



**HAL**  
open science

## **Amazon Expedition Magazine (2a. edição, Setembro, 2023)**

Newton Silva De Lima, Alcides Castro Neto, Alfredo Tadeu Oliveira Coimbra, Alan dos Santos Ferreira, Aldemir Malveira De Oliveira, André Luiz Willerding, Daniel Valentim Barros Mansur Da Silva, Eduardo Antonio Ríos-Villamizar, Eriberto Barroso Façanha Filho, Evandro Brandão Barbosa, et al.

### ► **To cite this version:**

Newton Silva De Lima, Alcides Castro Neto, Alfredo Tadeu Oliveira Coimbra, Alan dos Santos Ferreira, Aldemir Malveira De Oliveira, et al.. Amazon Expedition Magazine (2a. edição, Setembro, 2023). Newton Silva de Lima. Atmosphere Office 101, 2 (2), pp.72, 2023, Amazon Expedition Magazine (September 2023 Edition ), 978-65-00-69951-7. 10.29327/5235937 . hal-04147944v1

**HAL Id: hal-04147944**

**<https://hal.science/hal-04147944v1>**

Submitted on 7 Jul 2023 (v1), last revised 6 Feb 2024 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

# amazon

2023, Setembro | 2º ANO - V. 1 N. 2

Expedition MAGAZINE

*"EL DOURADO"*

**MUSEO DEL  
ORO EM  
BOGOTÁ**

**CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS  
MONTE RORAIMA**

**CLIMA  
SAARA-SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA  
A Viagem da Transformação**

## **Uma viagem pelos Mercados do Rio Amazonas**

Um pesquisador de águas e uma missão  
de fotógrafo ao visitar os Mercados do  
Peru ao Oceano Atlântico no Brasil.

## PRESIDENTE

Aldemir Malveira de Oliveira

## COORDENADOR DO COMITÊ CIENTÍFICO

Liliam Gleicy de Souza Oliveira

## MEMBROS DO COMITÊ CIENTÍFICO

Alcides Castro Neto, Alfredo Tadeu Oliveira Coimbra, Alan dos Santos Ferreira Aldemir Malveira de Oliveira, André Luiz Willerding, Daniel V. B. Mansur da Silva, Eduardo Antonio Ríos-Villamizar, Eriberto Barroso Façanha Filho, Evandro Brandão Barbosa, Fábio Raphael Moreira Cáuper, Fernanda Cabral Cidade, Guilherme Vilagelim de Souza, João Marcelo Silva Lima, José Cavalcante Lacerda Júnior, Josildo Severino de Oliveira, Karla Nunes da Silva, Kedma Cristine Yamamoto, Kleitson José Lima Tenório, Liliam Gleicy de Souza Oliveira, Luciana Lima de Brito Cáuper, Madalena da Rocha Pietzsch, Maria Dóris Escobar, Manoel Feitosa Jeffreys, Maryana Antônia Braga Batalha Souza, Newton Silva de Lima, Ordilena Ferreira Miranda, Raquel Freitas Reis, Ricardo Figueiredo Monteiro, Robson Matos Calazães, Rodrigo de Oliveira Félix, Roseilson Souza do Vale, Thatyana de Souza Marques do Nascimento.

## EDITOR-CHEFE

Newton Silva de Lima (newton.lima@ulbra.br)

## JORNALISTA RESPONSÁVEL

Daniel Valentim de Barros Mansur da Silva

## WEBSITE

amazonexpedition.zohosites.com

Doi: <https://doi.org/10.29327/5235937>

## EDITORIAL

Iniciamos esta edição com o tema “**Uma Breve Observação Sócio-Econômica-Climática na Amazônia**”, com quatro articulações de cenários. A primeira mostra o ensaio fotográfico de Robson Calazães na viagem pelas cidades das margens do Rio Amazonas desde a cidade peruana de Iquitos até a cidade brasileira de Macapá, retratando os Mercados das grandes cidades no entorno do grande rio. A segunda traz uma visita à cidade de Bogotá na Colômbia no *Museo del Oro*, patrimônio histórico nacional do Banco da República da Colômbia, que preserva, pesquisa, divulga e exhibe uma das mais belas coleções de metalurgia pré hispânica e de arqueologia andina. A terceira explora a geociências do Monte Roraima, na tríplice fronteira do Brasil-Venezuela-Guianas na borda setentrional do Cráton Guianês (Norte da Bacia Amazônica). A quarta, faz uma observação da viagem no Rio Negro de Manaus até São Gabriel da Cachoeira (Brasil), em período de La Niña, quando a poeira do deserto do Saara encontra-se sobre a região da Cabeça do Cachorro.

