. The Campinaranas floristic, structural, and diversity patterns are strongly related to the water table's depth, variation in soil texture and in the macro and micronutrient content. The results indicate that the vegetation diversity and soils along the transect are closely linked to the development and evolution of podzolization and to the process of installation and incision of the drainage network in the area. It is concluded that the vegetation and its spacial variation has been an important indicator of the transformation.

### Introdução

A bacia Amazônica abriga a maior floresta tropical do planeta, além da maior área de drenagem do mundo, com cerca de 6,5 milhões de km<sup>2</sup> (SORRENTINO *et al.*, 2002). A bacia do Rio Negro ocupa uma área de 690.000 km<sup>2</sup>, de um total de 5.500.000 km<sup>2</sup> da Amazônia Legal, e é uma região considerada relativamente preservada (DINIZ, 2011). Segundo Pires (1973), a Floresta Amazônica é formada por diferentes unidades fitogeográficas, condicionadas por fatores fisiográficos, pedológicos e microclimáticos combinados que contribuíram para o surgimento de ecossistemas como Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta de Igapó, Restingas Litorâneas, Mangues, Savanas, Campinaranas e Campinas.

As Campinaranas são fisionomias florestais escleromórficas de baixo/médio porte e sub-bosque

relativamente aberto, com escassez de cipós e lianas (ANDERSON, 1981). Contrastam com a cobertura dominante de Floresta de Terra Firme e têm sua ocorrência fortemente ligada à distribuição dos solos arenosos (VICENTINI, 2004). Para Prance e Lovejoy (1985), a variação fisionômica e estrutural das formações sobre areia branca está diretamente correlacionada com a variação sazonal na altura do lençol freático e consequentemente, com o período anual alagado e, mesmo ocupando grandes extensões da bacia do alto Rio Negro, cerca de 190.000 km<sup>2</sup> da Amazônia brasileira (BUENO, 2009), os Espodosolos vêm sendo estudados apenas recentemente e de forma pontual. Esses solos possuem grande importância ambiental, constituem materiais especialmente vulneráveis à erosão caso a vegetação seja retirada.

Os Espodosolos são encontrados em grandes extensões sobre os baixos platôs na região de São

Gabriel da Cachoeira, no estado do Amazonas. De acordo com Bueno (2009), nesta região do alto Rio Negro, eles ocupam vastos peneplos alagados onde os solos lateríticos aparecem apenas em colinas residuais ou faixas relictuais nas bordas dos platôs. Possuem grande importância ambiental, além da relevante capacidade de armazenamento de Carbono em profundidade, o equivalente a duas vezes mais do que a quantidade de Carbono disponível na atmosfera (CARVALHO *et al.*, 2010). Porém constituem materiais especialmente vulneráveis à erosão caso a vegetação seja retirada, São solos que sustentam uma cobertura vegetal e uma fauna especiais, entretanto, também pouco estudada.

Os objetivos do presente trabalho são: 1) Verificar a existência de relações entre unidades vegetacionais, tipos e *status* do sistema pedológico e profundidade do lençol freático. 2) Discutir a gênese da paisagem na área de estudos com foco especial nos tipos de vegetação e nos solos a elas associados. 3) Propor um modelo de evolução da paisagem.

## Materiais e Métodos

A área de estudo situa-se a noroeste do estado do Amazonas, alta bacia do Rio Negro, no município de São Gabriel da Cachoeira, distanciando-se cerca de 850 km de Manaus, onde a cobertura vegetal original encontra-se ainda preservada (Figura 1). Seu clima é quente e úmido, classificado do tipo Af (tropical chuvoso de floresta), caracterizado por temperatura média em torno dos 25°C e alta pluviosidade (aproximadamente 3.000 mm por ano) (W. Köppen – Geiger, 1846-1940). Geomorfologicamente, caracteriza-se por interflúvios tabulares e colinas com altitudes entre 80 e 100 m ao NMM. O relevo no sítio estudado é sustentado por rochas do Complexo Guianense, formado por gnaisses, migmatitos, granitos, granodioritos e anfibolitos (RADAMBRASIL, 1977). Pedologicamente predominam solos das classes de Argissolo (antigo Podzólico) Vermelho Amarelo, Espodosolo Hidromórfico e Latossolo Amarelo. Nas partes N e NE da região dominam os Latossolos, com ocorrência restrita dos Espodosolos, em forma de ilhas. Para o S e para o W, há domínio absoluto dos Espodosolos (RADAMBRASIL, 1977).

