

Rastreamento de origem e georreferenciamento de vestígios criminais com base em traçadores isotópicos e elementares

Coordenadores: *Luiz Antonio Martinelli* – CENA/USP
Fábio Costa – INC/PF
***Gabriela Nardoto* - UnB**

- **Objetivo geral:** consolidar o uso de isótopos estáveis em Ciências Forenses no país
- **Objetivo científico:** aperfeiçoamento de modelos isotópicos de atribuição de origem geográfica: (i) *drogas ilícitas naturais* como cocaína e maconha, (ii) *remanescentes humanos* (ossos e dentes) e (iii) *madeiras extraídas ilegalmente na região amazônica*.
- **Objetivo acadêmico:** formação de alunos e técnicos especializados no uso da metodologia isotópica voltada à Ciência Forense.
- **Objetivo tecnológico:** A consolidação do uso rotineiro de métodos isotópicos no combate ao crime, inicialmente, através da Polícia Federal; mas como meta de médio a longo-prazo, incorporar o uso desta metodologia também em órgãos estaduais de segurança.

SEMINÁRIO DE IMPLEMENTAÇÃO

Equipe

Edital 16/2021 – Procad Segurança Pública e Ciências Forenses

Bastos, M. Q. R., Museu Nacional/UFRJ – bioantropólogo, análise material dentário e ósseo

Carmargo, P., CENA – coordenação analítica, análise isótopos estáveis

Costa, F., INC-PF – coordenação transferência tecnologia, construção de *isoscapes*

Duarte-Neto, P., UFRPE – modelos matemáticos de atribuições de origem geográfica

Freitas, J. M., INC-PF – drogas naturais

Higuchi, N., INPA – identificação de madeiras comercializadas na Amazônia

Kafino, C., INC-PF – geóloga, análises de isótopos estáveis

Machado, C. E. P., INC-PF – odontologia forense

Martinelli, L. A., CENA – coordenação geral e científica, interpretação isótopos estáveis

Moreira, Marcelo Zacharias, CENA – análises isotópicas, análise isótopos estáveis

Nardoto, G. B., UnB – coordenação acadêmica, interpretação isótopos estáveis

Rodrigues-Carvalho, C., Museu Nacional/UFRJ – antropologia forense

Santos, Roberto Ventura, UnB – análises e interpretação razões isotópicas

Saraiva, A. – Ex-Superintendência Polícia Federal, AM, análises madeiras da Amazônia

Sena-Souza, J. P., Universidade Federal de Montes Claros – construção de *isoscapes*

Tinoco, R., Universidade Salgado de Oliveira -odontologia forense



Projeto de pós-doutorado:

Aprimoramento de isoscapes de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para o Brasil

Eduardo Mariano

Projeto de doutorado:

**Distribuição espacial (isoscapes) da razão isotópica da água
de abastecimento de municípios do Nordeste brasileiro**

Carina Carlos de Arruda

Perita Criminal Polícia Civil do Estado do Piauí

Projeto de doutorado:

**Uso da composição do isótopo estável de oxigênio na determinação da origem
de espécies madeireiras de interesse comercial oriundas da região Amazônica**

Ana Cláudia Batista

Projeto de mestrado:

**Caracterização da variação isotópica de C e N de populações
contemporâneas para identificação humana**

Juliana Soares Emenes

SEMINÁRIO DE IMPLEMENTAÇÃO

Antecedentes

Edital 16/2021 – Procad Segurança Pública e Ciências Forenses

2014: Programa Ciências Forenses nº 25/2014 (Pró-ForeNSE)

**Desenvolvimento e aperfeiçoamento de metodologias
baseadas em marcadores moleculares e isótopos estáveis
aplicáveis no combate aos crimes contra a fauna brasileira**

Coordenadora: *Gabriela Nardoto*

2017: workshop **Ciência Contra o Tráfico de Animais Silvestres**,

organizado pelo projeto **Origem** da *Pólicia Federal*

Coordenador: *Fábio Costa*

2019: Superintendência da Polícia Federal em Manaus adquire

um Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS)

Alexandre Saraiva

SEMINÁRIO DE IMPLEMENTAÇÃO

Antecedentes

Edital 16/2021 – Procad Segurança Pública e Ciências Forenses

2019: RENIF – Rede Nacional de Isótopos Forenses (www.renifbrasil.org), criada durante o *InterForensics* na cidade de São Paulo



2019 - 1º Workshop Nacional sobre Isótopos Forenses.

2020 - 2º Workshop Nacional sobre Isótopos Forenses.

2021 (Agosto) - 2º Workshop Nacional sobre Isótopos Forenses.

SEMINÁRIO DE IMPLEMENTAÇÃO

Antecedentes

Edital 16/2021 – Procad Segurança Pública e Ciências Forenses

2020: LANIF – Laboratório Nacional de Isotopia Forense, Instituto Nacional de Criminalística (INC),
Polícia Federal, Brasília

Aquisição IRMS – Isotope Ratio Mass Spectrometry (Está chegando).

Jorge M. Freitas

Camilla Kafino

Fábio Costa

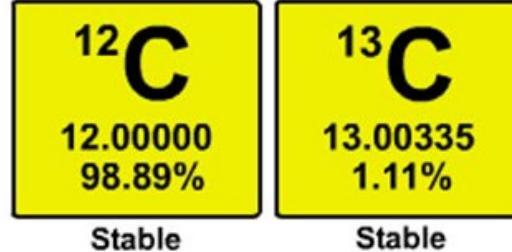


MINISTÉRIO DA
JUSTIÇA E
SEGURANÇA PÚBLICA



Metodologia Isotópica

ISÓTOPOS ESTÁVEIS
mesmo n prótons
diferente n nêutrons



$$R = \frac{\text{Isótopo 1}}{\text{Isótopo 2}}$$

^{13}C / ^{12}C

$$R = \frac{\text{Isótopo 1}}{\text{Isótopo 2}}$$

^{15}N / ^{14}N

$$R = \frac{\text{Isótopo 1}}{\text{Isótopo 2}}$$

^{18}O / ^{16}O

$$R = \frac{\text{Isótopo 1}}{\text{Isótopo 2}}$$

^2H / ^1H

$$\delta = \frac{R_{amostra}}{R_{padrão}} - 1$$

Metodologia Isotópica

Atomic species	Atomic species	R
Carbon	PDB	0.0112372
Nitrogen	Atmosphere	0.0036765
Oxygen	VSMOW	0.0020005
Deuterium	VSMOW	0.0001558

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{0.0109554}{0.0112372} - 1 \right) = -0.0250774$$

$$\delta^{13}\text{C} = -0.0250774 \times 1000 = -25.1\text{‰}$$

$\delta^{13}\text{C}$

$\delta^{15}\text{N}$

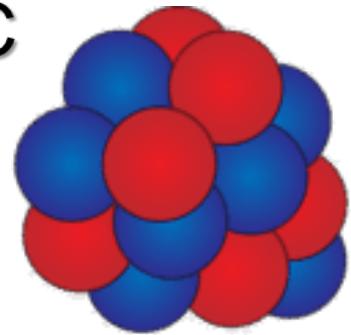
$\delta^{18}\text{O}$

$\delta^2\text{H}$

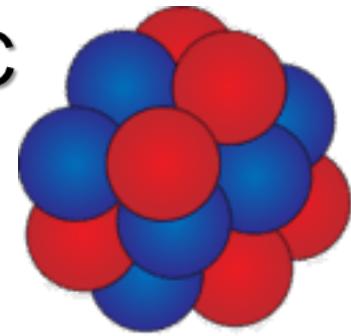
(δD)

Isotopic discrimination or fractionation

^{13}C

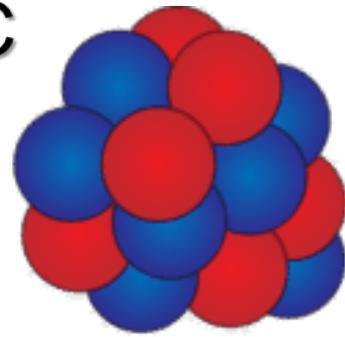


^{12}C

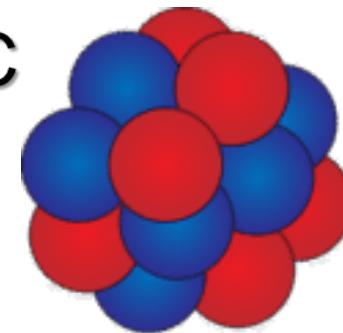


Isotopic discrimination or fractionation

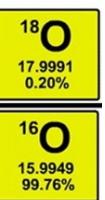
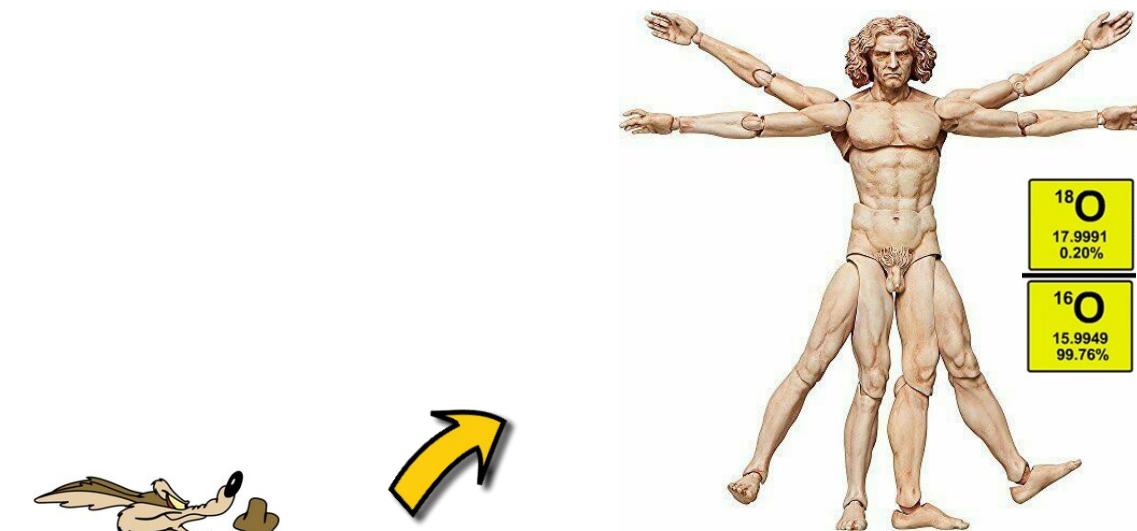
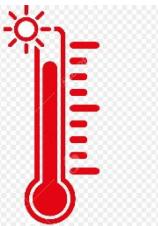
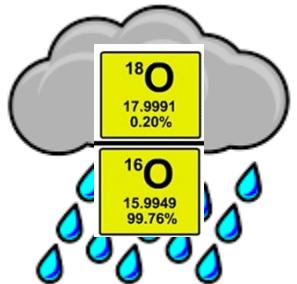
^{13}C



^{12}C



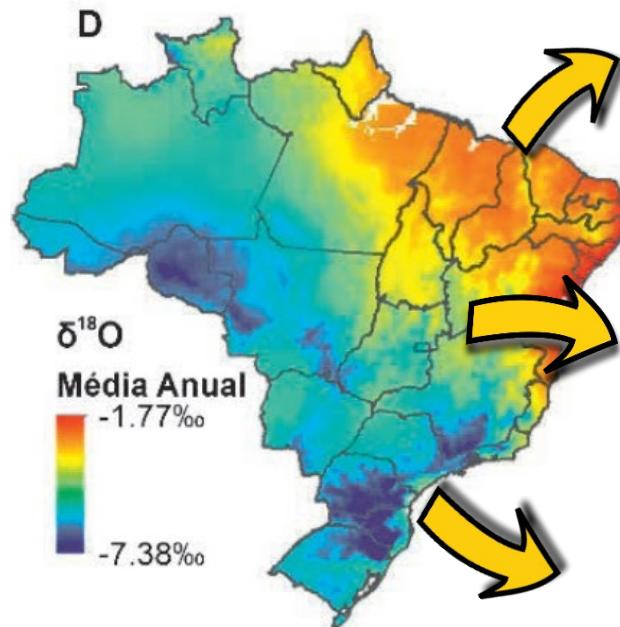
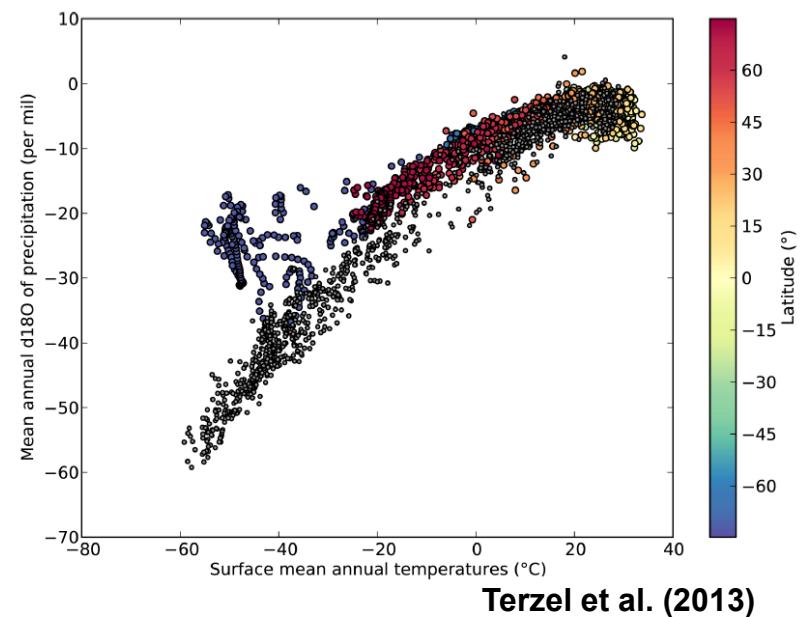
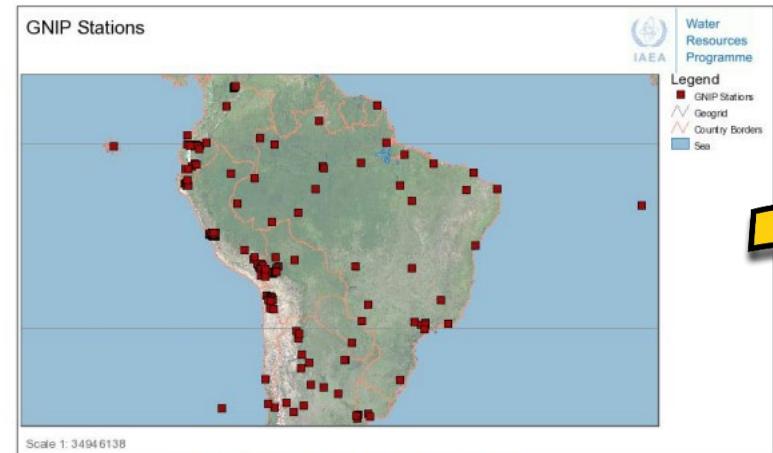
Metodología Isotópica