Na publicação de artigos traremos: (I) **Equilíbrio Econômico Parcial no Mercado de Telefonia Móvel Celular e o Problema da Localização de EBRS na Região Norte**. (II). **Um breve estudo sobre monitoramento da Ionosfera sobre Manaus (-3º 5' 34"; -60º 2' 24") com dados GNSS em período magneticamente calmo no ciclo solar # 25**. (III) **Análise de Dados Climáticos Usando Transformada em Ondeletas Cruzada e Coerência**. Trazendo ainda observações geoquímicas e Modelagens HYSPLIT para as cidades de Parintins – AM (Baixo Amazonas) e Tefé - AM (Médio Solimões), dentro do Experimento FRACTUS.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Amazon [livro eletrônico]. -- 2. ed. --  
Manaus, AM : Ed. dos Autores, 2023. -- (Amazon  
magazine ; 1)  
PDF

Vários colaboradores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-00-69951-7

Doi: <https://doi.org/10.29327/5235937>

1. Amazônia - Aspectos ambientais 2. Ciências ambientais 3. Clima - Mudanças 4. Geociências 5. Humanidades I. Série.

23-157104

CDD-304.2709811

### Índices para catálogo sistemático:

1. Amazônia : Biodiversidade : Aspectos socioambientais 304.2709811

Aline Grazielle Benítez - Bibliotecária - CRB-1/3129

## Imagem do Clima | Conhecendo à Amazônia



Chuva no Porto de CAMANAUS em São Gabriel da Cachoeira (45 km do centro da cidade) em período de La Niña em dezembro de 2021. A distância à cidade é grande devido o rio Negro em sua frente correr sobre formações rochosas aparentes e submersas trazendo perigo de navegabilidade.

## EXPLORE O CONHECIMENTO



6

O ensaio fotográfico realizado por Robson Calazães na Expedição Fluvial Rio Amazonas que saiu de Iquitos no Peru até a foz do rio na cidade de Macapá. É um passeio cosmopolita dentro dos **Mercados na Amazônia**.



24

Ao se deslocar dentro da Colômbia entre Letícia e Bogotá em observações climáticas em período de La Niña (2022), nossa equipe visita o **Museo del Oro** em Bogotá, local único de metalurgia e arqueologia andina.



28

Nas pesquisas de Ciências Ambientais na borda da Bacia Amazônica em seu setor mais setentrional na América do Sul, a equipe de geociências faz um breve relato dos cenários no **Monte Roraima**, na tríplice fronteira, Brasil-Venezuela-Guianas.