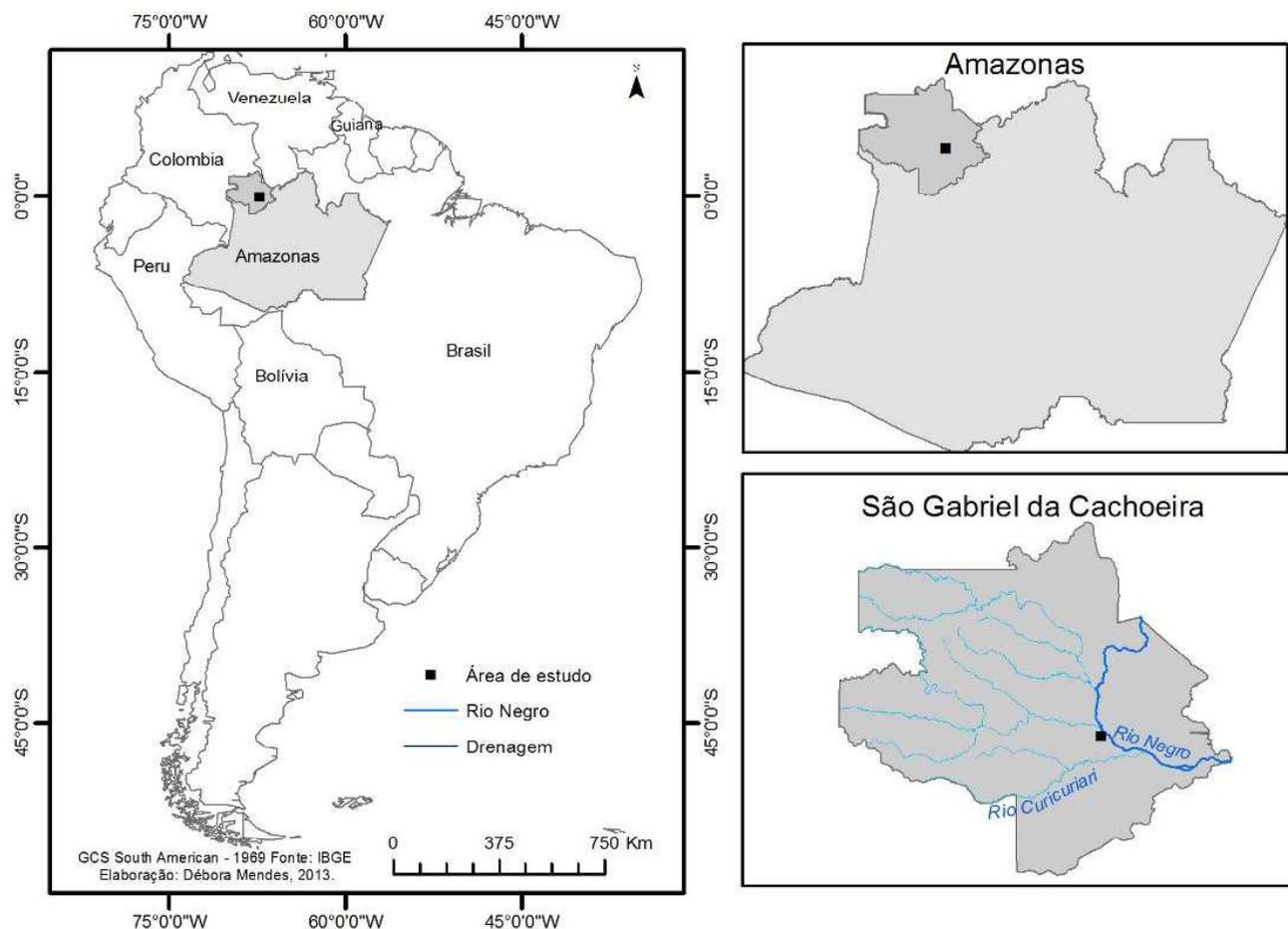


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A vegetação presente na porção superior da bacia do Rio Negro é caracterizada pelo adensamento de árvores, com características bastante diferentes, e fitofisionomias distintas como Floresta de Terra Firme e Campinaranas (em suas diferentes composições florísticas e estruturais).

Foi estudado um transecto pedogeomorfológico abrangendo quatro geoambientes distintos, sendo: 1) Espodossolo bem drenado (ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidro-hiperespesso espessarênico) no topo e Espodossolo hidromórfico (ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico) na alta vertente – Geoambiente 1 (G1) com Campinarana Florestada homogênea; 2) Criptopodzol (Duchaufour, 1972) (ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico organossólico) e Gleissolo (GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico) – Geoambiente 2 (G2) coberto por um tipo de vegetação caracterizada como sendo de transição entre Campinarana Florestada e Floresta de Terra Firme; 3) Solo laterítico (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico) – Geoambiente 3 (G3) com Floresta de Terra Firme e 4) Espodossolo Hidromórfico (ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico) em depressão – Geoambiente 4 (G4) com Campinarana Arborizada e presença significativa de indivíduos epifíticos.

A topografia do transecto foi realizada com uso de clinômetro. Para amostragem e caracterização dos solos, foi aberta uma trincheira em cada geoambiente (duas no G2) ou realizada tradagem, quando o nível elevado do lençol freático não permitia a abertura de trincheira, como o caso do G4. Os perfis foram descritos com base em Boulet *et al.* (1984) e Santos *et al.* (2005) e as amostras de solos foram coletadas na face das trincheira e quando possível, em maior profundidade, a partir da base das trincheiras por meio de tradagem. As amostras foram devidamente acondicionadas e identificadas para análises laboratoriais posteriores. As faces das trincheiras foram fotografadas e a profundidade do nível freático foi anotada.

As amostras de solo coletadas foram encaminhadas ao laboratório (LAFS/Unesp) onde foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas na malha de 2 mm e subdivididas em alíquotas e encaminhadas para o laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foram feitas as seguintes análises: granulometria, pH em H<sub>2</sub>O, P, K, Na, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H + Al, Valor de Saturação de Bases, teor de Matéria Orgânica (MO), P-remanescente (P-rem) e cálculo de

capacidade de troca catiônica (CTC). O Nitrogênio Total foi analisado no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para a classificação da matéria orgânica calculou-se a relação Carbono-Nitrogênio (C/N), permitindo classificar o tipo de horizonte superficial do solo. Nesse trabalho adotou-se a proposta de Gobat *et al.* (2003): C/N = 8 a 15 tipo Mull, C/N = 15 a 25 tipo Moder, C/N > 25 tipo Mor. A análise granulométrica foi realizada de acordo com o método da pipeta modificada por Camargo *et al.* (1986). A análise permitiu verificar as percentagens das partículas de areia grossa (2,00 - 0,20 mm); Areia fina (0,20 - 0,05 mm); Silte (0,05 - 0,002 mm) e argila (<0,002 mm) no solo e as variações de sua distribuição nos perfis.

## Resultados e Discussão

### Resultados

Na Figura 2 pode-se observar a localização da área de estudo e a localização das trincheiras estudadas ao longo transecto: no qual norte para o sul (esquerda para direita), o transecto inicia-se em um topo aproximadamente plano, a cerca de 90 m de altitude, onde se encontra um Espodossolo bem drenado (nível freático suspenso situado a 137 cm de profundidade no dia 24/02/2013), coberto por Campinarana Florestada apresenta densidade total de 950 ind/ha e predomínio da espécie *Eperua leocantha* (Javacana). Aproximadamente a 175 m de distância a jusante do início, há uma ruptura de declive em que se inicia uma vertente de perfil aproximadamente retilíneo e declividade baixa. O nível freático suspenso se aproxima gradualmente da superfície e o horizonte E diminui de espessura à medida que a vertente é percorrida, caracterizando, localmente, um solo do tipo Espodossolo hidromórfico.

A aproximadamente 270 m de distância do início do transecto, rumo à jusante da vertente, o horizonte E desaparece marcando o início do Criptopodzol e o final do G1 e o começo do G2 (Figura 2). O nível freático suspenso aflora e os horizontes superficiais dos solos são orgânicos e de cor Bruno muito escuro a preto. Logo abaixo desses horizontes superficiais, no perfil vertical do solo, encontra-se horizontes orgânicos endurecidos (horizontes espódicos Bh e Bhs). Mais a jusante, a cor dos horizontes superficiais torna-se progressivamente mais clara e aparecem os horizontes cinza claro a branco de um Gleissolo. Os horizontes superficiais ainda são

úmidos, mas não foi caracterizado um nível freático suspenso, como nos Criptopodzóis. O nível freático nessa parte da vertente foi encontrado a 130 cm de profundidade, identificado como um lençol profundo. A cobertura vegetal deste geoambiente representa uma transição entre a Campinarana Arborizada e a Floresta de Terra Firme. Caracteriza-se pela presença de espécies de maior porte, com indivíduos que chegam a 2,00 m de CAP e próximo a 19,0 m de altura com uma vegetação mais diversa do que no geoambiente anterior, entretanto, com o mesmo valor de densidade total (950 ind/ha). A vertente termina a 300 m de distância do marco inicial do transecto, em um pequeno igarapé, que marca o final do geoambiente 2 (G2) (Figura 2).