Isoscapes

Água de chuva - Brasil

Madeira ilegal
Amazônia



Drogas ilícitas:
maconha & cocaína



Restos humanos:
dentes & ossos

- **Objetivo científico:** aperfeiçoamento de modelos isotópicos de atribuição de origem geográfica:
 - (i) *madeiras extraídas ilegalmente na região amazônica.*
 - (ii) *remanescentes humanos* (ossos e dentes) e
 - (iii) *drogas ilícitas naturais* como cocaína e maconha,

Avanços desde ao último workshop

Madeiras região Amazônica

1. Aprimoramento das isoscapes de precipitação



Construção de isoscapes mensais e anuais, utilizando-se o script IsoriX (R) desenvolvido por Courtiol et al. (2019)

Courtiol, Alexandre, François Rousset, Marie-Sophie Rohwäder, David X. Soto, Linn Lehnert, Christian C. Voigt, Keith A. Hobson, Leonard I. Wassenaar, and Stephanie Kramer-Schadt. 2019. "Isoscape Computation and Inference of Spatial Origins with Mixed Models Using the R Package Isorix." In *Tracking Animal Migration with Stable Isotopes*, edited by Keith A. Hobson and Leonard I. Wassenaar, second. London: Academic Press.

2. Coleta e análise de amostras de água de abastecimento em diversos municípios brasileiros

3. Construção de isoscapes ($d^{18}O$) para água de folhas a partir do modelo Craig-Gordon

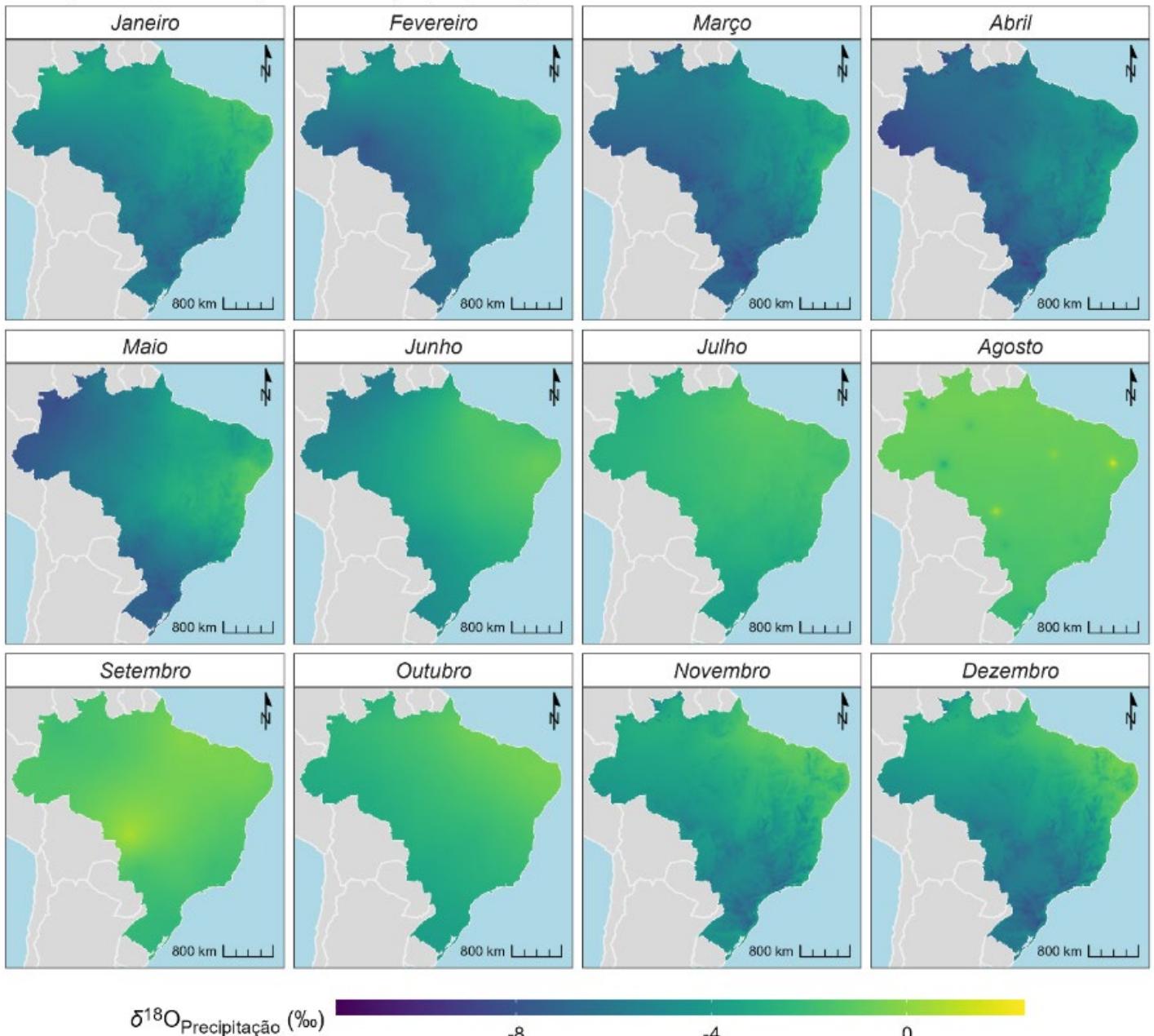
4. Construção de isoscapes ($d^{18}O$) para celulose a partir do modelo Craig-Gordon

5. Coleta e determinações isotópicas de amostras de madeira na região Amazônica

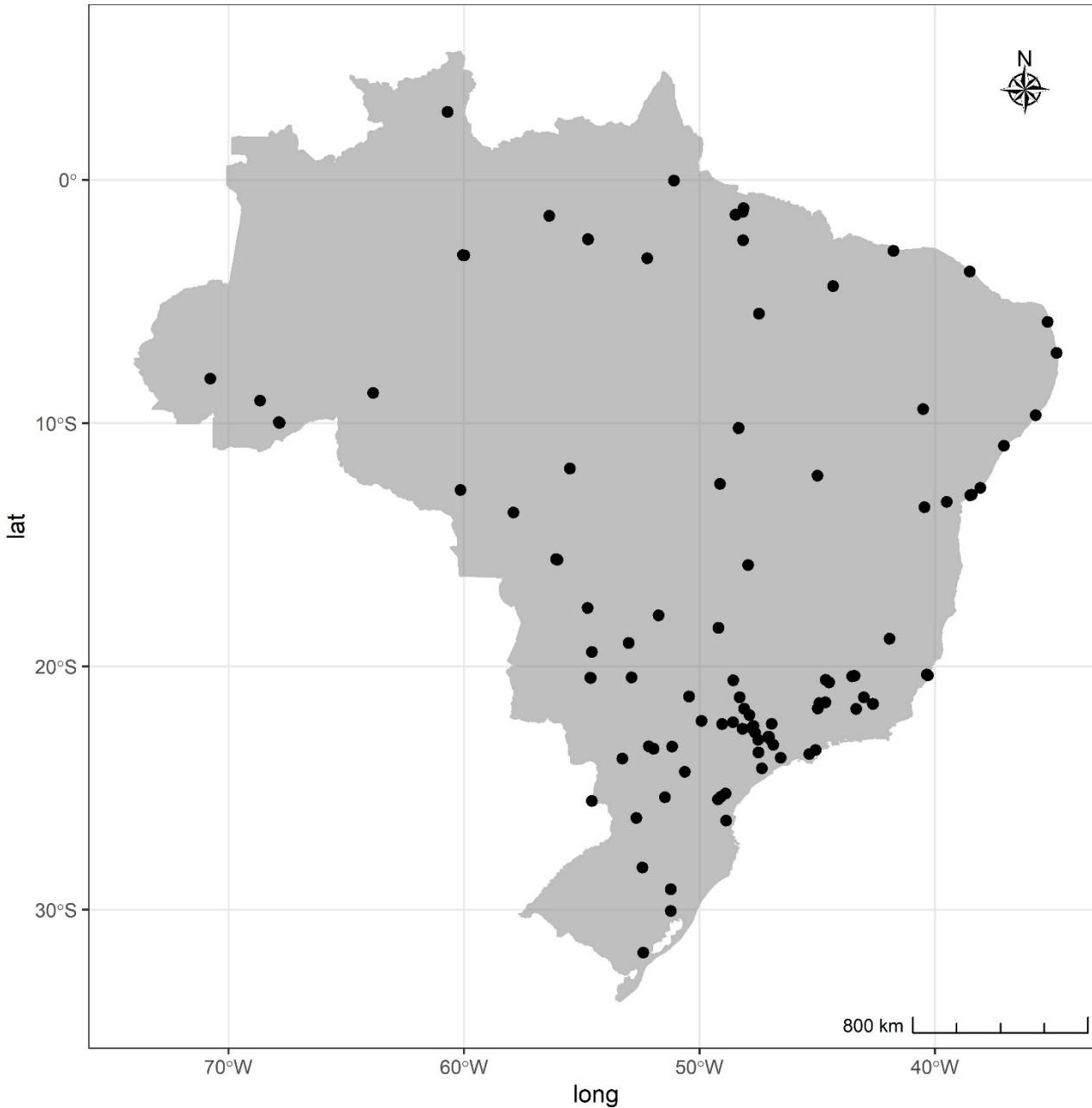
6. Seleção de métodos de extração de celulose visando menor tempo e consumo de reagente

Isoscapes mensais de $\delta^{18}\text{O}$ elaboradas com o pacote ISORIX

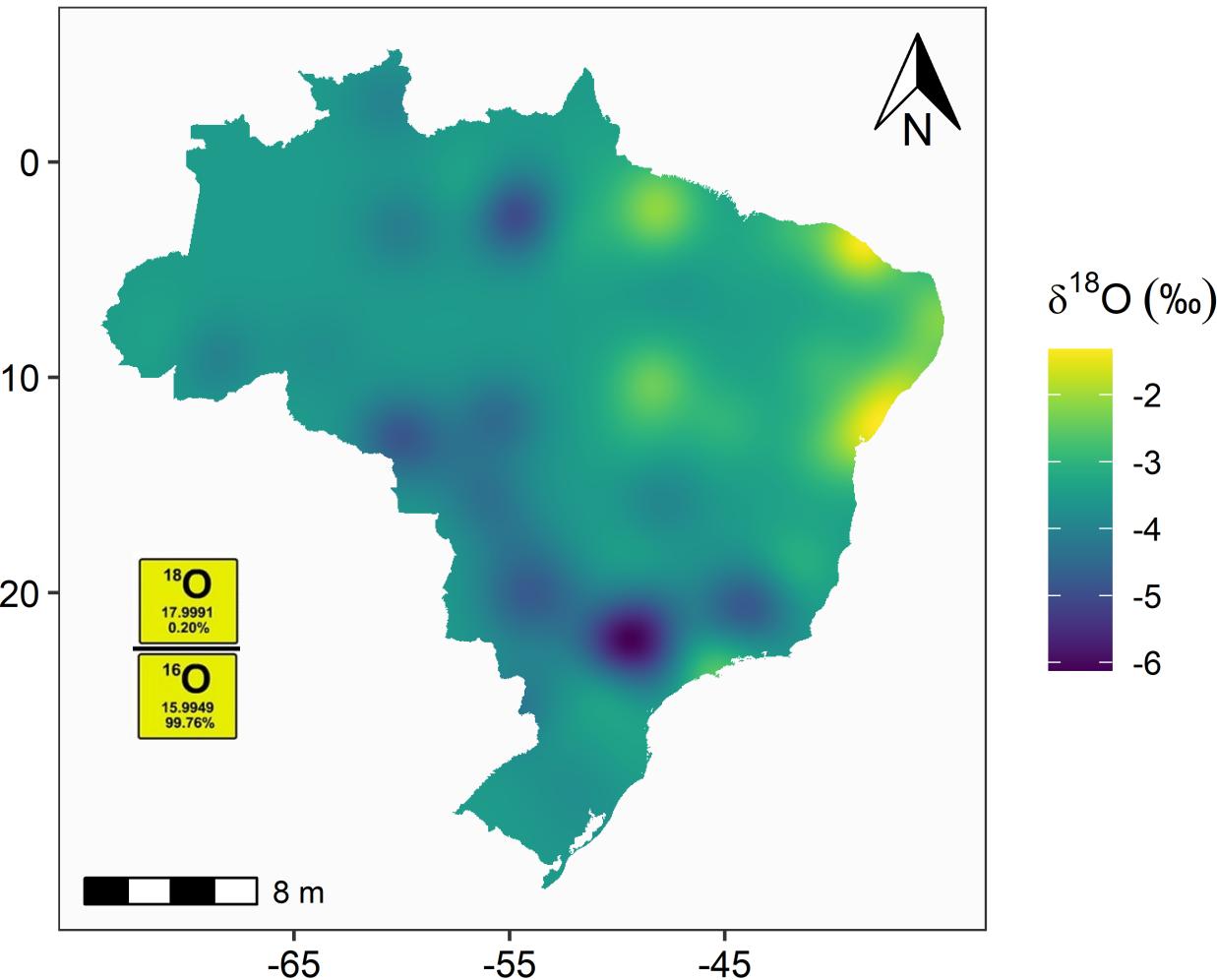
Isoscapes Mensais de Oxigênio da Precipitação (GNIP)



