



## Modelos preditivos de estoque de carbono do solo em terras pretas arqueológicas

Renato López Noronha <sup>(1\*)</sup>; Marcelo Dayron Rodrigues Soares <sup>(1)</sup>; Camila V. Vieira Farhate <sup>(1)</sup>; Zigomar Menezes de Souza <sup>(1)</sup>; Stanley Robson de Medeiros Oliveria <sup>(2)</sup>

- <sup>(1)</sup> Departamento de Água e Solos, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 13083-875 (\*apresentador: renato.lopez.noronha@gmail.com).
- <sup>(2)</sup> Embrapa Informática Agropecuária, CEP 13083-886.

**RESUMO:** Na Amazônia, os solos conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), apresentam horizonte A antrópico e estão associados à prolongada ocupação humana, nos quais os atributos químicos e físicos apresentam maior qualidade em relação aos outros solos da Amazônia. Entretanto, as conversões desses ecossistemas naturais em ambientes de cultivo proporcionam alterações na dinâmica de carbono no solo, que frequentemente, provocam o declínio no teor de carbono orgânico do solo. Logo, o objetivo desde trabalho foi utilizar técnicas de mineração de dados para gerar um modelo preditivo sobre o efeito do uso do solo no estoque de carbono em áreas de Terra Preta Arqueológica, naturais e transformadas. O experimento foi realizado nos municípios de Manicoré e Apuí, AM, Brasil. A partir de um conjunto de dados composto por 21 atributos, sendo 20 atributos preditivos, formados por 13 atributos físicos, 6 atributos químicos, 1 atributo do uso do solo e uma variável resposta, estoque de carbono do solo (ECS). Devido ao grande número de atributos, um procedimento de seleção de atributos foi conduzido. Para a classificação dos dados foi utilizada a técnica de árvore de decisão disponível no software *Weka* 3.8. Os resultados demonstraram que a combinação dos métodos de seleção de atributos e a técnica de árvore de decisão, foram eficientes em fornecer modelos preditivos do ECS em Terra Preta Arqueológica.

**Termos de indexação:** Sistema de manejo do solo, árvore de decisão, solos antrópicos.

### INTRODUÇÃO

Na Amazônia, os solos conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), apresentam horizonte A antrópico e estão associados à prolongada ocupação humana, realizada por sociedades

índigenas do período pré-colombiano (EMBRAPA,2013).

CAMPOS et al. (2012) relataram que os atributos químicos e físicos das TPA são superiores em relação aos de outros solos da Amazônia, figurando como grande reservatório de carbono orgânico. Em função das características adequadas para o cultivo, as TPA são bastante exploradas na Amazônia, entretanto, o uso e manejo inadequados podem provocar alterações indesejáveis no ecossistema natural, levando a degradação do solo (CAMPOS et al., 2012). Em adição, no cenário atual, a investigação do mecanismo de sequestro de carbono destes solos apresenta uma posição de interesse frente a comunidade científica, uma vez que, o biocarvão, presente nas TPA é geralmente muito estável (LEHMANN et al., 2006), e esse aspecto combinado com a alta fertilidade (MANGRICH et al., 2011) é exclusivo deste solo. Assim, as TPA podem atuar como um modelo de solo, para entender melhor a fertilidade a longo prazo e o potencial de sequestro de carbono (MAIA, 2010), em resposta a práticas de gestão antropogênicas.

Por conseguinte, propõe-se nessa pesquisa a validação da seguinte hipótese de trabalho: a utilização de técnicas de mineração de dados aplicadas a um conjunto de dados composto por atributos físicos e químicos do solo, utilizando como atributo resposta o estoque de carbono em TPA, fornecerá modelos preditivos, com elevada precisão e acurácia, capazes de auxiliar o processo de tomada de decisão sobre possíveis práticas de manejo capazes de conservar ou aumentar o estoque de carbono do solo. O objetivo deste trabalho foi elaborar modelos preditivos de estoque de carbono no solo em TPA, naturais e transformadas utilizando técnicas de mineração de dados.



## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição da área experimental

O estudo foi conduzido em propriedade rurais na região sul do estado do Amazonas, em áreas com cinco diferentes usos e presença de horizonte A antrópico, conforme EMBRAPA (2013). As áreas de Floresta e Pastagem estão localizadas no município de Humaitá (com coordenadas de 07° 30' 22" S e 63° 01' 15" W), e as áreas de Café, Cacau e Feijão estão localizadas no município de Apuí (com coordenadas de 07° 12' 05" S e 59° 39' 35" W).

### Entendimento dos dados

O conjunto de dados original foi composto por 21 atributos, sendo 20 atributos preditivos, formados por 13 atributos físicos do solo, seis atributos químicos do solo, por fim, um atributo relacionado ao uso do solo e um atributo resposta ou atributo-meta, que se refere ao ECS que é o alvo da classificação.