A vertente oposta tem aproximadamente a mesma declividade e a mesma extensão da vertente descrita para o geoambiente 2 (G2). Em toda sua extensão, o solo apresenta um delgado horizonte A bruno acinzentado claro, seco, sobre um material de alteração de cor branca, à semelhança daquele do Gleissolo. Não há saturação hídrica antes dos 300 cm de profundidade. Esse solo foi descrito como um Neossolo. A vertente termina em um topo convexo, situado a 88 m de altitude. Nesse topo encontra-se um perfil de solo mais desenvolvido, laterítico, de cor amarelo pálido e textura argilosa. Do topo passa-se rapidamente a uma vertente convexa e curta, de maior declividade, com Neossolos desenvolvidos sobre material de alteração branco e nível freático abaixo dos 300 cm de profundidade, como na vertente norte dessa colina. A cobertura vegetal presente no conjunto da colina é do tipo Floresta de Terra Firme, com indivíduos de maior porte, dossel contínuo, menor entrada de luz no ambiente e presença de diferentes espécies de cipós, lianas e epífitas. O conjunto dessa colina com Neossolos e solos lateríticos cobertos por Floresta de Terra Firme foi considerado o geoambiente 3 (G3) (Figura 2). A vertente convexa termina em um segundo igarapé, mais largo e de maior volume de água do que o anterior. Seu leito encontra-se acerca de 3 m abaixo do leito do primeiro igarapé.

A partir do segundo igarapé há um pequeno trecho de vertente, muito curto e de baixa declividade, que conduz a uma superfície plana e rebaixada, situada a 82 m de altitude, apenas 2 m acima do leito do igarapé adjacente. Esse geoambiente (4) tem solo do tipo Espodossolo hidromórfico, cujo nível freático encontra-se acerca de 20 cm abaixo da superfície. A cobertura vegetal é do tipo Campinarana Arborizada com presença de epífitas,

apresentando como características principais indivíduos arbóreos de pequeno/médio porte (CAP médio de 0,41 cm), altura média de 12,5 m de altura e densidade total de indivíduos de 1.925 ind/ha. Também é comum a presença de pteridófitas em “murundus” compostos por emaranhados de raízes e solo em meio aos canais de escoamento da água. A paisagem dessa parte do transecto caracteriza o geoambiente 4 (G4) (Figura 2).

Os solos do G1 e do G4 apresentam valores mais elevados de areia (fina e grossa), sendo classificados como Arenoso e Areia franca (USDA traduzido). O Espodossolo bem drenado (G1) e o Espodossolo hidromórfico (G4) apresentam os maiores teores de areia, sendo que o primeiro tem valores superiores a 95% de areia em quase todo perfil. Nas amostras do G1, os teores de argila e silte são os mais baixos, com variação do silte entre 0 e 3% e argila, entre 0 e 10% (no Bh). No G4 o teor silte varia entre 0 e 2% nas amostras do horizonte AE e E, até 164 cm de profundidade e nos mais profundos (horizonte Bh) 21 e 23%. O Criptopodzol – G2 e o Gleissolo – G2 apresentam horizontes com textura bastante variada, desde Franco-arenosa até Argilo-arenosa. No Criptopodzol – G2 os horizontes da superfície têm percentagem de areia que varia de 75 a 95 %, enquanto a percentagem de argila varia de 4 a 11% nos mesmos horizontes. Nos horizontes mais profundos a areia tem variação de 46 a 52% e a argila de 17 a 28%. O Gleissolo – G2, junto com o solo laterítico – G3, são os solos mais argilosos do transecto, sendo que as amostras provenientes do solo do G3 são classificadas como Franco-argilo-arenosa e Argilo-arenosa. A quantidade de areia é menor que 68 %, enquanto a percentagem de argila varia de 27% no horizonte A a 37 % no horizonte mais profundo (160 cm de profundidade). No Gleissolo – G2, a areia varia em todo o perfil de 39 a 75% e a argila de 19 a 29%, sendo que o menor valor de argila e o maior de areia são da amostra do horizonte A (Figura 3).

O fato da maioria das amostras se encontrarem distribuídas no centro do gráfico (figura 2) explica os teores elevados de silte dos materiais brancos profundos do Criptopodzol – G2, do Gleissolo – G2 e do solo laterítico – G3, compatíveis com sua natureza saprolítica. Partindo dos horizontes mais profundos, verifica-se a tendência de distribuição rumo à extremidade inferior esquerda do triângulo (polo arenoso).

O Espodossolo bem drenado (G1) e Espodossolo hidromórfico (G4) possuem o esmo comportamento, com

horizontes A e E arenosos e baixos teores de argila a partir dos horizontes espódicos. No G1 os horizontes espódicos não foram ultrapassados pela tradagem (amostra mais profunda coletada a 137 cm, no Bh), mas no G4 isso foi possível, permitindo que fossem atingidos os horizontes de alteração, de textura mais siltosa e argilosa. O Cripto-podzol (G2) apresenta igualmente teores elevados de areia no horizonte superficial, mas, não existe um verdadeiro horizonte E e os horizontes espódicos estão próximos da superfície, passando diretamente aos materiais mais

argilosos e depois para aqueles com teores importantes de silte e argila, correspondentes aos horizontes de alteração. No Gleissolo, igualmente no G2, altos teores de areia – porém inferiores àqueles dos Espodossolos e do Cripto-podzol – são encontrados nos horizontes acima de 100 cm de profundidade; mais abaixo encontra-se novamente o material siltoso e argiloso já referido, correspondente aos materiais de alteração. Por fim, o perfil de solo laterítico, do G3, caracteriza-se como aquele em que os materiais superficiais são os menos arenosos.