Coleta e análise de amostras de água de abastecimento em diversos municípios brasileiros

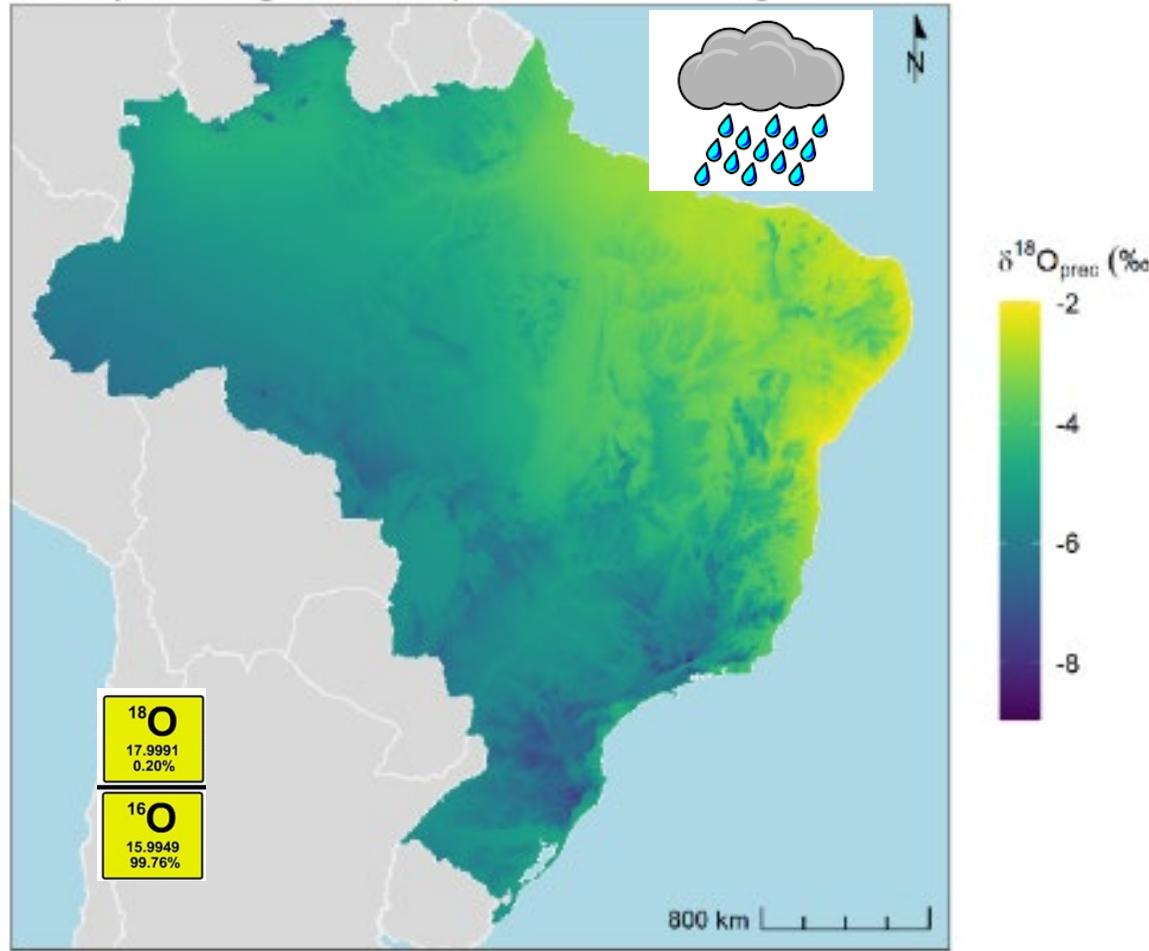


Isoscapes anual sobre valores de $\delta^{18}\text{O}$ elaborada a partir de
água de abastecimento público
(em desenvolvimento)

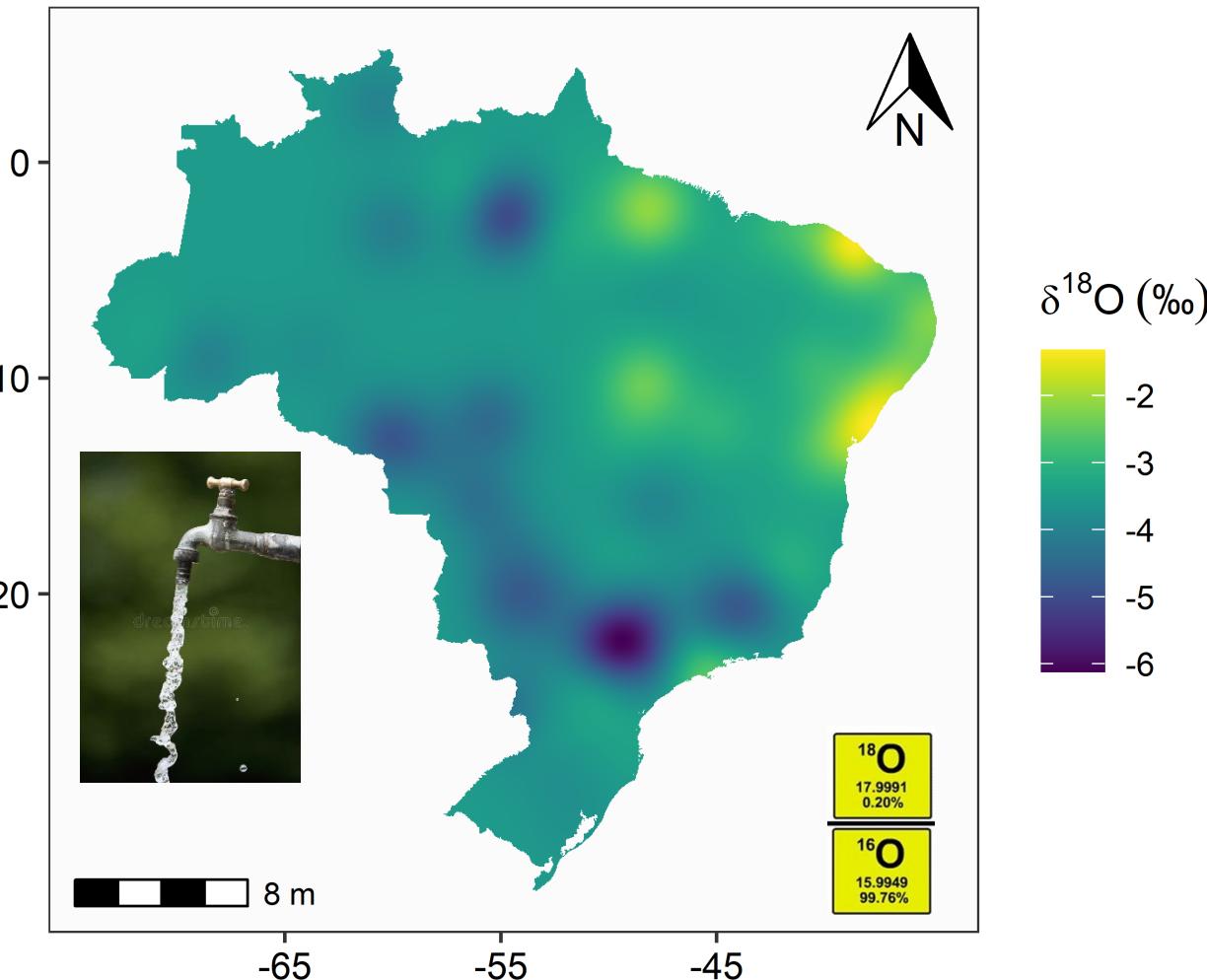


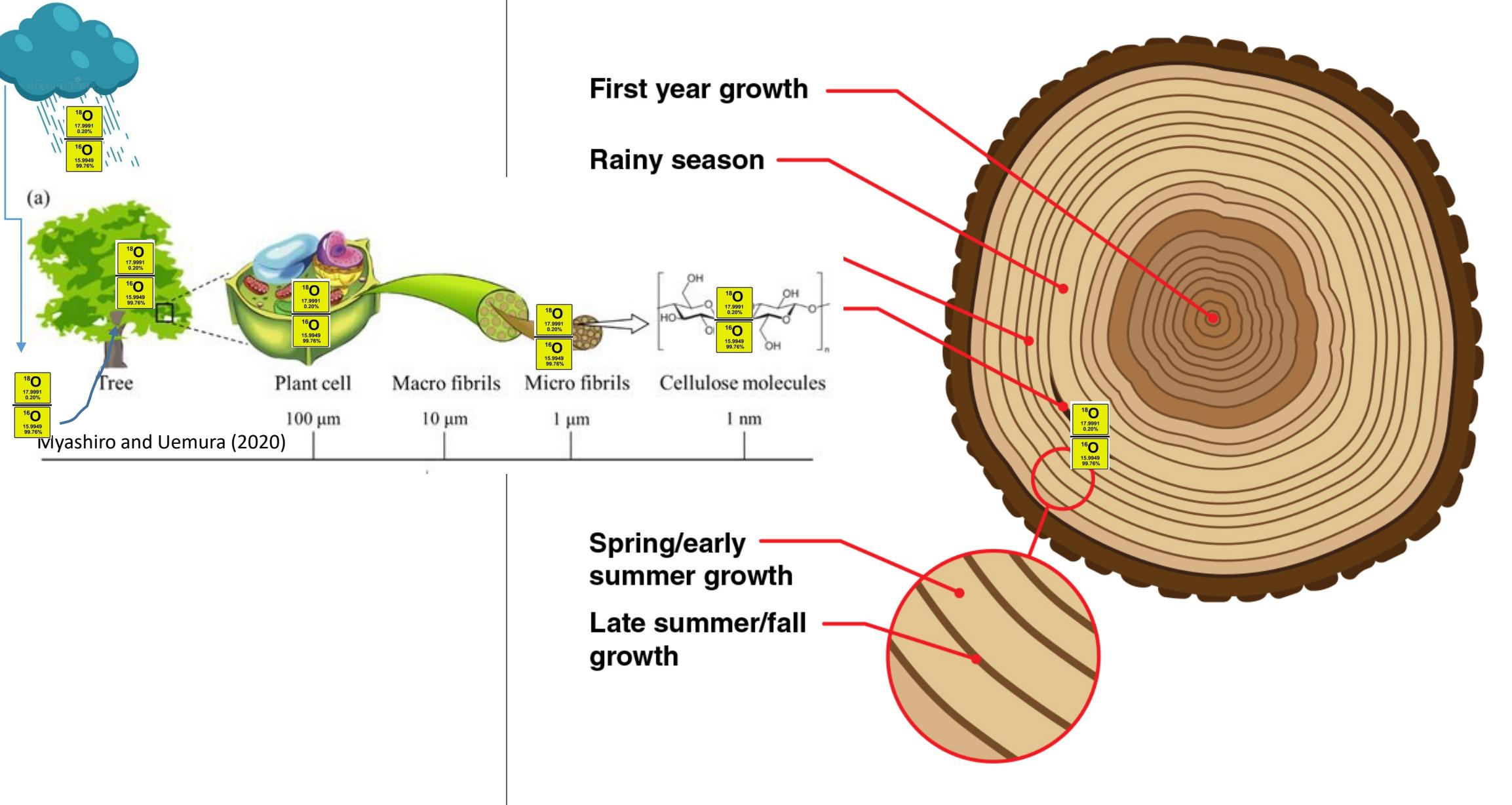
Isoscapes anual $\delta^{18}\text{O}$ precipitação elaboradas com o pacote ISORIX

Isoscape de oxigênio anual para a PRECIPITAÇÃO



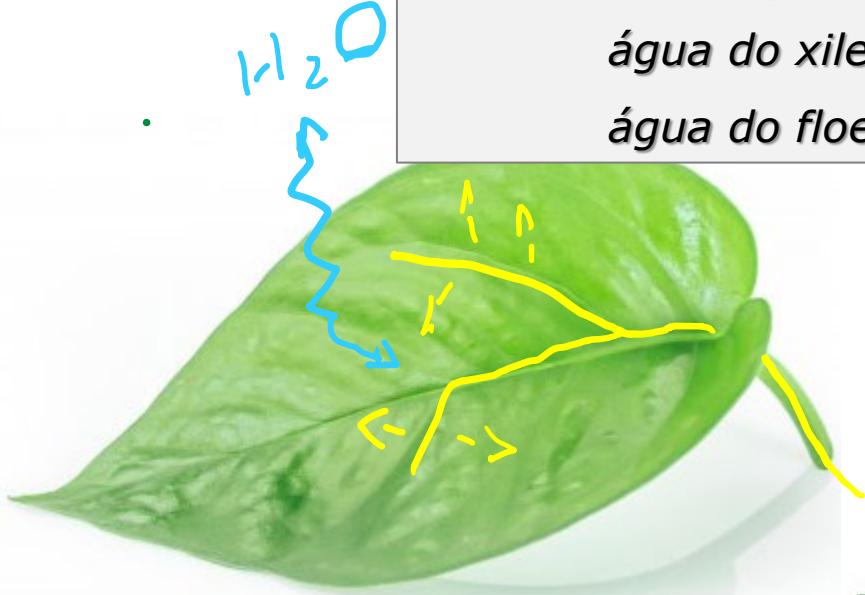
Isoscapes anual $\delta^{18}\text{O}$ água de torneira elaboradas através de interpolação espacial