### Pre processamento dos dados

Para identificar diferentes níveis de estoque de carbono do solo, foi realizado a discretização do atributo-meta em categorias. Para isso, os valores de ECS foram ordenados de forma crescente e divididos igualmente em duas classes: Baixa [29; 207] e Alta [208; 574] (t ha<sup>-1</sup>).

### Seleção de atributos

Devido ao grande número de atributos gerados no pré-processamento de dados, uma seleção de atributos foi utilizada visando melhorar a desempenho do algoritmo de aprendizagem. Para isso, foram avaliadas quatro abordagens para seleção de atributos: (i). Sem seleção de atributos; (ii). Seleção Características da Correlação (CFS); (iii). Qui-quadrado ( $\chi^2$ ); (iv). *Wrapper*.

### Indução do modelo

Para a classificação dos dados foi utilizado o método de Árvore de Decisão Binária induzida no software Weka 3.8 ©. O algoritmo de indução utilizado foi o J48, amplamente conhecido como C4.5, desenvolvido por QUINLAN (1993).

### Validação do modelo

Os modelos induzidos, foram avaliados utilizando o método de validação cruzada em 10 partes e três métricas: (i) taxa de acerto (acurácia); (ii) número de regras geradas; e (iii) estatística

*kappa*, que é uma medida de concordância entre as classes preditas e observadas do classificador.

Uma possível interpretação do desempenho dos modelos a partir da estatística *Kappa* foi introduzida por LANDIS e KOCH (1977) e é expressa na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Desempenho de modelos de classificação a partir do *Kappa*.

Estatística <i>kappa</i>	Qualidade
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito Boa
0,81 – 1,00	Excelente

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da aplicação dos diferentes métodos de seleção de atributos encontram-se descritos na **Tabela 2**.

Em relação a classificação do estoque de carbono, a utilização de todos os atributos presentes no banco de dados, proporcionou a geração de um modelo com 81% de taxa de acerto, estatística *Kappa* considerada muito boa segundo a interpretação de LANDIS e KOCH (1977) e com 24 regras geradas. Em contrapartida, o método *Wrapper* selecionou um subconjunto contendo apenas cinco atributos e com capacidade para gerar um modelo com 86% de taxa de acerto, estatística *Kappa* considerada muito boa, com somente oito regras geradas (**Tabela 2**).

Esses resultados indicam melhor desempenho do método *Wrapper* em selecionar subconjuntos de atributos preditivos em TPA na camada de solo de 0,00 – 0,05, pois esse produziu um modelo com alto poder preditivo, utilizando um subconjunto menor que os outros métodos, além disso, gerou uma árvore de decisão mais compreensível (**Figura 1**). Pode-se observar que a árvore está conformada por apenas oito regras através da participação de quatro atributos, a saber "Uso do solo", "Micro", "Umid (Vol)" e "P" em ordem decrescente de ganho de informação. Por exemplo, as regras mais simples da árvore seriam que, se o valor do atributo "Uso do solo" for *Floresta*, *Pastagem* ou *Cacau*, o modelo vai predisser o estoque de carbono como "BAIXA"; já para o valor *Feijão*, tem que acontecer



uma outra condição a qual está relacionada com o atributo "Micro" para ser predito: será "ALTA", se o valor do atributo "Micro" é maior que 30,41; se for menor ou igual desse valor, acontece uma nova condição (relacionada com o atributo "P"): será predito como "ALTA" se o valor do "P" for maior que 35,48, e será predito como "BAIXA" se o valor do atributo "P" for menor ou igual 35,48 (Figura 1). Finalmente para o valor *Café*, do atributo "Uso do solo", a predição tem relação com o atributo "Umidade (Vol)", sendo que será "ALTA" se o valor é maior que 3,34, e será "BAIXA" se o valor for menor o igual que esse valor.

Os resultados evidenciam que o atributo mais importante na classificação do estoque de carbono em TPA foi o uso do solo. Esse resultado está em concordância com estudos realizados por CUNHA et al. (2017) que avaliaram os atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica na região Amazônia e observaram que tanto o carbono orgânico quanto o estoque de carbono apresentaram alterações de acordo com os respectivos usos do solo, com maiores valores na camada 0,00-0,05 m, passando a ter menor valor quanto maior a profundidade. Em adição, CAMPOS et al. (2012) em caracterização física e química de terras pretas arqueológicas, encontraram maiores teores de carbono nos horizontes A.

## CONCLUSÕES

A combinação dos métodos de seleção de atributos e o algoritmo de classificação J48, mostraram um bom nível de eficiência.