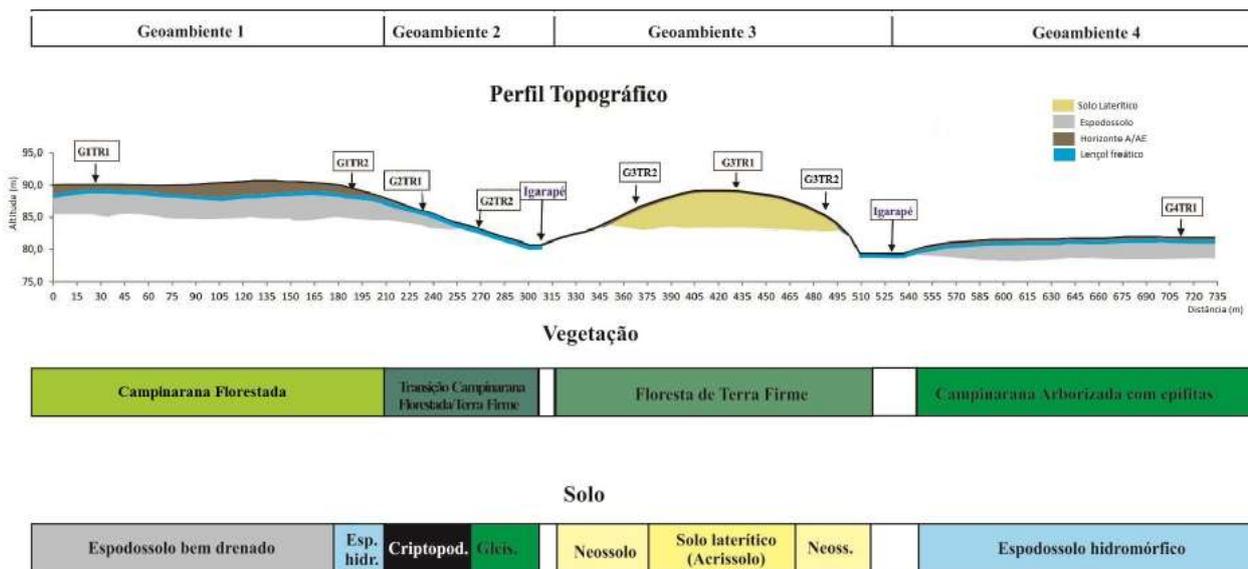


Figura 2 – Representação do transecto estudado. Os solos amostrados foram identificados por siglas, de acordo com o geoambiente em que estão inseridos: G1TR1 (geoambiente 1 e Trincheira 1, com Espodossolo bem drenado) e G1TR2 (geoambiente 1 e Trincheira 2, sobre Espodossolo hidromórfico de vertente), ambos em presença de Campinarana Arborizada; G2TR1 (geoambiente 2 e Trincheira 1, com Criptopodzol) e G2TR2 (geoambiente 2 e Trincheira 2, com Gleissolo), ambos na transição de Campinarana Florestada para Floresta de Terra firme; G3TR1 (geoambiente 3 e Trincheira 1, sobre solo laterítico) e G3TR2 (geoambiente 3 e Tradagem 2, com Neossolo), ambos sob Floresta de Terra Firme; e G4TR1 (geoambiente 4 e Tradagem 1, sobre Espodossolo hidromórfico de depressão, em Campinarana Arborizada com epífitas).

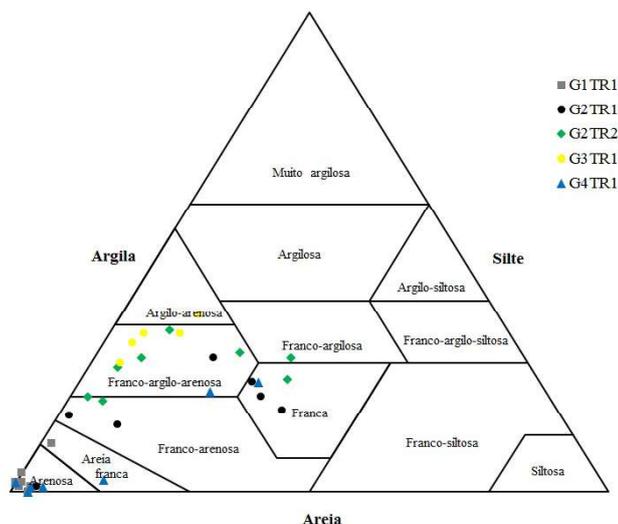


Figura 3 - Triângulo Textural das amostras dos perfis dos geoambientes analisados (G1, G2, G3 e G4).

A Figura 4 apresenta a distribuição vertical dos teores de matéria orgânica nos cinco perfis estudados. Pode-se observar que os horizontes mais orgânicos são evidentemente os horizontes espódicos dos perfis do Espodossolo bem drenado (G1TR1 – Geoambiente 1 Trincheira 1), situados a 140 cm de profundidade; do Espodossolo hidromórfico (G4TR1 – Geoambiente 4 Trincheira 1), situados abaixo de 150 cm de profundidade, e do Criptopodzol (G2TR2 – Geoambiente 2 Trincheira 2), situados a 45 cm de profundidade.

Os horizontes E, presentes nos Espodossolos bem drenado e hidromórfico (G1TR1 e G4TR1, respectivamente), apresentam teores muito baixos de matéria orgânica. O significativo teor de matéria orgânica presente no Bh sofre grande redução na transição para o horizonte

superior, o E, como se pode observar na Figura 4. O Espodossolo hidromórfico (G4TR1) apresenta um aumento crescente na concentração de matéria orgânica dos horizontes mais profundo em direção à superfície, sendo que a 164 cm de profundidade há quantidade significativa de matéria orgânica acumulada. A partir desse ponto há uma redução nos dois próximos horizontes e logo acima, já no horizonte AE percebe-se um aumento dessa matéria orgânica disponível até a superfície do solo (Figura 4).

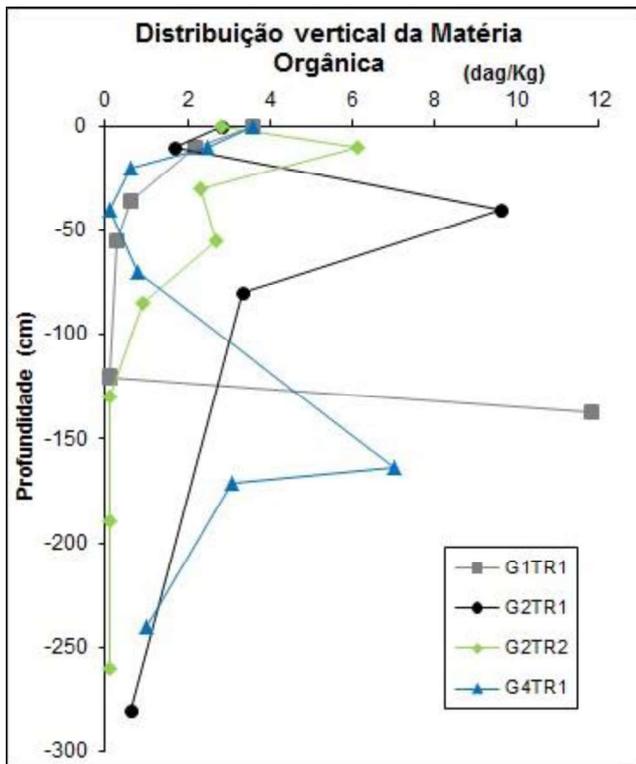


Figura 4 - Distribuição vertical dos teores de Matéria Orgânica nos perfis de solos dos três geoambiente estudados (G1TR1, G2TR1 e G2TR2 e G4TR1).

No Gleissolo observar-se que a quantidade de matéria orgânica disponível no solo nos horizontes Cg, desde a base, a 350 cm de profundidade, a partir dos 150 cm de profundidade é próximo de zero. A partir desse ponto, a 85 cm de profundidade, a quantidade de matéria orgânica presente sofre aumento crescente pelo horizonte Bgh. Já no horizonte Bg há um decréscimo na quantidade, e chegando no horizonte AE, acima, há um pico nesse crescimento chegando a 6,14 dag/Kg, e no horizonte A acontece novamente um decréscimo desse valor. Nos dois perfis do geoambiente 2 observa-se que, em profundidade, em direção aos materiais mais siltosos e argilosos, os teores de matéria orgânica diminuem drasticamente (Figura 4). O perfil de Gleissolo

apresenta significativo acúmulo de matéria orgânica em dois pontos do perfil (horizontes AE e Bgh) Nesses horizontes, a matéria orgânica encontra-se impregnada nos materiais pálidos e de textura franco-arenosa (AE) e franco-argilo-arenosa (Bgh), originalmente saprolíticos. Essa impregnação está associada ao escoamento lento das águas de cor escura, carregada de matéria orgânica, provenientes do Criptopodzol (G2), situado imediatamente a montante do perfil do Gleissolo, e do estabelecimento de condições desfavoráveis à mineralização da matéria orgânica que foi adicionada à superfície do solo, devido à saturação hídrica.

A Figura 5, apresenta a distribuição vertical dos percentuais de saturação do complexo sortivo por cátions básicos (V%)

É possível observar que os solos de todos os perfis são distróficos, com valores de V inferiores a 10% e predominantemente inferiores a 2% (Figura 5).