<https://climate.nasa.gov/news/2540/tree-rings-provide-snapshots-of-earths-past-climate/>

As fontes de oxigênio para a celulose são:
água do xilema (**sem** evaporação) e
água do floema (folhas - **evaporação**)



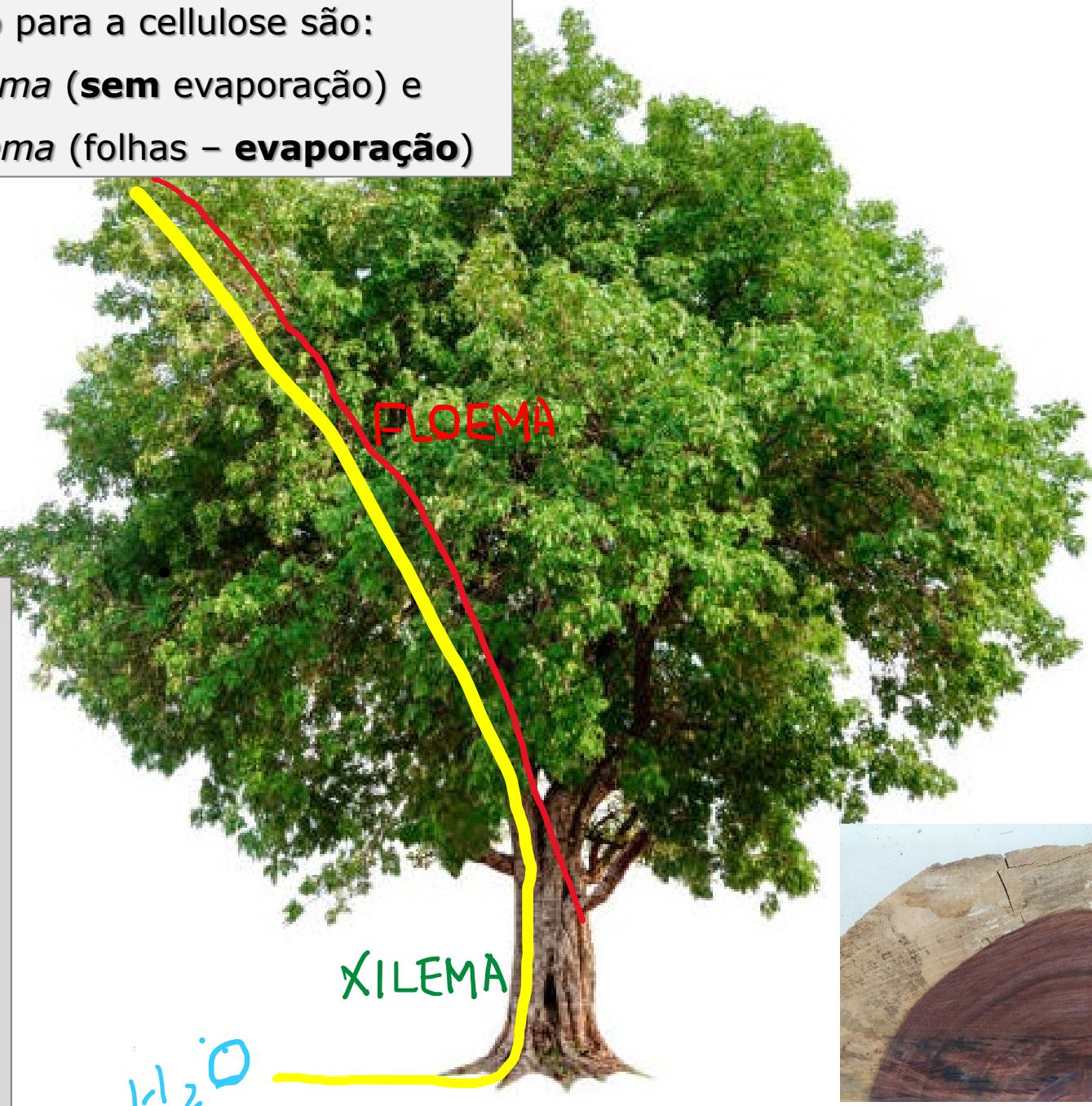
$$O_{celulose} = x(H_2O_{xilema}) + y(H_2O_{floema})$$

$x \sim 60\%$

$y \sim 40\%$

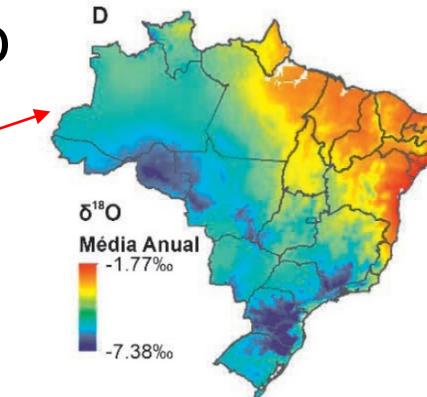
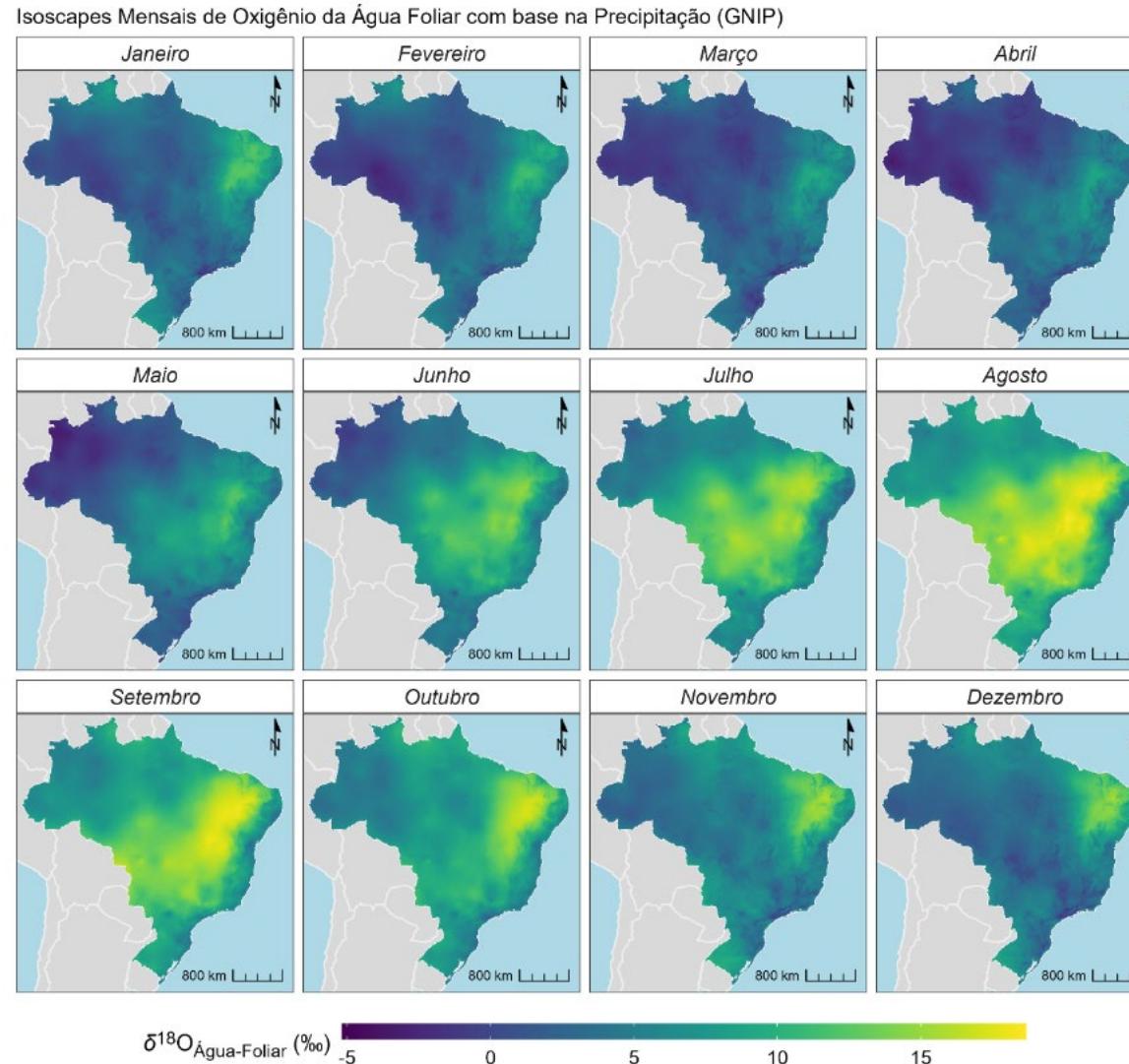
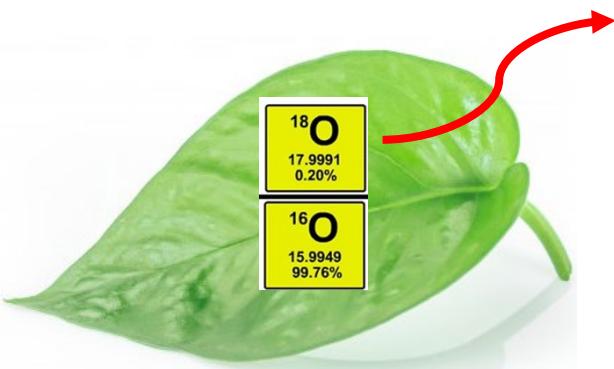
$\text{H}_2\text{O}_{xilema}$: **não** sofreu evaporação
 $\delta^{18}\text{O}_{xilema} = \delta^{18}\text{O}_{solo}$
 $\delta^{18}\text{O}_{solo} = \delta^{18}\text{O}_{precipitação}$ (isoscapes)

$\text{H}_2\text{O}_{floema}$: sofreu evaporação
 $\delta^{18}\text{O}_{floema}$: modelo **Craig-Gordon**



Modelo Craig-Gordon para oxigênio

$$\delta_{LW} = (\epsilon + \epsilon_k)(1 - UR) + \delta_P$$



$\delta_{LW} = \delta^{18}\text{O}$ água da folha

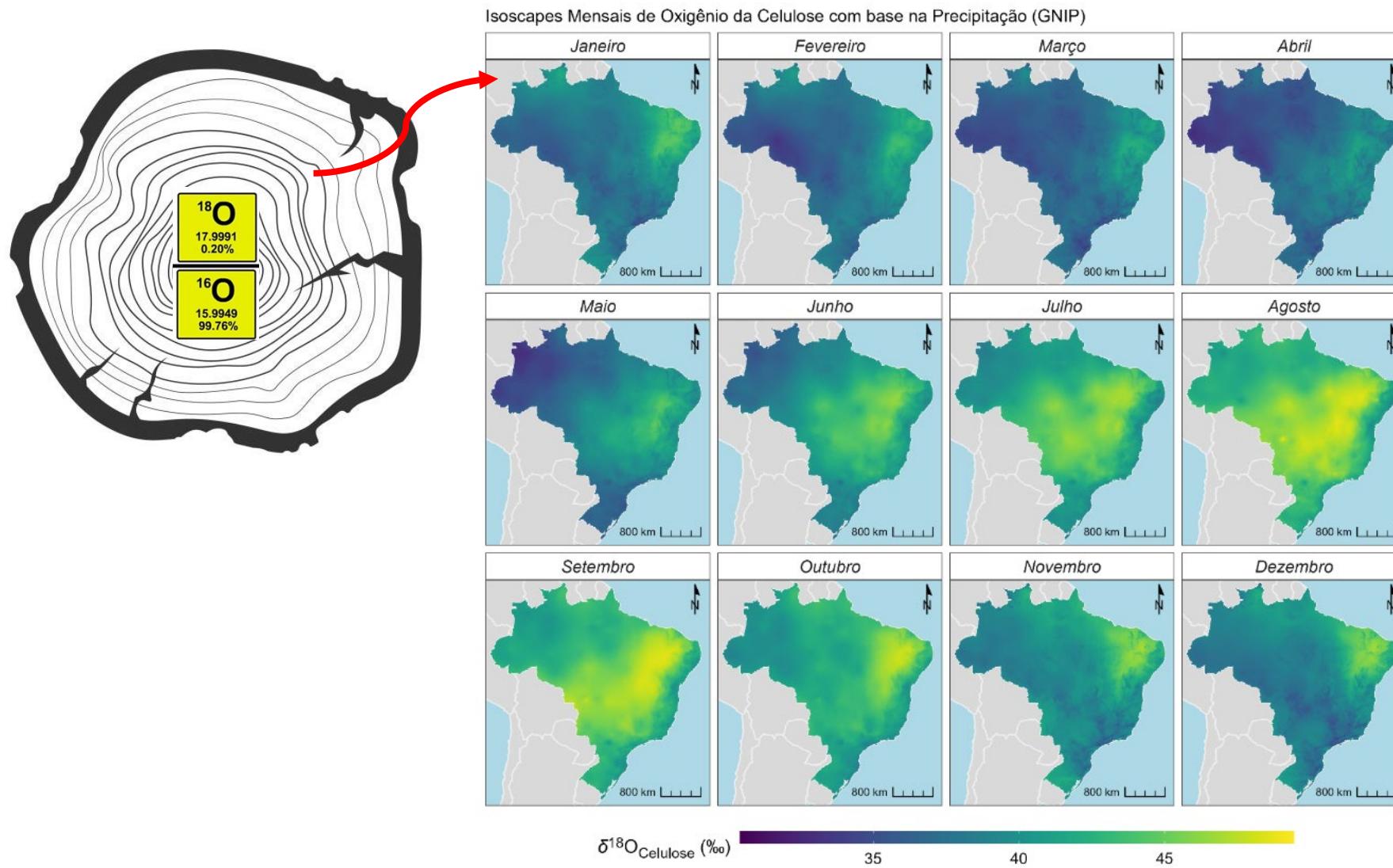
$\delta_p = \delta^{18}\text{O}$ precipitação