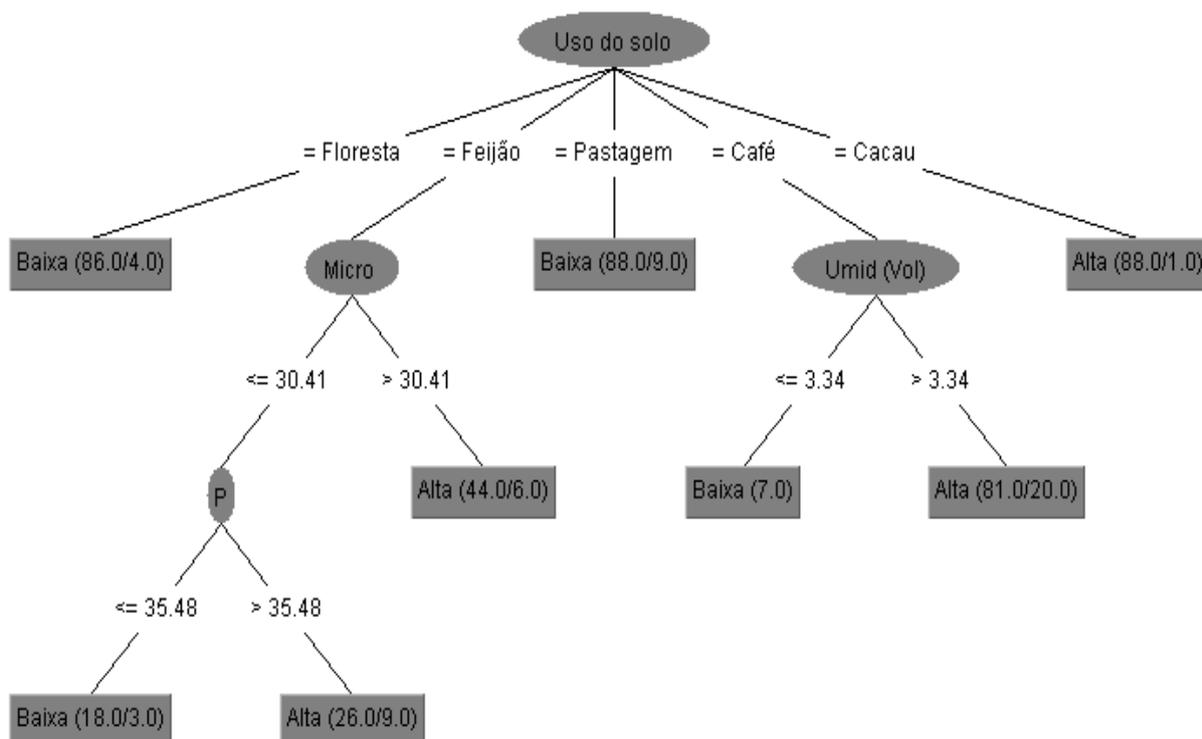
Identificou-se que o atributo "uso do solo" é o mais importante para predição de estoque de carbono do solo, na camada superficial (0,00 – 0,05 m).

## REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2013, 353 p.
- CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R.. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, **Amazonas. Revista Agro@ambiente** On-line, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.
- CUNHA, J.M., GAIO, D.C.; CAMPOS, M.C.C., SOARES, M.D.R., SILVA, D.M.P., LIMA, A.F.L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.12, n.2, p. 263-281, 2017.
- HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1055-1061, 2012.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1), 159-174, 1977.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, p.403-427, 2006.
- MAIA, C. M. B. F. **Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos**. Colombo: Embrapa Florestas, 1ª edição, 2010, 36 p.
- MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v.47, p.48-52, 2011.
- QUINLAN, J. R. **C4.5: Programs for Empirical Learning**. Morgan Kaufmann. San Francisco, California, 1993, pp 302.

**Tabela 2.** Desempenho dos modelos baseados em diferentes métodos de seleção de atributos para indução de árvore de decisão através do algoritmo J48.

Método de seleção	Atributos selecionados	Taxa de Acerto (%)	Estatística Kappa	Número Regras
Sem seleção	Todos	81	0,64	24
CFS	Uso do solo, Ds, Micro, VTP, Argila, Areia, < 2mm	85	0,69	9
$\chi^2$	Todos, menos Macro e K	84	0,68	15
<b>Wrapper</b>	<b>Uso do solo, Micro, Umidade e P</b>	<b>86</b>	<b>0,71</b>	<b>8</b>



**Figura 1** – Árvore de decisão resultante da utilização do método *Wrapper* para seleção de atributos e algoritmo J48 para indução de árvore de decisão na profundidade de 0,00-0,05 m, em Terras Pretas Arqueológicas, naturais e transformadas.