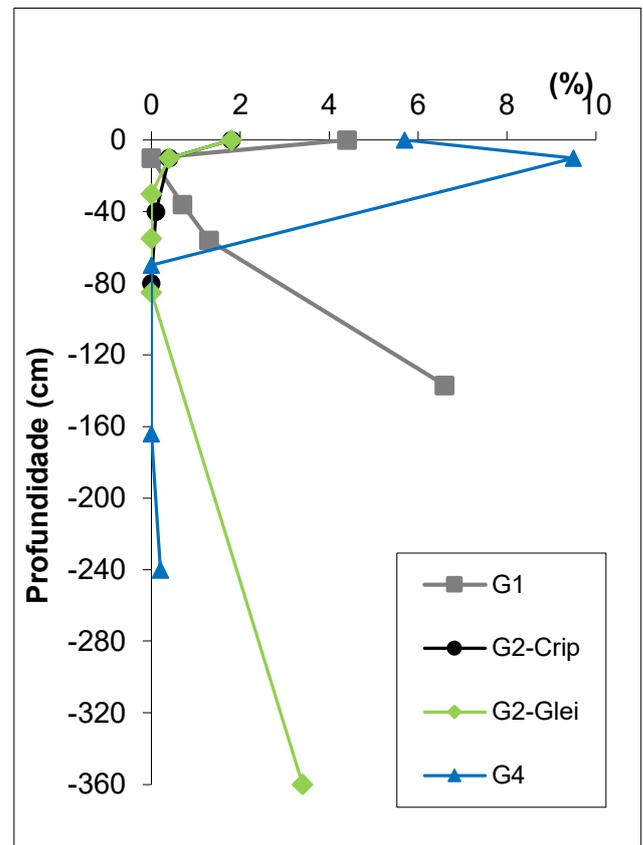


Figura 5 - Distribuição vertical do % de saturação do complexo sortivo por cátions básicos (V) nos perfis de solos dos geoambiente estudados (G1, G2 e G4).

Os cátions básicos trocáveis estão armazenados em três horizontes, basicamente: horizontes superficiais

em todos os perfis; horizontes espódicos dos Espodosolos e nas partes mais profundas dos horizontes de alteração branco com teores mais altos de silte e argila. Nos horizontes superficiais orgânicos e nos horizontes espódicos dos Espodosolos os cátions básicos trocáveis têm como origem principal a decomposição dos resíduos vegetais; enquanto nos horizontes de alteração os nutrientes originam-se principalmente do intemperismo de minerais primários, sobretudo das micas moscovitas, ainda visíveis nesses horizontes. Apenas uma amostra profunda de alteração foi analisada (no Gleissolo do G2, a 360 cm de profundidade; Figura 5), mas minerais primários pouco intemperizados (micas moscovitas, em sua maior parte) foram diagnosticados nas tradagens nos neossolos e no solo laterítico do G3.

### **Discussão: Interpretações genéticas e a evolução da paisagem**

Os materiais do saprolito apresentam forte semelhança entre os perfis estudados, indicando uma continuidade lateral destes materiais no conjunto da paisagem, desde os Espodosolos bem drenados do G1, passando pelo Criptopodzol e pelo Gleissolo do G2, pelos solos lateríticos do G3, até os Espodosolos hidromórficos do G4. Isso sugere uma gênese comum para todos esses materiais de alteração.

Há também uma conexão lateral entre os materiais pedológicos do G1 e do G2: do topo com Espodosolo bem drenado até o começo do Criptopodzol. Observa-se, a partir da ruptura de declive que marca o começo da vertente, uma diminuição da espessura do horizonte E do Espodosolo e uma aproximação, em relação à superfície, do nível freático suspenso e dos horizontes espódicos. Isto demonstra que o nível freático e os horizontes que o sustentam (espódicos) estão, nesses dois geoambientes, dispostos de maneira aproximadamente nivelada, paralelamente à superfície plana do topo onde se encontra o Espodosolo bem drenado. Em outras palavras, o plano da vertente associada ao primeiro igarapé intercepta esses horizontes e o lençol suspenso, em situação análoga àquela descrita por Bueno (2011) para outra área da mesma bacia. A partir desse ponto de interceptação, para jusante, a pedogênese atual se faz sobre os antigos materiais de alteração brancos e mais siltosos e argilosos, agora expostos. Nas áreas mais próximas da faixa de afloramento do nível freático, a nova pedogênese é responsável pela continuidade, para jusante, dos

Criptopodzóis. Isso foi explicado por Rossin (2013), em estudo na mesma área, como resultante do escoamento das águas escuras e carregadas de matéria orgânica, originárias do Espodosolo do topo, pela superfície da encosta, impregnando os materiais do antigo horizonte de alteração. Devido à acidez dessas águas criam-se, ali, condições para uma nova podzolização, desta vez com horizontes concordantes com o plano da nova vertente. Caracteriza-se então, no G2, um sistema de transformação pedológica (BOCQUIER, 1971; BOULET *et al.*, 1977), que avança no sentido de jusante, podzolizando os materiais de alteração mais argilosos e siltosos ali expostos. Nas áreas mais a jusante da faixa de afloramento do nível freático, na baixa vertente, os horizontes superficiais são ainda úmidos, mas o material branco do horizonte de alteração é ainda pouco impregnado em matéria orgânica e permanece com teores elevados de argila, caracterizando um Gleissolo. Na vertente oposta (G3), o plano da vertente intercepta também os horizontes de solos mais antigos de platô, que nessa parte da paisagem são de natureza laterítica e não Espodosolos. Nesse caso, como não havia Espodosolo no topo e nem nível de lençol suspenso, condições de boa drenagem são encontradas atualmente ao longo de toda a vertente. A nova pedogênese se faz a partir de material saprolítico análogo ao da vertente acima descrita, porém sem saturação hídrica e sem impregnação por matéria orgânica associada ao nível de lençol de águas pretas proveniente de Espodosolos.

O Espodosolo hidromórfico do G4 apresenta características morfológicas e físicas bastante próximas daquelas do Espodosolo bem drenado, do G1. A diferença principal se trata da profundidade do nível freático, que se encontra a poucos centímetros da superfície no G4 e a mais de 130 cm de profundidade no G1. Esse fato se explica pela diferença de altitude entre esses geoambientes (90 m de altitude para o G1 e 82 m de altitude para o G2), o que resulta em um desnível de 8 m entre o topo plano do primeiro geoambiente e seu nível de base local (primeiro igarapé) e de apenas 2 m entre a superfície plana do segundo geoambiente e seu nível de base local (segundo igarapé) (Figura 2). Diante do fato de que o relevo atual da área resulta de um processo de incisão da rede de drenagem sobre a superfície dos baixos platôs, supõe-se que o G1 apresentou, no passado, condições hídricas comparáveis às observadas hoje no G4 e que, continuando a tendência de incisão, o G4 pode sofrer rebaixamento do nível

freático e estabelecimento de condições próximas das encontradas no G1.