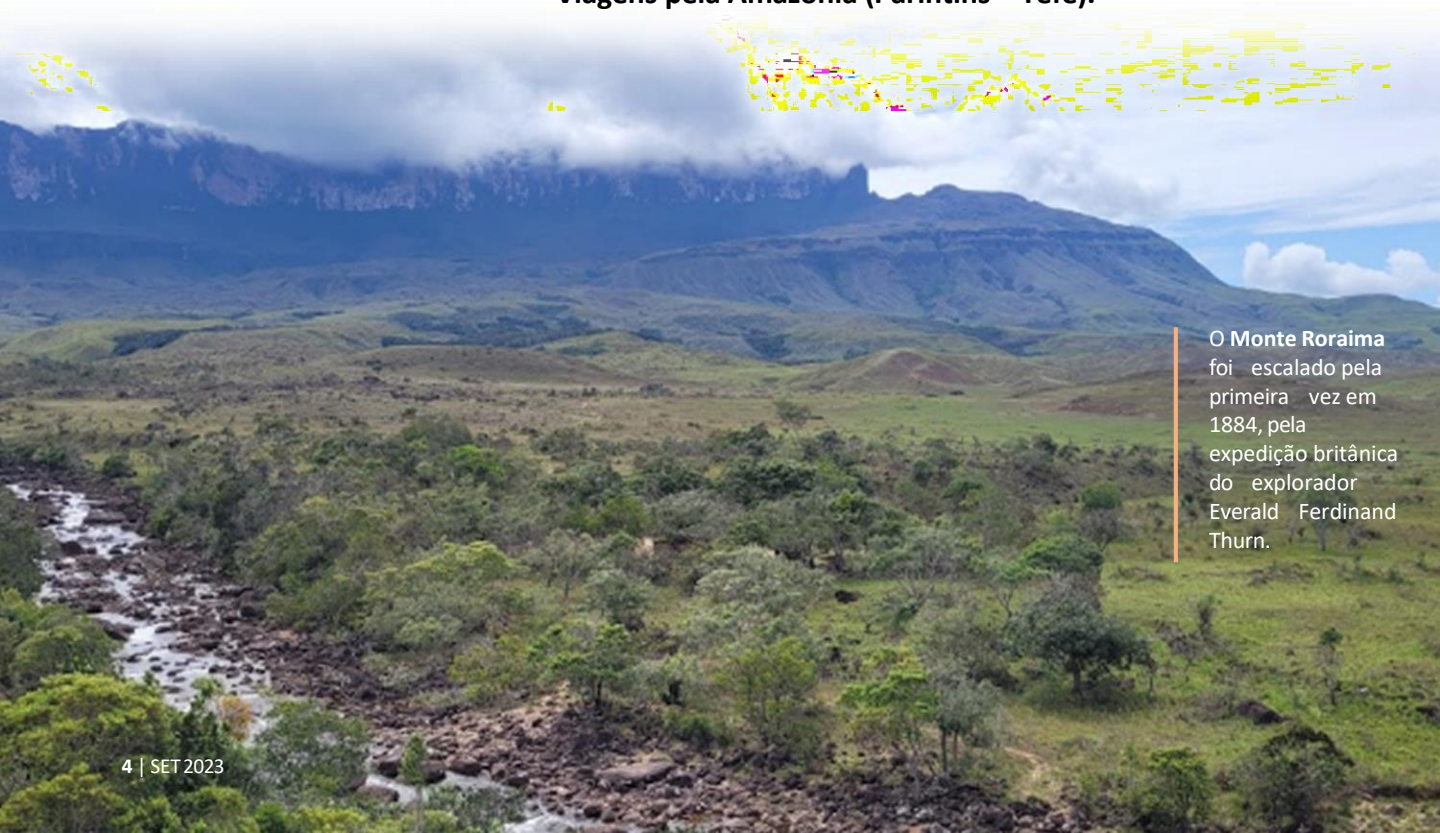
32

Para compreender e descrever o fenômeno de fertilização através da poeira do Saara que chega na Amazônia, pesquisadores do Experimento **FRACTUS** se deslocaram para **São Gabriel da Cachoeira** pelo Rio Negro, saindo de Manaus (Amazonas-Brasil), no período que esta poeira chega na região.