ϵ = fator fracionamento cinético

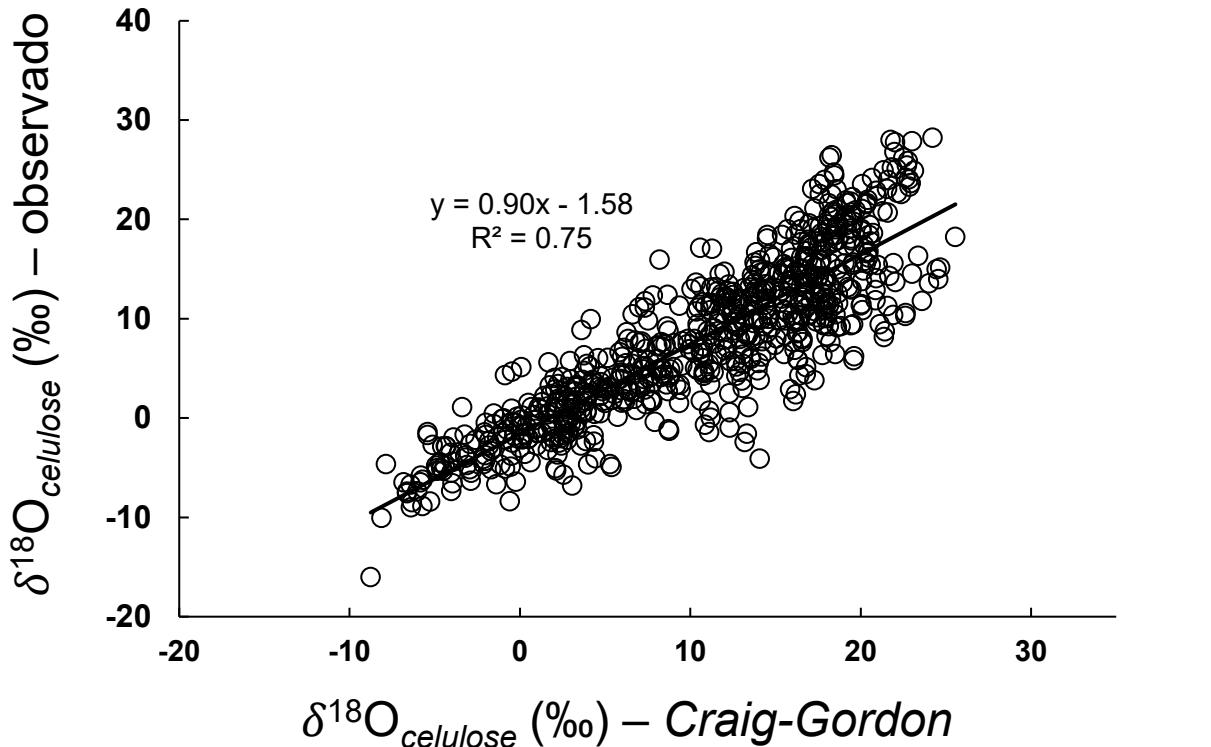
ϵ_k = fator fracionamento

UR = umidade relativa do ar

$$\delta_{CEL} = \delta_{LW}(1 - y) + f_c$$



Calibrar o modelo – coletas de amostras (a dura realidade do campo)

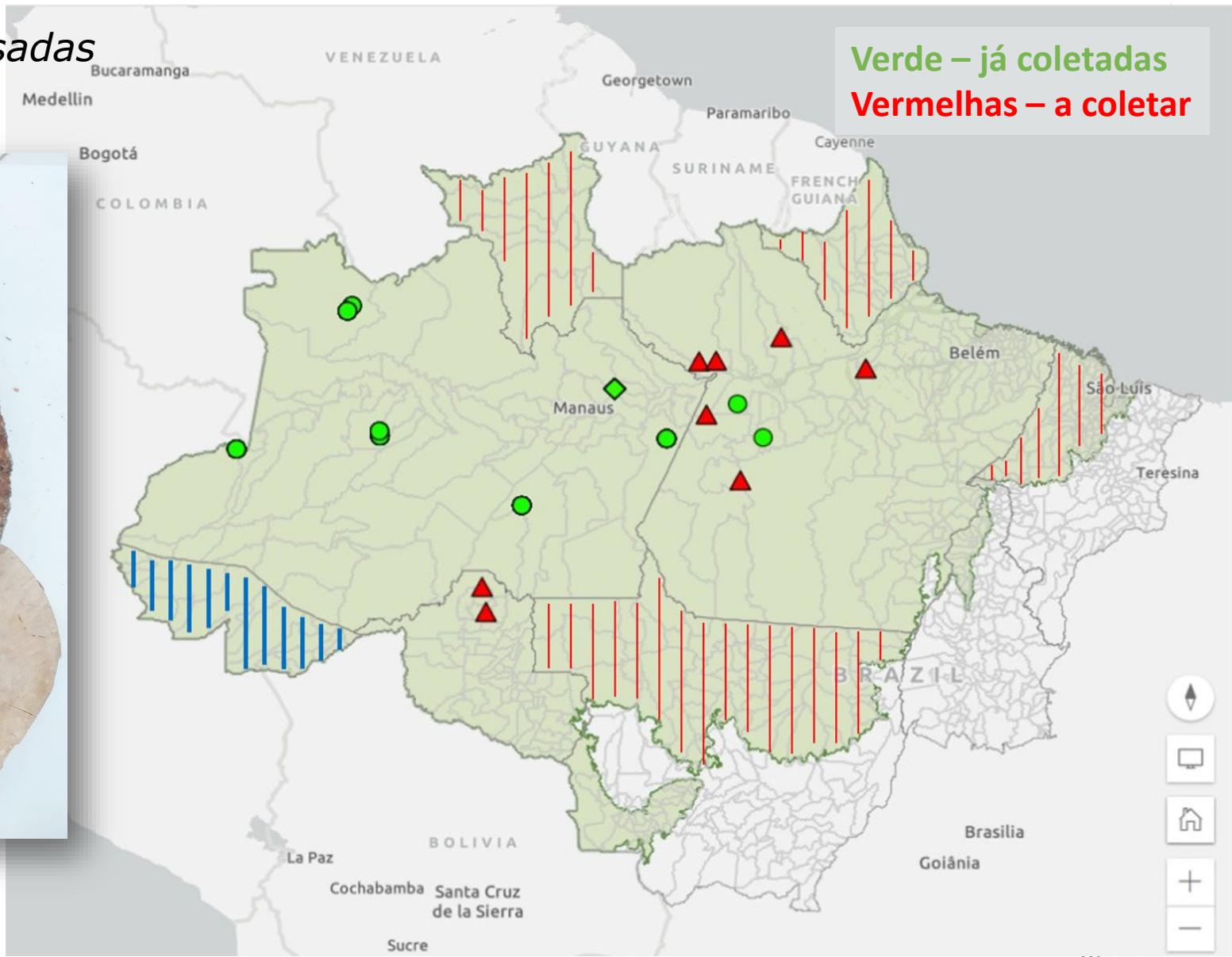


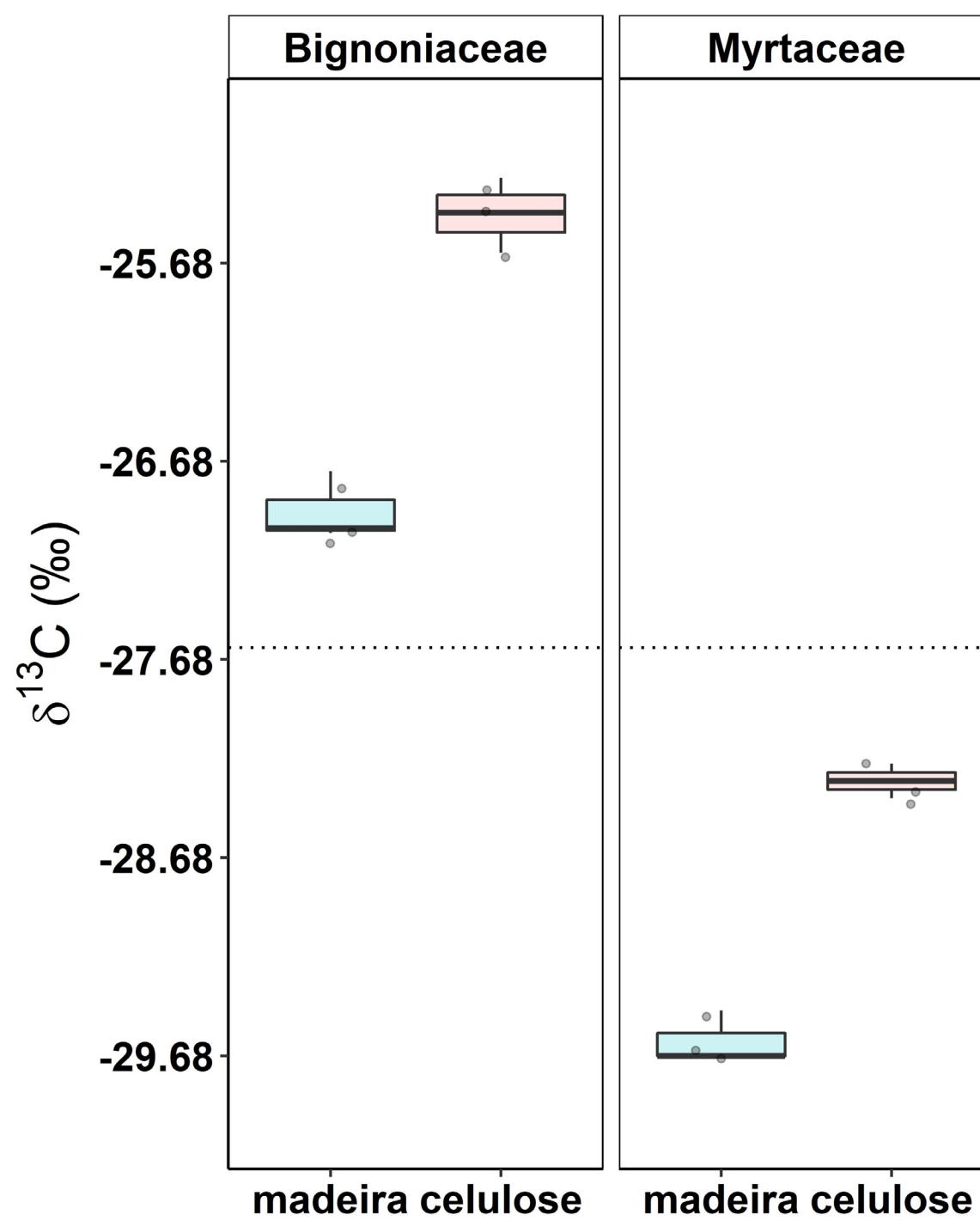
$$\begin{aligned}\delta_{LW} &= (\epsilon + \epsilon_k)(1 - UR) + \delta_P \\ \delta_{CEL} &= \delta_{LW}(1 - y) + f_c\end{aligned}$$

Dados: Cernusak et al. (2014)

Calibrar o modelo – coletas de amostras (a dura realidade do campo)

Encontram-se no CENA sendo processadas
cerca de 80 indivíduos.