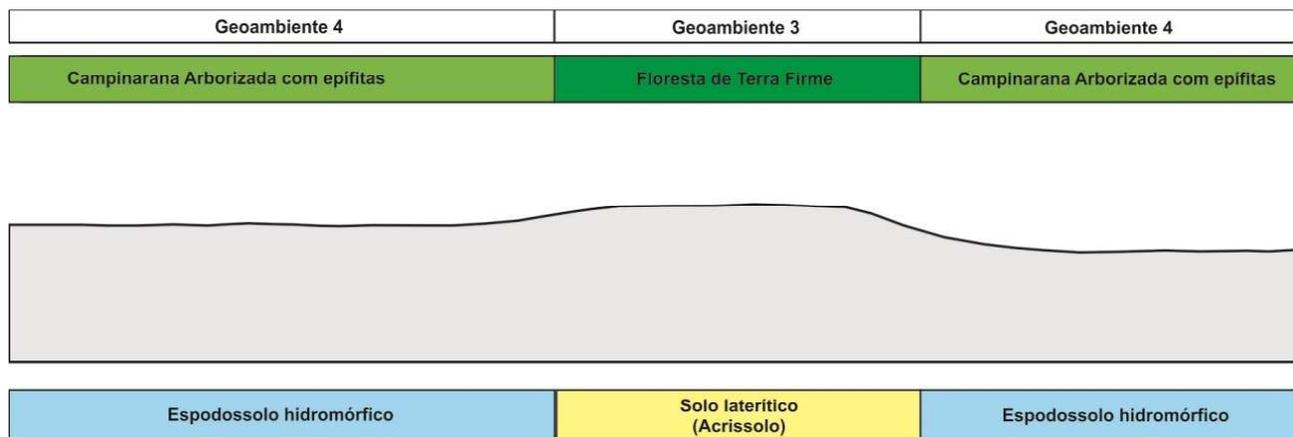
As transformações no relevo, nas características hídricas e nos solos da paisagem estudada, sugeridas pelas observações de campo e pelos dados analíticos, certamente se refletiram em significativas mudanças nas características da cobertura vegetal e na dinâmica da matéria orgânica nos solos. Caso as condições climáticas numa fase imediatamente anterior à incisão do baixo platô pela rede de drenagem tenham sido semelhantes às condições atuais, espera-se que no atual G1 tenha existido uma cobertura vegetal do tipo Campinarana Arborizada com epífitas, com indivíduos arbóreos de pequeno/médio porte, altura média em torno de 12,5 m, além do microrrelevo em pequenos canais, formada pela presença de pteridófitas em “murundus” e emaranhados de raízes. A vegetação de Campinarana Arborizada com epífitas das depressões com Espodossolo hidromórfico, e a Floresta de Terra Firme, que existiria sobre o platô com solos lateríticos (G3), seriam os tipo de vegetação mais antigos. A incisão da rede de drenagem, que elaborou as vertentes da área estudada, teve dois reflexos principais nos solos: o rebaixamento do nível freático no Espodossolo, agora situado em posição elevada, de topo, e a exposição dos horizontes mais profundos dos solos e seus materiais de alteração nas novas vertentes. Isso cria melhores condições de drenagem e permite o desenvolvimento de um horizonte E espesso que caracterizam atualmente o G1, nos topos. Estas condições favoreceram o desenvolvimento de cobertura de Campinarana Florestada, que apresenta vegetação de médio porte, troncos eretos e dominância de uma única espécie *Eperua leocantha* (Javacana). Permite, também, o estabelecimento do G2 na vertente, onde a possibilidade de escoamento lateral e a presença de substratos mais argilosos e com alguma disponibilidade de nutrientes, ainda armazenados nos minerais primários, favorece o desenvolvimento de uma cobertura vegetal de porte um pouco maior do que o das Campinaranas arborizadas, do G1. Essa cobertura vegetal foi classificada como uma formação de transição entre a Campinarana arborizada e a Floresta de Terra Firme. Devido às condições de hidromorfia estabelecidas ao longo da vertente, essa área passa a se configurar como um local privilegiado de acumulação de matéria orgânica, sendo perceptível pela da coloração escura dos solos, e da ausência de um horizonte E individualizado, o que caracteriza os Criptopodzóis.

Diante dos Resultados e de suas interpretações, propõe-se um modelo de evolução da paisagem da área de estudo (Figura 6). A evolução da paisagem, nesse transecto, está intimamente ligada ao desenvolvimento e evolução da podzolização e à instalação e incisão da drenagem. A vegetação e sua variação apresentam-se como importante indicador de dessa transformação.

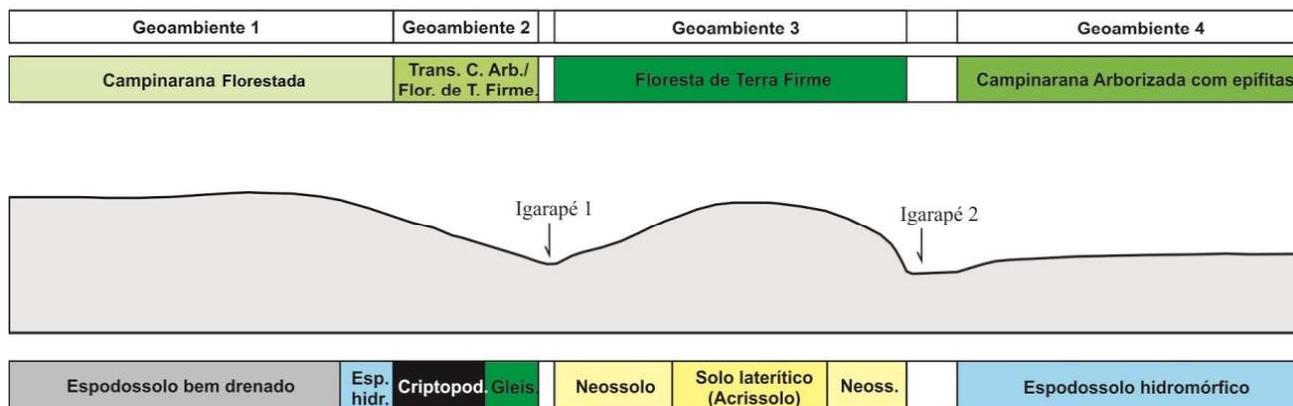
No Tempo 1, chamado de pré-incisão do baixo platô, a geomorfologia apresentava duas áreas deprimidas separadas por uma colina de topo plano, de baixa elevação. O transecto considerado seria dividido em apenas dois geoambientes, que seriam os geoambiente 3 e 4 atuais (similares aos atuais) e caracterizados pela presença de Espodossolo hidromórfico com fitofisionomia de Campinarana arborizada com epífitas, nas duas extremidades (G4 – áreas deprimidas) e, no centro, pela presença de um solo laterítico sobre a colina, sob vegetação de Floresta de Terra Firme (G3) (Figura 6).