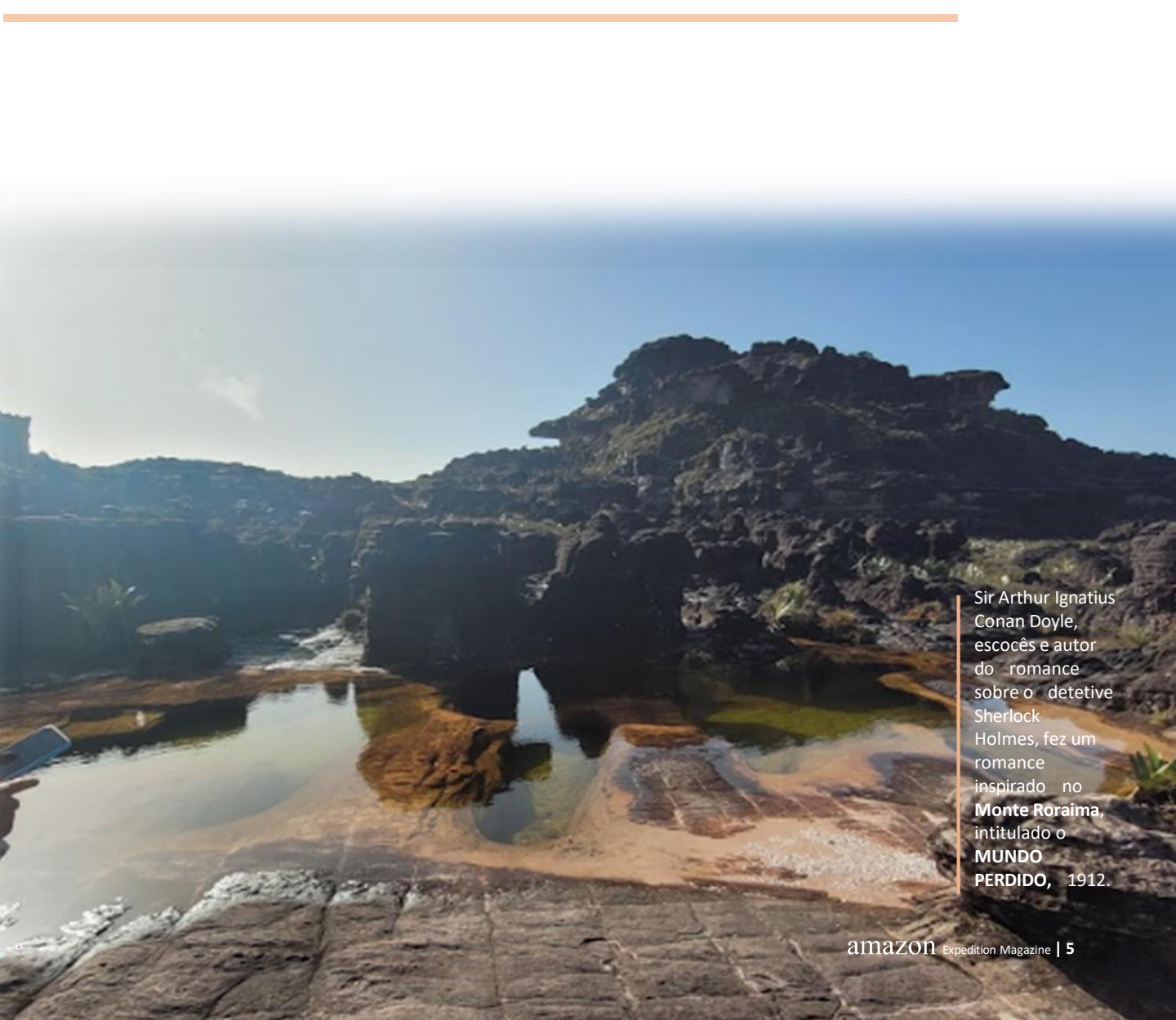


## SETEMBRO 2023

- 39** ■ **MODELAGEM**  
Equilíbrio Econômico Parcial no Mercado de Telefonia Móvel Celular e o Problema da Localização de EBRS na Região Norte.
  
- 51** ■ **CLIMA ESPACIAL**  
Um breve estudo sobre monitoramento da Ionosfera sobre Manaus ( $-3^{\circ} 5' 34''$ ;  $-60^{\circ} 2' 24''$ ) com dados GNSS em período magneticamente calmo no ciclo solar # 25.
  
- 56** ■ **CLIMA**  
Análise de Dados Climáticos Usando Transformada em Ondeletras Cruzada e Coerência.
  
- 63** ■ **CLIMA**  
Experimento FRACTUS  
Viagens pela Amazônia (Parintins – Tefé).



O Monte Roraima foi escalado pela primeira vez em 1884, pela expedição britânica do explorador Everaldo Ferdinand Thurn.



Sir Arthur Ignatius  
Conan Doyle,  
escocês e autor  
do romance  
sobre o detetive  
Sherlock  
Holmes, fez um  
romance  
inspirado no  
**Monte Roraima**,  
intitulado o  
**MUNDO  
PERDIDO**, 1912.

## Ensaio de Robson Calazães

EXPEDIÇÃO FLUVIAL PERU-BRASIL - RIO AMAZONAS

### IQUITOS - MACAPÁ

### OS MERCADOS NO RIO AMAZONAS



Amanhecendo o dia em frente ao Mercado Adolpho Lisboa, no Rio Negro em Manaus (20 de dezembro de 2016).