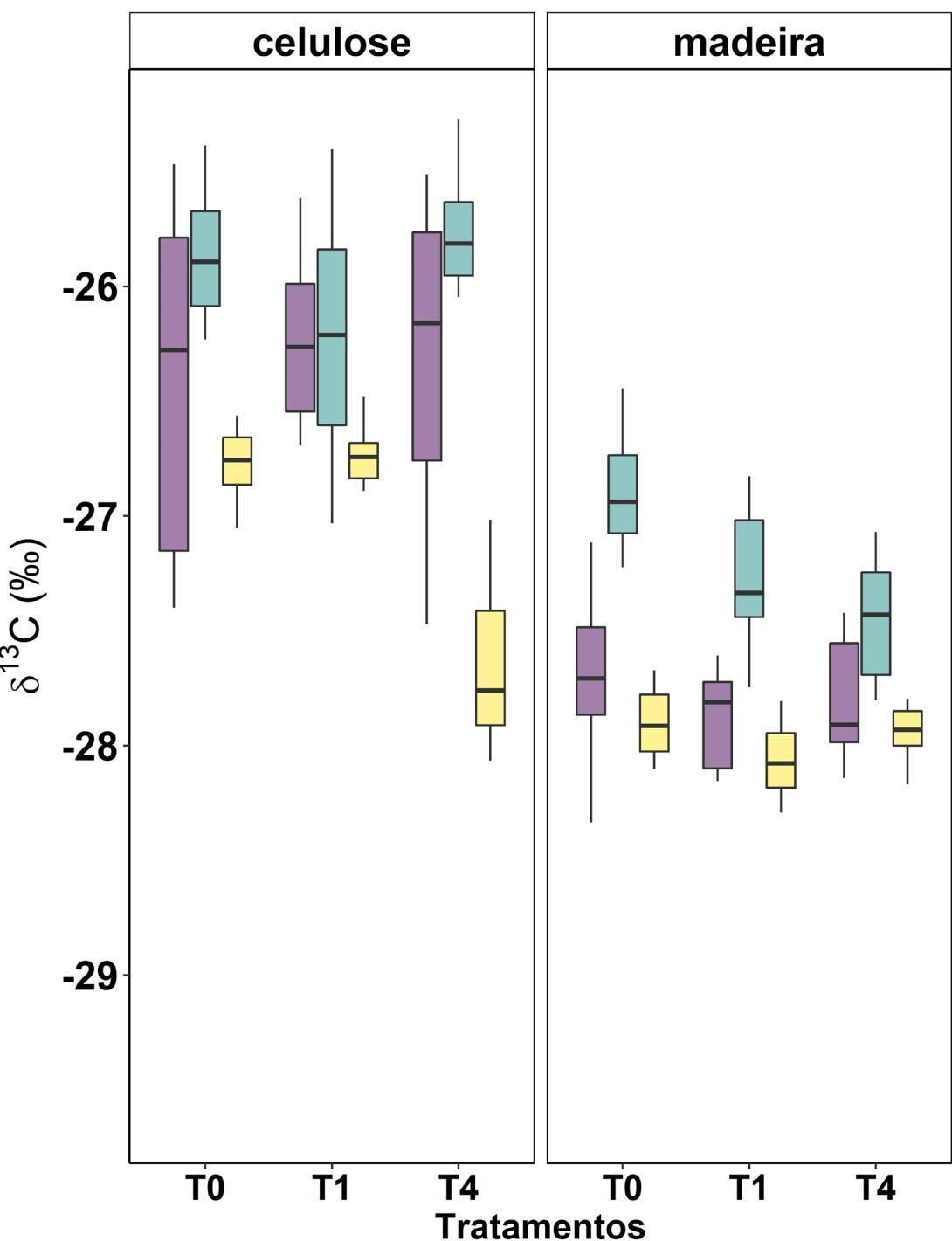
Testes para extração de celulose

Extração de celulose (serragem)

Primeiro teste para obtenção de α_{celulose} foi realizado em serragem de madeira das espécies florestais da região de Piracicaba- SP.

A α_{celulose} foi obtida segundo, TAPPI – T 203 om -93. As espécies utilizadas foram eucalipto e ipê rosa.





Extração de celulose em lâminas de cedro(*Cedrela spp.*), ipê(*Handroanthus spp.*) e jatobá(*Hymenaea courbaril*)

Terceiro teste para obtenção de α_{celulose} foi realizado em lâminas de madeira das espécies florestais: cedro, ipê e jatobá. Origem Estado do Pará.

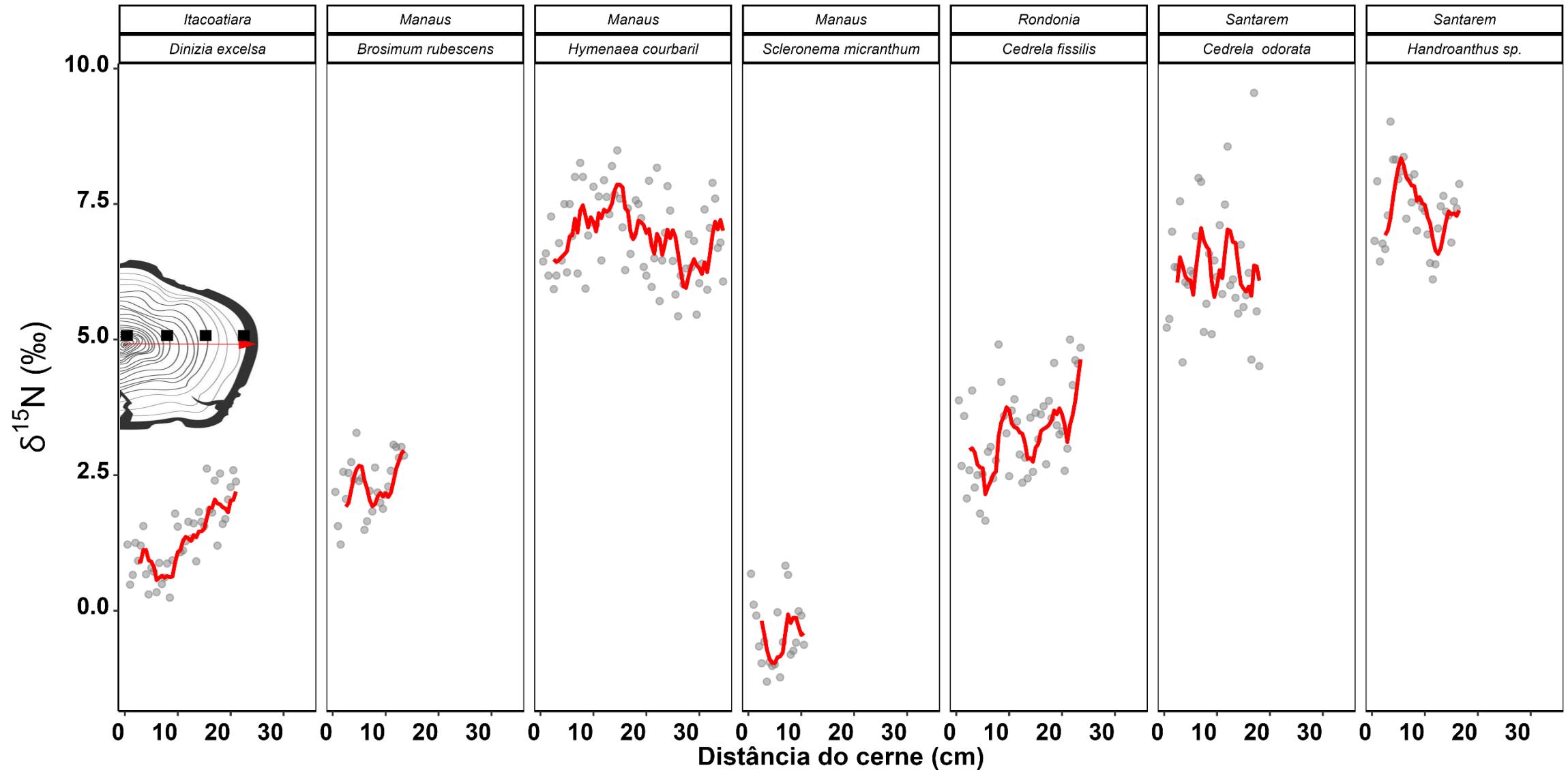
A α_{celulose} foi obtida em diferentes tratamentos, com objetivo de estabelecer o melhor tratamento em menor tempo.

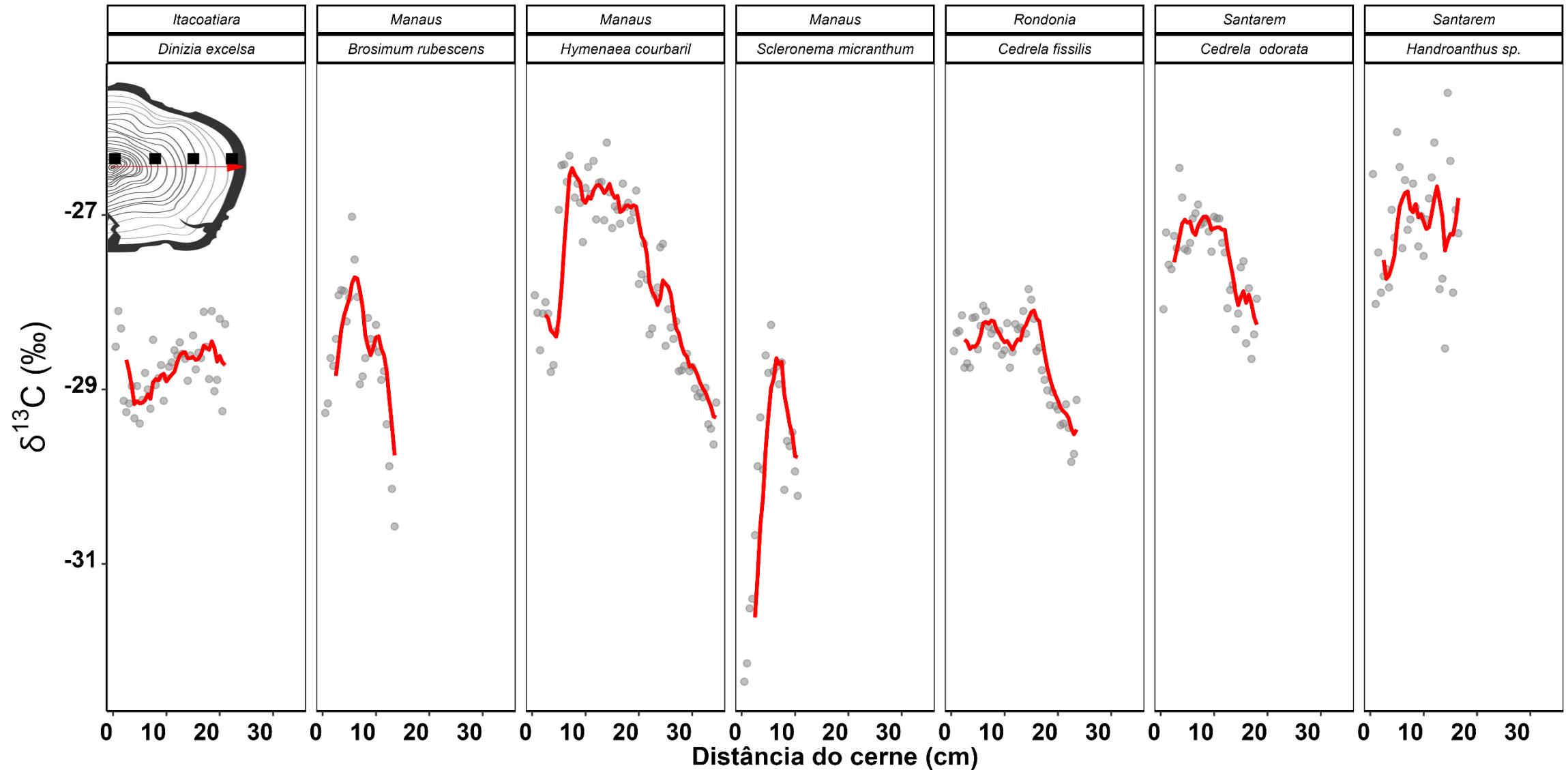
Todos os tratamentos foram baseados segundo, KAGAWA et al.(2015).