Na evolução para o Tempo 2, considerado o estágio atual, há um processo de incisão da rede de drenagem sobre a superfície dos baixos platôs. Essa incisão se deu a partir da intensificação dos fluxos hídricos, inicialmente de forma hipodérmica e, posteriormente, em superfície (ex: FILIZOLA e BOULET, 1996), desde o nível do platô, rumo aos principais canais de drenagem da região. Esse processo resultou na elaboração de uma franja mais dissecada nas bordas dos platôs, com relevo de colinas, acompanhando as margens dos rios principais. O relevo transformado é então caracterizado pela presença de relevos relictuais dos platôs e colinas separados pelos novos igarapés, e novos geoambientes se estabelecem nas vertentes elaboradas (Figura 6). À esquerda da figura, o Espodossolo, antes hidromórfico, se torna bem drenado, dando origem ao G1, que também abriga, em sua borda, o Espodossolo hidromórfico, estando os dois solos sob uma nova fitofisionomia, a Campinarana Florestada. Essa cobertura vegetal se estabelece em resposta às transformações pedológicas e hídricas dessa parte da paisagem. Ao longo da vertente elaborada pela incisão do igarapé 1 é observado o G2, caracterizado pelo Criptopodzol e pelo Gleissolo. A morfologia desses solos resulta do aporte de água carregada de matéria orgânica proveniente dos lençóis suspensos de montante sobre os materiais de alteração das antigas coberturas de platô, agora expostos na vertente. A vegetação foi caracterizada como uma transição da Campinarana Florestada para Floresta de Terra Firme.

Tempo 1 (pré-incisão do baixo platô)



Tempo 2 (estágio atual)



Tempo 3 (evolução futura, supondo-se a continuidade da incisão do baixo platô)

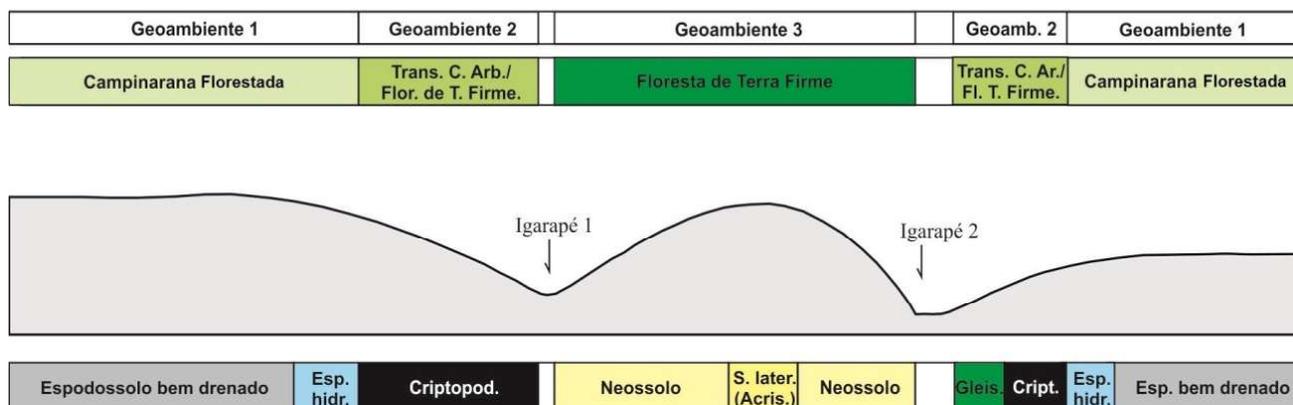


Figura 6 - modelo de evolução da paisagem da área de estudo.

O próximo geoambiente é o G3, uma colina de solo laterítico. No topo esse solo é mais desenvolvido, possivelmente guardando ainda alguma herança do estágio evolutivo anterior, quando a colina era de topo mais plano. Nas vertentes há presença do Neossolo, cuja pedogênese lateritizante, sem influência de níveis freáticos suspensos, se dá a partir de material saprolítico de cor pálida, semelhante àquele exposto na vertente do G2. Esses solos são cobertos pela Floresta de Terra Firme, mantida desde o estágio evolutivo anterior. Após o segundo igarapé tem-se o G4, numa superfície rebaixada e aplainada, onde o lençol freático está muito próximo da superfície. Esse geoambiente é composto pelo Espodossolo hidromórfico e pela Campinarana Arborizada com presença de epífitas de diferentes espécies, abrigadas em diferentes alturas, preservando, portanto, condições provavelmente semelhantes àquelas do estágio evolutivo anterior (Tempo 1).

É proposta ainda uma evolução futura, supondo-se a continuidade do aprofundamento das incisões no baixo platô, o chamado Tempo 3, que pode ser observado na Figura 6. Continuando a tendência de incisão da rede de drenagem, o G4 poderá sofrer rebaixamento do nível freático e o estabelecimento de condições próximas às encontradas, atualmente, no G1. A nova configuração representa o desaparecimento do G4 devido ao estabelecimento geral de melhores condições de drenagem, e também transformações no G2, resultantes da progressão, para jusante, do Criptopodzol, em detrimento do Gleissolo. O G1 se mantém assim como é encontrado atualmente, possivelmente com um aprofundamento de seu lençol suspenso e aumento da espessura de seu horizonte E. A antiga área ocupada pelo G4 passa a ter a mesma configuração de solo e vegetação do G1. O centro do transecto também se mantém composto pelos Neossolos (ou talvez Cambissolos) nas vertentes e solos lateríticos, no topo. A vegetação continua do tipo Floresta de Terra Firme. Gleissolos existirão apenas na base da nova vertente elaborada a partir da superfície do antigo G4, adjacente ao Igarapé 2. Eles resultam da exposição do material saprolítico pálido e mais siltoso, decorrente da incisão do canal, ali não impregnado pela matéria orgânica do lençol suspenso.

Sendo assim, além da alteração/evolução morfológica e pedológica da paisagem, a diferenciação e a especialização da vegetação também deverão ser notadas.

## **Considerações Finais**

A região amazônica permanece ainda pouco conhecida do ponto de vista científico. O bioma Amazônia é composto por diferentes tipos de vegetação e fitofisionomias, algumas com forte contraste em relação à chamada Floresta de Terra Firme, como por exemplo, aquelas coberturas vegetais, de menor porte e que se desenvolvem sobre materiais cujas camadas superficiais possuem teores muito elevados de areias, e/ou que se apresentam saturados durante parte significativa do ano, entre elas, as Campinaranas.

As Campinaranas amazônicas da região de São Gabriel da Cachoeira, na alta bacia do Rio Negro, são singulares ecossistemas arenícolas, diretamente ligados às propriedades texturais dos solos, aos seus teores de nutrientes e de matéria orgânica e que sofrem influência direta do comportamento do nível do lençol freático. São ambientes de grande fragilidade e grande importância para o ciclo do carbono, uma vez que os horizontes espódicos dos Espodossolos seu principal substrato, são reconhecidos como importantes armazenadores de Carbono, as Campinaranas são ainda muito pouco conhecidas do ponto de vista florístico, ecológico e biogeográfico.

Na área de estudo, diferentes tipos de Campinarana e a Floresta de Terra Firme aparecem lado a lado, podendo ser estudados em um transecto de apenas 735 metros de distância, onde foram caracterizados quatro geoambientes distintos (G1 a G4): G1 - TR1 - Espodossolo bem drenado em topo plano e Espodossolo hidromórfico de alta vertente, com Campinarana Florestada homogênea; G2 - TR2 e TR3 - Criptopodzol e Gleissolo, vegetação de transição entre Campinarana Florestada e Floresta de Terra Firme; G3 - TR4 - solo laterítico, com Floresta de Terra Firme; G4 - TR5, composto por Espodossolo Hidromórfico de depressão, sob Campinarana Arborizada com presença de epífitas. A vegetação presente nos três geoambientes apresentam características estruturais diferenciadas entre si, sendo contrastantes na abundância, composição e diversidade de espécies.