#### Introdução

A partir da cidade de Iquitos no Peru, até a cidade de Macapá no Brasil, a Expedição Fluvial Peru-Brasil – Rio Amazonas, visitou quatro grandes mercados municipais. Em Iquitos visitou o mercado Belén, bastante central na cidade de aproximadamente 600 mil habitantes, depois visitou o mercado Adolpho Lisboa em Manaus, com população de mais de 2 milhões de habitantes, após esteve no Mercado Municipal do Pescado em Santarém no Pará, cidade com quase 600 mil habitantes e finalmente o mercado do Igarapé das Mulheres em Macapá, cidade de aproximadamente 700 mil habitantes no Amapá. O Rio Amazonas, só banha duas destas cidades, que são Iquitos no Peru e Macapá no Brasil, Manaus é banhada pelo Negro e Santarém pelo Tapajós. Mas, a influência do rio Amazonas, nestas cidades é muito igual, deste o clima as espécies de peixes e os hábitos da população nos entornos desses mercados.



O refrigerante mais consumido no Peru é o **inca kola**. Ao lado, em primeiro plano **chicharrón** (peixe empanado) com **Yuca** (mandioca frita) e **milho torrado**, em seguida **Cebiche** (peixe cozido no limão). A bebida tem uma coloração amarela viva e é feita de lúcia-lima, planta nativa da América do Sul. O Peru é o único país na América Latina onde o refrigerante de maior marca mundial não é líder de mercado.



**Lúcia-lima (Aloysia citrodora)** é uma espécie angiospérmica da família das verbenáceas, nativa da América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Paraguai, Peru e Uruguai). Foi introduzida na Europa pelos colonizadores espanhóis e portugueses no Séc. XVII. Usada na culinária para conferir um sabor alimonado aos pratos de peixe ou de aves de capoeira, às marinadas de vegetais, molhos para saladas, compotas, pudins e bebidas. Também é comum o uso em chás.

Imagem: Botanical Garden Karlsruhe, Alemanha. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lúcia-lima>.



## O Mercado Belén (Iquitos – Peru)



Barco na cidade flutuante no entorno do Mercado Belén em Iquitos/Peru em 24 de julho de 2016.

**E**m Iquitos, o mercado Belén é sitiado pelo centro da cidade e pela cidade flutuante, em época de seca e cheia do rio. A população no entorno do mercado, pelo lado do centro da cidade tem o comércio de varejo e atacado, indistintamente desde os eletroeletrônicos, vestuários, fármacos e alimentícios.

As comidas típicas da Amazônia peruana, comum no mercado Belén estão as carnes de peixes, para preparo de *cebiche*, *chicharrón de pirarucu* e *yuca (mandioca) frita*, quelônios, chá da ayahuasca.



Entrada principal do Mercado Belén (Iquitos), 2016.



Acesso de saída secundária do Mercado Belén em Iquitos (Peru), 2016.



EXPEDIÇÃO FLUVIAL PERU-BRASIL - RIO AMAZONAS (JULHO e DEZEMBRO 2016)

## Iquitos - Peru

### Diversidades no Mercado Belén



**Ají de Gallina** uma forma de bobó de frango com pimenta **amarillo**, creme de pão e creme de leite. **Juane**, feito com galinha e arroz e envolto em folhas de bijao (folha de palmeira) e famosíssimo amazônida **Jaraqui** assado de brasa, o mais popular dos peixes desse grandioso rio. Tem um ditado popular na Amazônia que diz: **“Quem come Jaraqui, não vai mais embora daqui”**.

Culinária peruana a disposição no Mercado Belén (Iquitos).



**A**ves em geral, com bastante preferência para o *Ají de Gallina* uma forma de bobó de frango com pimenta *amarillo*, pão e creme de leite, assim como, *pollo a la brasa* e *a juane*, feito com galinha e arroz e envolto em folhas de bijao (folha de palmeira), sem esquecer a galinha cozinha num tipo de sopa com ovo cozido, acompanha arroz branco e farinha de banana (pacovã).