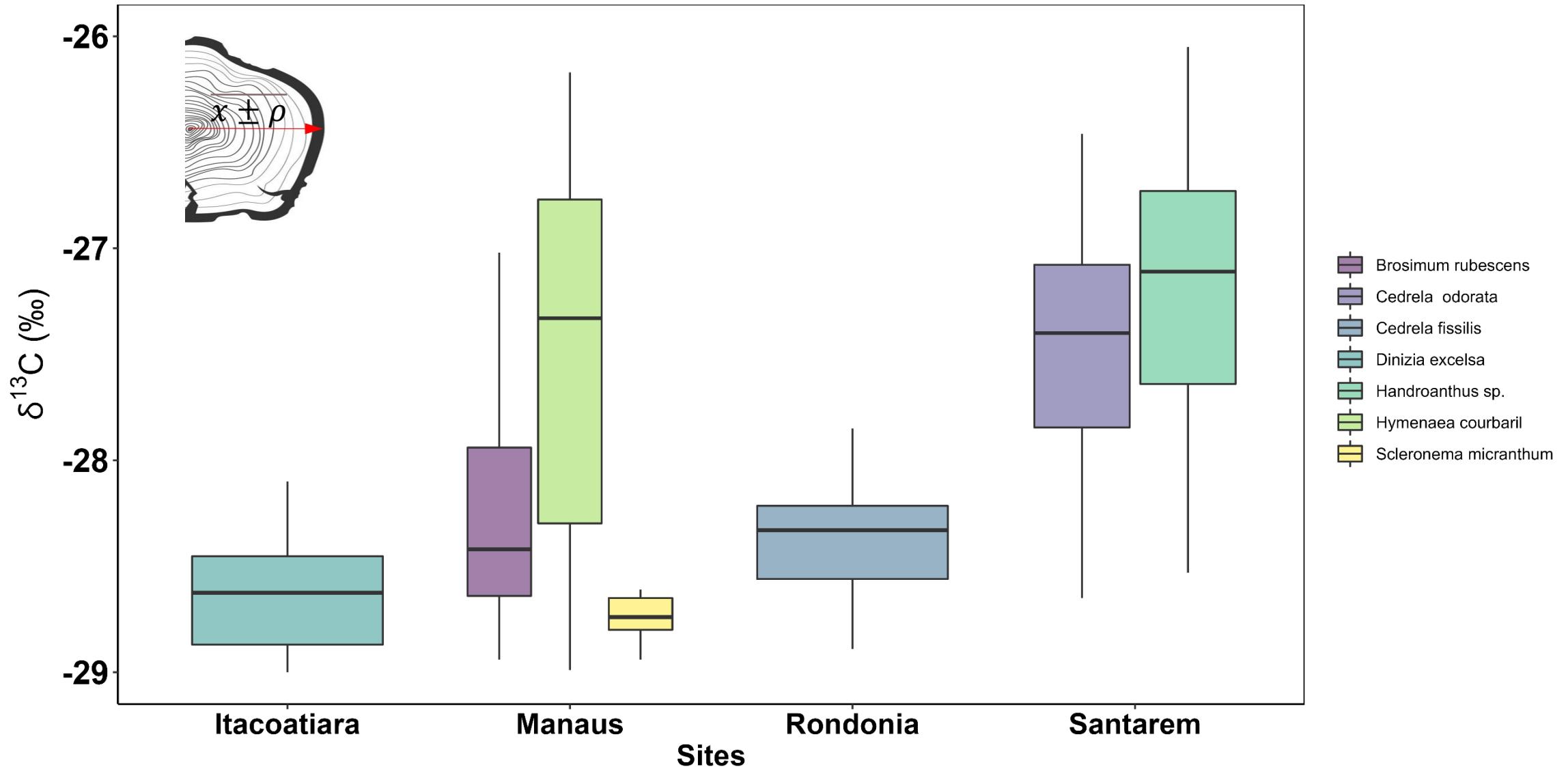
T0

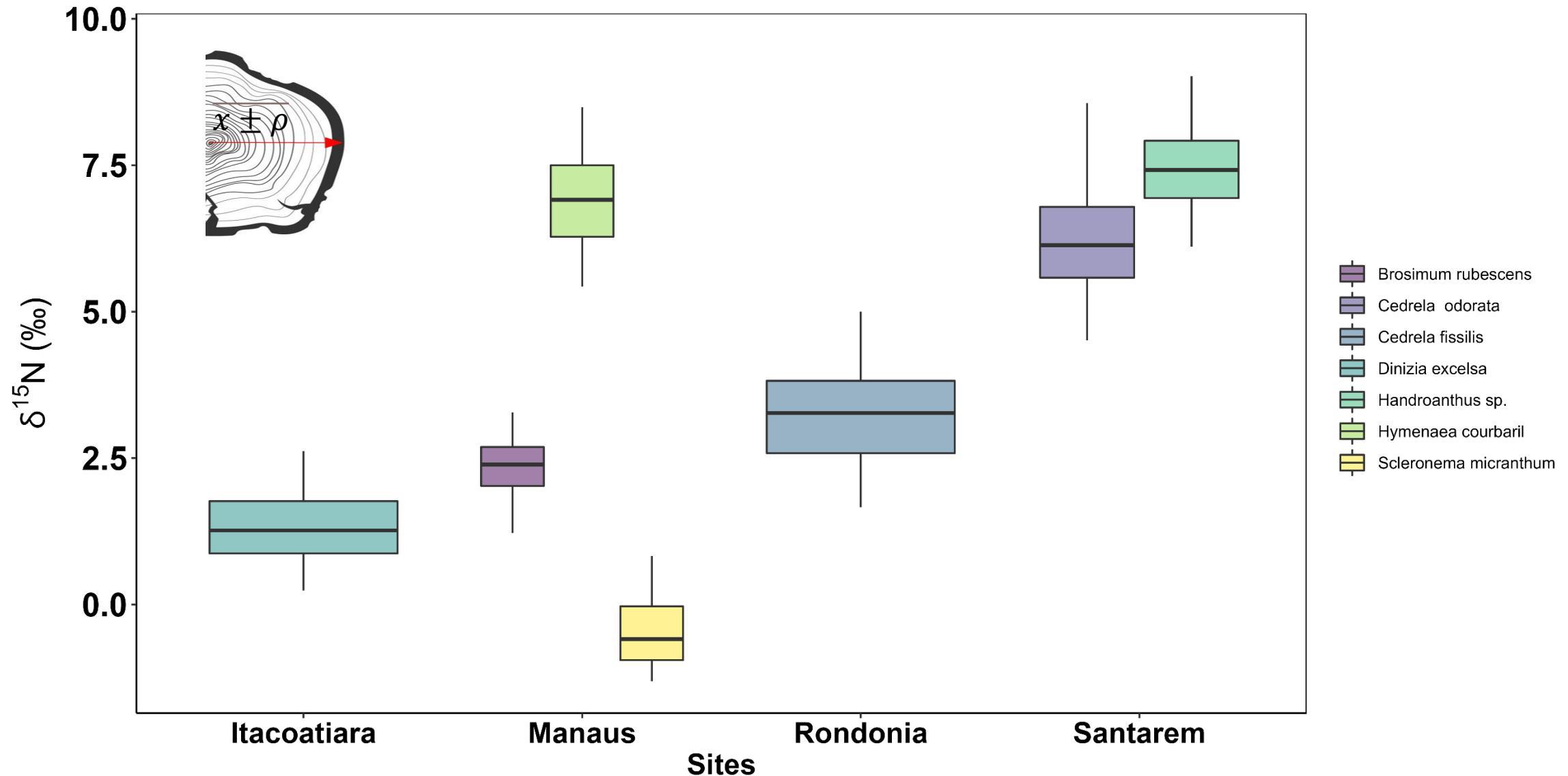
T1 – 24 horas para extração;

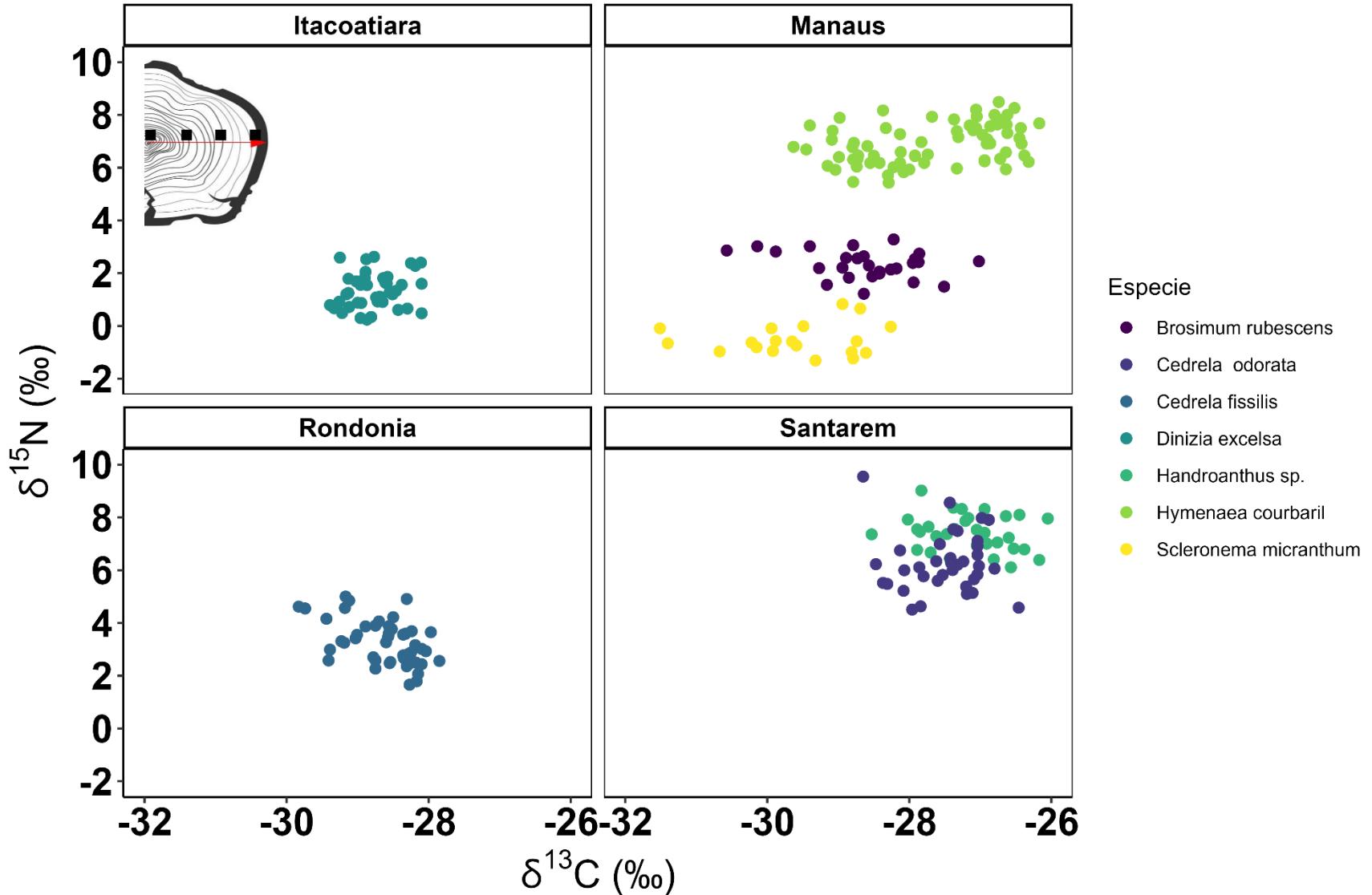
T4 – 6 horas para extração;





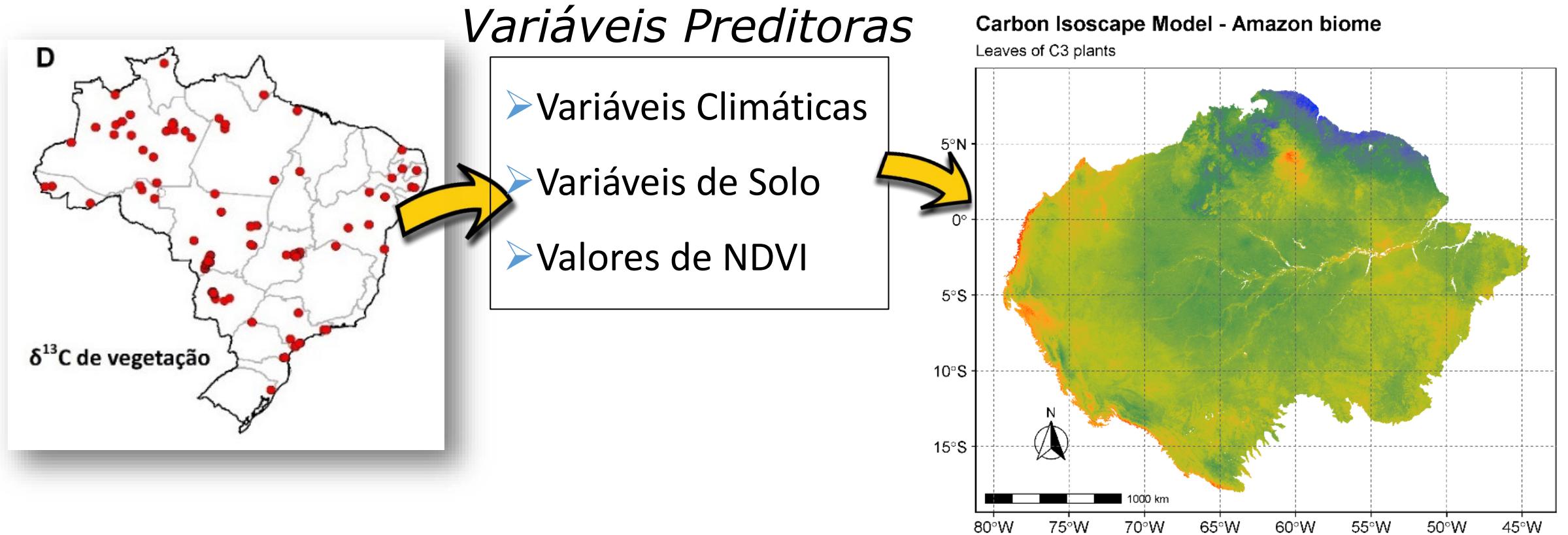






Tarefas que não avançaram desde o último workshop

1. Isoscapes folha ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$)
2. Modelos de atribuição de origem



Avanços desde ao último workshop

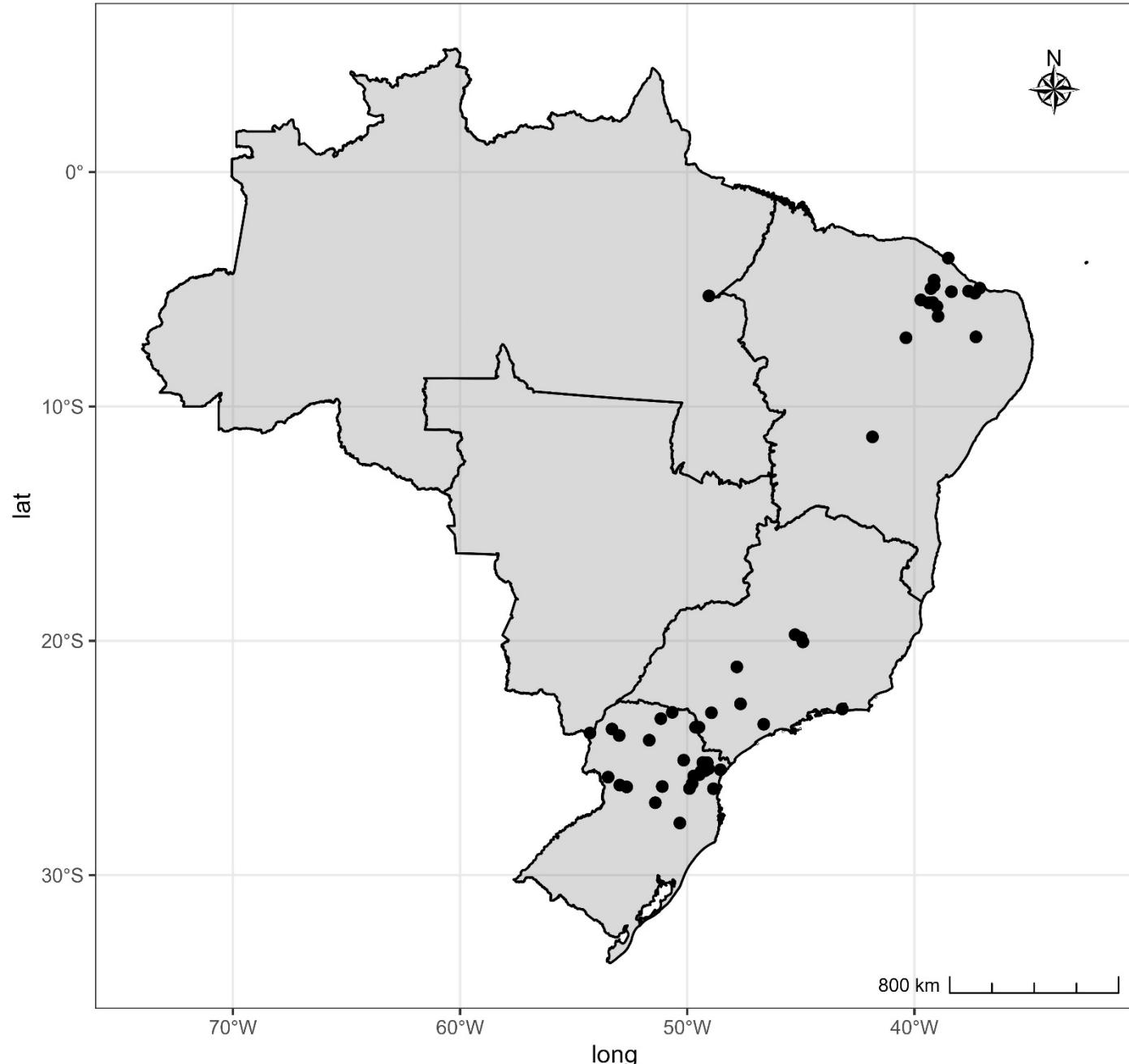
Restos humanos – colágeno dentário

→ Coleta severamente afetada pela pandemia

Até o momento, cerca de 180 dentes.