Dois processos parecem ser os principais motores da evolução das paisagens estudadas: a podzolização e a instalação e incisão da rede de drenagem sobre os platôs. As relações entre esses processos na área per-

mitem propor uma conexão genética entre os diferentes geoambientes. A vegetação e sua variação se mostraram um importante indicador de dessa transformação. Os G3 e G4 foram interpretados como os geoambientes mais antigos, desenvolvidos em uma paisagem de platô com depressões podzolizadas. A instalação e a incisão da rede de drenagem elaboraram novas vertentes, cujos planos interceptam os horizontes dos solos do platô e de suas depressões, expondo os saprolitos e drenando as depressões com Espodosolos. Melhores condições de drenagem permitem a formação do G1 e, a jusante deste, na vertente, a formação do G2, sob condições locais de hidromorfia.

Os Espodosolos amazônicos sob as Campinaranas e associações, representam os geoambientes mais relevantes na prestação de serviços ambientais de conservação do Carbono nos solos na região da bacia do alto Rio Negro. A evolução dos Espodosolos hidromórficos para os Espodosolos bem drenados implica no estabelecimento de condições de melhor oxigenação nos solos e numa mineralização mais eficiente da matéria orgânica. Esse processo promove a liberação de parte do Carbono armazenado nesses solos para a atmosfera.

Diante da extensão das coberturas de Campinaranas sobre Espodosolos na bacia do Rio Negro e considerando a existência de uma tendência de incisão da rede fluvial sobre os platôs, com o consequente desenvolvimento de Espodosolos com nível freático mais profundo, é de se esperar que importantes quantidades desse elemento químico sejam liberadas desses solos. Parte dessa liberação pode ser compensada pelo estabelecimento de Criptopodzóis ao longo das vertentes das incisões de drenagem, desde que uma nova podzolização possa ali se desenvolver. A presença de Espodosolos em posição de topo, a montante dessas vertentes, pode favorecer esse processo.

As relações genéticas e cronológicas entre as Campinaranas amazônicas, Floresta de Terra Firme e suas transições e associações, e entre seus tipos de cobertura vegetal, em nível local, na escala da paisagem, começam a ser compreendidas. Contudo, para que se tenha melhor conhecimento e entendimento da composição vegetal e suas adaptações se faz necessária a realização de mais estudos e uma área maior, tendo assim, a caracterização amostral maior e melhor conhecimento dos fatores que influenciam a distribuição e adaptação das espécies e geoambientes. O efeito da variação do lençol freático e a inundação sobre a vegetação em diferentes períodos do

ano (observação da sazonalidade e sua influência sobre a vegetação), tanto no seco como no chuvoso, deve ser investigado a fim de aprofundar as discussões sobre o efeito e adaptações das espécies nesses ambientes. É válido ressaltar a importância de abrir novas trincheiras, em pontos de transição dos solos já amostrados, para análise e caracterização dos solos de uma área mais extensa e profunda, possibilitando assim, conhecer melhor a dinâmica da paisagem.

### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por financiar a pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa e à equipe de auxiliares de campo.

### Referências Bibliográficas

- ANDERSON, A. B. White-sand Vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, Washington. 13 (3): 199 – 210. 1981. (DOI: 10.2307/2388125)
- BOCQUIER, G. **Genese et évolution de deux toposequences de sols tropicaux du tchad interprétation biogéodynamique.** Memóire ORSTOM. Paris. 1971. 350p.
- BOULET, R.; BOCQUIER, G.; MILLOT, G. Geochimie de la surface et formes du relief i. Desequilibre pedobioclimatique dans les couvertures pédologiques de l’afrique tropicale de l’ouest et son role dans l’aplanissement des reliefs. *Science Géologique Buletin*. Strasbourg. 1977. p. 235-243.
- BOULET, R.; CHAUVEL, R.; LUCAS Y. Les systemes de transformation enpedologie. *Livre Jubilaire du Cinquantenaire - Association Française pour l’Etude du Sol, Maugein - Lachaise*, Malemort; p. 167 – 179. 1984.
- BUENO, Guilherme Taitson. **Appauvrissement et podzolisation des latérites du bassin du Rio Negro et gênese dès Podzols dans le haut bassin amazonien.** 2009. 191f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Unesp, Rio Claro, 2009.
- BUENO, G. T. ; NASCIMENTO, N. R. ; FRITSCH, E. . Considerações acerca da evolução dos relevos nas paisagens podzolizadas da bacia do Rio Negro - AM. In: IX ENANPEGE - Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 2011, Goiânia. **Anais do IX ENANPEGE, 2011.** v. único.
- CAMARGO, O. **Métodos de análise química, mineralógica e**

- física de solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Boletim Técnico. Campinas: Instituto Agronômico, nº 106, 1984. 94p.
- CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, n.34, p. 277-289, 2010. (ISSN 1806-9657)
- DINIZ, A. D. **Origem e dinâmica do mercúrio em sistemas de transformação Latossolo-Espodosolo na bacia do Rio Negro, Amazonas.** 2011. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Unesp, Rio Claro, 2011
- DUCHAUFOR, Ph. **Processus de formation des sols. Biochimie et Géochimie.** Nancy: Éditions CRDP, Coll. Études et Recherches, 182p, 1972.
- FILIZOLA, H.F.A.; BOULET, R. **Evolution and opening of closed depressions developed in quartzkaolinitic sedimentary substratum at Taubate basin, São Paulo, Brazil, and analogy to the slope evolution.** *Geomorphology*, 16: 77-86, 1996.
- GOBAT, J. M.; ARAGON, M.; MATTHEY, W. **Le Sol vivant.** Presses Polytechnique et Universitaires Romandes. 569 p. France. 2003.
- PIRES, J. M. **Tipos de Vegetação da Amazônia.** Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, 79 – 209. Publicação Avulsa. nº 20. 1973.
- PRANCE, G. T., LOVEJOY, T. E. **Amazonia.** Pergamon Press. 5 edição. 83 – 93. 1985.
- PROJETO RADAMBRASIL. Projeto Radam. **Levantamento de Recursos Naturais. Vol. 1 – 15.** Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro, Brasil. 1972-1978.
- ROSSIN, Bruna Gomes. **Evolução pedo-morfológica de uma bacia de águas escuras e dinâmica das suas matérias orgânicas no decorrer desta evolução.** 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Unesp, Rio Claro, 2013.[
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5ªEd. (revista e ampliada). Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 100p. 2005.
- SORRENTINO, N.; MOUNIER, S.; BENAÏM, J.Y. **Excitation-emission fluorescence matrix to study pH influence on organic matter fluorescence in the Amazon basin rivers.** *Water Research*, n.36. 2571-2581. 2002. (DOI:10.1016/S0043-1354(01)00469-9).
- VICENTINI, A. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú. S. H. Borges; S. Iwananga; M. R. Pinheiro (eds). **Janelas para biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia.** Fundação Vitória Amazônica (FVA). WWF, IBAMA. Manaus, 117 – 143. 2004.