O *lomo saltado*, outro tradicional prato peruano, com carne de vaca (ou não), cortada em finas tiras, é preparada com molho *shoyu*, tomate, cebola e temperos, normalmente a carne é servida com algum tipo de batata ou *tacu tacu* (espécie de mistura de arroz e feijão amassado).

A banana pacovã (conhecida também por banana-comprida, pacova, pacoba, pacovão, banana-da-terra) para a preparação da *tacacho con cecina* (banana amassada e frita, tipo uma bolacha, pense em uma comida boa e saudável).

---

Banana **Pacovã** e **Patacones** (banana pacovã com linguiça), servido no café da manhã, no mercado Belén.



O buriti que é ofertado *in natura*, descascado e em forma de farinha, também o fumo moído é visto no mercado em grande abundância, o milho é vendido em diferentes tipos, inclusive o “preto ou roxo” para preparação *ticha morada* (uma forma de gelatina).



Buriti *in natura* e em farinha e milho “preto ou roxo” (Mercado Belén -Iquitos).

**C**aça em geral, sem faltar as ervas medicinais com aromas e cores diversas, frutas, um destaque especial para a quinua uma excelente semente andina não conhecida pelos colonizadores espanhóis, mas hoje, é reconhecido por ser um alimento muito rico em diversas substâncias indicado pela FOA ( *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação), inclusive declarado um Patrimônio Natural da Humanidade pela Unesco, com um preço muito baixo em Iquitos, porém em Manaus é vendida em rede de supermercado com preço bem elevado, devido sua fama de alimento saudável e ecologicamente correto.



Domingo no Mercado Belén, almoço de famílias após a missa, venda de fumo.



## O Mercado Adolpho Lisboa

**E**ste mercado encontra-se no centro histórico de Manaus, acopla em seu redor um conjunto de feiras, como o Mercado da Manaus Moderna (2), que hoje está emendado ao Adolpho Lisboa (1) por barracas e comércios varejistas adjacentes. Este complexo de vários idiomas (árabes, indianos, judeus, nordestinos (Brasil) e amazonenses), disponibiliza a cidade (capital e interior) todo tipo de mercadoria.



Mercado Municipal Adolpho Lisboa (1) e Mercado da Manaus Moderna (2), em 20 de dezembro de 2016.

Os produtos da Amazônia são todos encontrados aqui, peixes, ervas, carnes vermelhas e brancas, frutas, comércio, estivas e especiarias. Aqui anteriormente fora um porto de borracha (Manaus Harbour – Porto Flutuante construído pelos ingleses, no Séc XIX, para evitar ajustes de altura em período de cheia do rio, atualmente, encontra-se em funcionamento). Existe próximo ao mercado um prédio pré fabricado na Inglaterra para a Alfândega brasileira, ainda hoje em excelente estado de conservação. (Na Revista Rio Amazonas, no ensaio de Robson Calazães, vê-se imagem deste cenário, completo).



EXPEDIÇÃO FLUVIAL PERU-BRASIL - RIO AMAZONAS (JULHO e DEZEMBRO 2016)

## Manaus - Amazonas

### Os concessionários no Mercado Adolpho Lisboa



Concessionários no Adolpho Lisboa e Manaus Moderna (Manaus - Setembro 2016)



O Mercado Adolpho Lisboa (1880-1883), foi construído todo o pavilhão de sua estrutura em ferro pela companhia "Walter Macfarlane, Glasglow", em *art nouveau*, no auge do período da exploração da borracha na Amazônia. Foi montado de frente para o rio Negro, próximo ao encontro das águas com o rio Solimões, a partir deste ponto o rio, passa a ser chamado de Rio Amazonas, até sua foz no Oceano Atlântico.