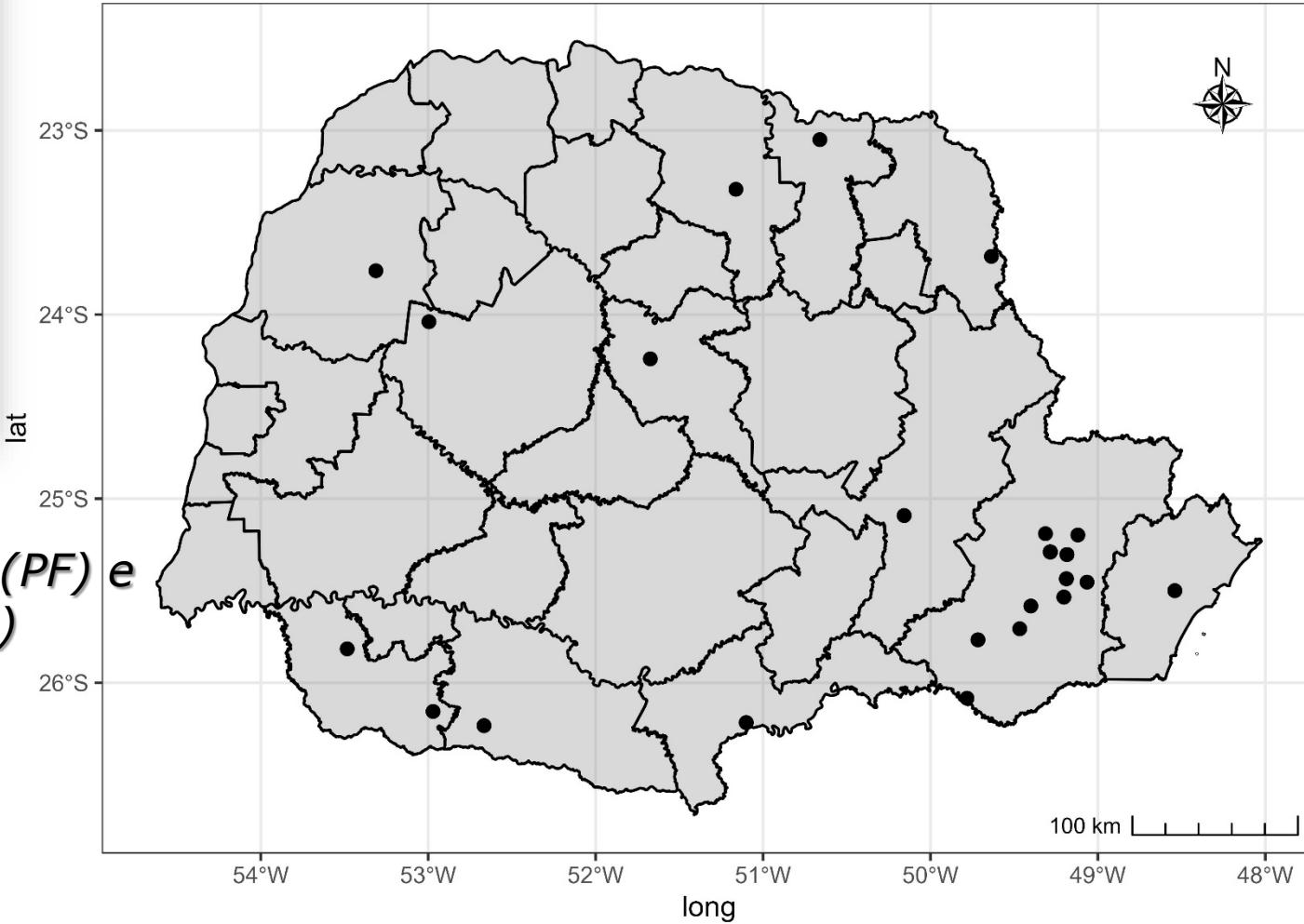
Distribuição espacial muito desigual (ver map)

Coleta de dentes feita em colaboração com
Ricardos Mascarenhas (PF) e
Anelize Bahniuk (UFPR)





Ricardos Mascarenhas (PF) e
Anelize Bahniuk (UFPR)



PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

cena
 1998 50
 1999 50
 2000 50

QUESTIONÁRIO

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

USP

Nome: Andressa dos Santos Silveira **Data da extração:** 24/05/2021

Muito obrigada por aceitar participar desta pesquisa através da doação do seu dente extraído e fragmentos de unha. Sua colaboração é de importância inestimável para o desenvolvimento em nosso campo. Abaixo estão algumas perguntas para complementar a análise que será feita.

1. Pergunte ao seu dentista qual é o elemento dentário que será doado, e marque abaixo:

() terceiro molar ("dente do siso") () superior () inferior
 () outro: _____ () superior () inferior

2. Data e local onde você nasceu: Data de nascimento: 30/12/2000 Sexo: () F () M
 Cidade onde nasceu: São Paulo Pompeu Estado: SP
 Cidade onde mora atualmente: São Paulo Pompeu Estado: SP

3. Até os 18 anos, você se mudou para outra cidade? () não () sim; favor descrever abaixo:
 Aos 18 anos, passou a morar em (cidade): São Paulo, Estado: SP

4. Nos últimos seis meses, você se mudou para outra cidade? () não () sim; favor descrever abaixo:
 No mês de _____ do ano _____, passei a morar em (cidade): _____, Estado: _____
 No mês de _____ do ano _____, passei a morar em (cidade): _____, Estado: _____
 No mês de _____ do ano _____, passei a morar em (cidade): _____, Estado: _____

Nossa pesquisa analisará partes de dente formadas durante a sua infância e adolescência e das unhas formadas nos últimos seis meses. Por isso, precisamos de informações sobre sua dieta em épocas da sua vida: dos 9 a 14 anos, dos 15 aos 18 anos e dos últimos seis meses.

5. Marque a frequência aproximada com que ingeria os seguintes alimentos, nessas faixas de idade:

a) Arroz, pães, bolos (com farinha de trigo), mandioca ou inhame:
 Entre 9 e 14 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente
 Entre 15 e 18 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente
 Últimos seis meses: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente

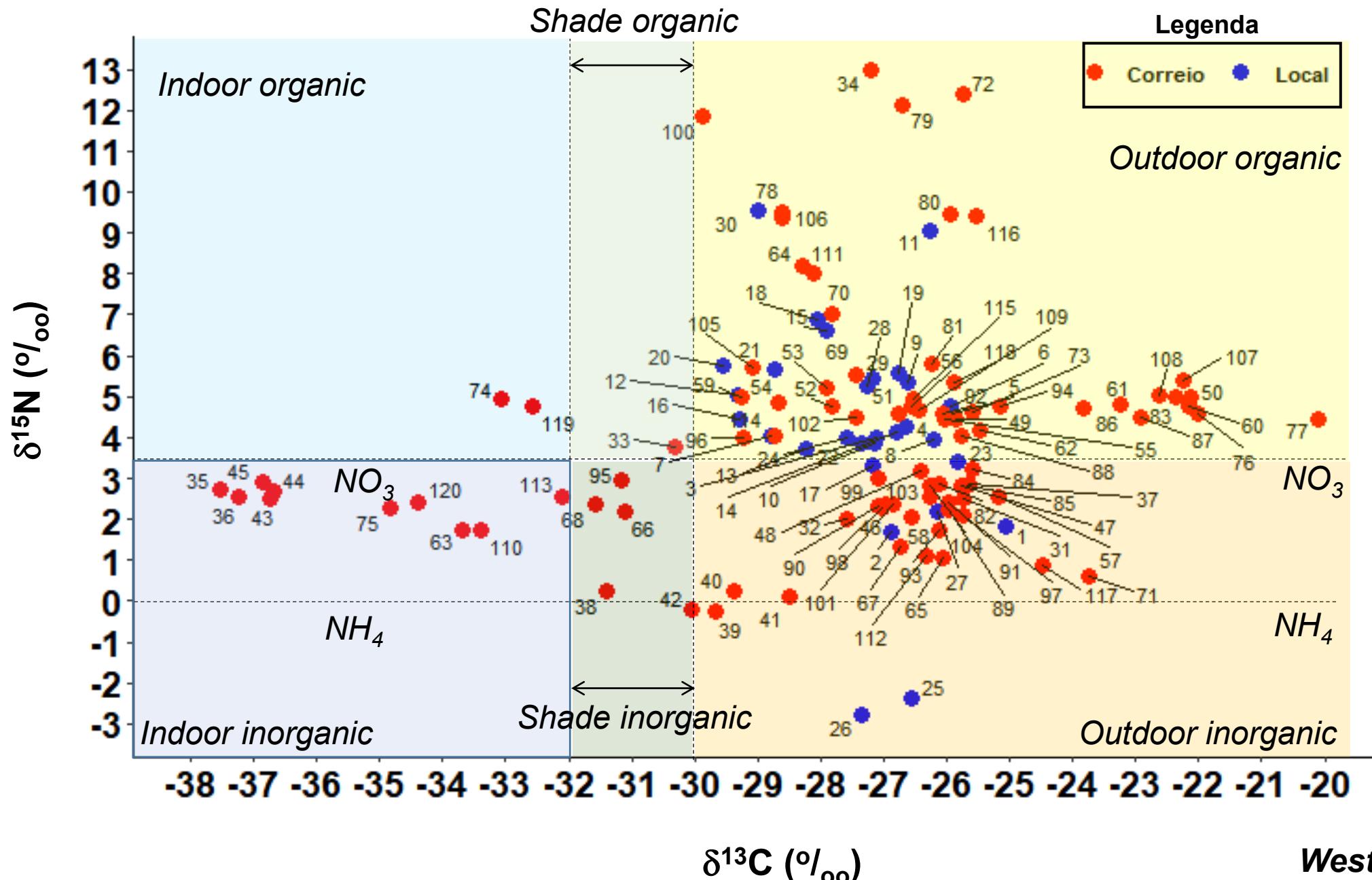
b) Milho, pipoca, maïsenha, fubá, canjica, cuscuz ou polenta:
 Entre 9 e 14 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente
 Entre 15 e 18 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente
 Últimos seis meses: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente

c) Carne bovina ou suína:
 Entre 9 e 14 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente
 Entre 15 e 18 anos: () nunca () raramente () às vezes () frequentemente () diariamente

Assinatura: Andressa dos Santos Silveira



Avanços desde ao último workshop
Drogas ilícitas – maconha e cocaína



Projeto 8: CIÊNCIA DE REDES E MACHINE LEARNING PARA O COMBATE À CORRUPÇÃO E CRIME ORGANIZADO -
Prof. Dr. HAROLDO VALENTIN RIBEIRO (UEM)

Projeto 15: ESPECTROSCOPIA INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA LABORATÓRIO DE CRIMINALÍSTICA E SUPORTE ÀS ATIVIDADES FORENSES DE CAMPO

Profª. Drª. MARIA DO CARMO HESPAÑOL

Projeto 16: PROJETO INSPEQT: INVESTIGAÇÃO DE NOVAS SUBSTÂNCIAS PSICOATIVAS EM QUÍMICA E TOXICOLOGIA FORENSE

Prof. Dr. MAURICIO YONAMINE (USP)

Projeto 17: REDE DE COOPERAÇÃO EM CIÊNCIA FORENSE: DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS E TECNOLOGIAS APLICADOS À IDENTIFICAÇÃO DE DROGAS, GSR, EXPLOSIVOS E FRAUDES EM BEBIDAS *Prof. Dr. MARCELO MARTINS DE SENA (UFMG)*

Projeto 19: GOLD RUSH – APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS GEOQUÍMICAS E ISOTÓPICAS NO COMBATE AO CRIME ORGANIZADO E CONTRABANDO DE OURO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL.

Prof. Dr. JEREMIE GARNIER (UNB)

Projeto 23: DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA E ESTUDOS SOBRE PROCEDÊNCIA DE MADEIRAS PARA FISCALIZAÇÃO DO DESMATAMENTO ILEGAL

Profª. Drª. MARIA TERESA GOMES LOPES (UFAM)