Segunda fachada do Adolpho Lisboa (Rua dos Barés), a outra é para frente do rio Negro



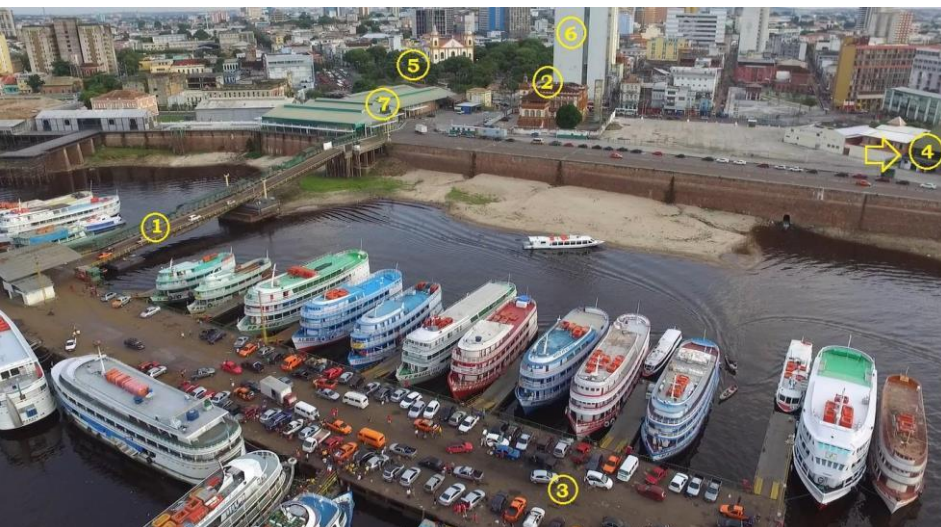
Encontro das águas do Rio Solimões de cor amarelada e o Rio Negro de cor bem escura. O sentido de navegação do Navio é da cidade de Manaus, ao município do Careiro da Várzea. (Setembro 2016).



Fachada principal do Adolpho Lisboa (Frente para o rio Negro). E fachada para Rua dos Barés.



Variedades de grãos, castanhas e especiarias amazônicas. Café em grãos torrados



### Complexo portuário de Manaus (AM):

1 e 3: Porto Flutuante (construído pelos ingleses); 2: Prédio da Alfândega (pré fabricado na Inglaterra); 4: Adjacente ao mercado Adolpho Lisboa; 5: Catedral Metropolitana de Manaus (N. S. Conceição), em época de grandes cheias, o Negro vai até a calçada da Catedral; 6: Edifício da Receita Federal em Manaus 7: Adm. Porto.



## O Mercado Municipal do Pescado



A cidade portuguesa de Santarém em homenagem a Santa Irene (*Sant'Irene*, aporuguesada de Santarém), em frente do rio Tejo em Portugal, foi a inspiração de Mendonça Furtado para a aldeia dos Tapajós, elevada à categoria de vila em 14 de março de 1758.

Barco de transporte de pessoas e pescados para os mercados de Santarém (Pará), no Tapajós, dezembro 2016.



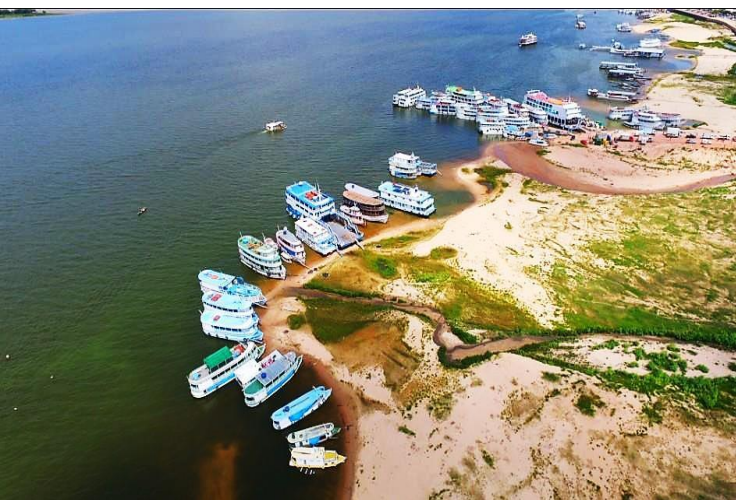
EXPEDIÇÃO FLUVIAL PERU-BRASIL - RIO AMAZONAS (JULHO e DEZEMBRO 2016)

## Santarém - Pará

### A vida amazônica no Mercado Municipal do Pescado

O rio Tapajós que banha Santarém no oeste do Pará, encontra o rio Amazonas logo em frente da cidade, criando um encontro de águas barrentas do Amazonas com as águas de turbidez mais clara, porém com densidades diferentes, produzindo uma interface de matrizes distintos por mais de 3 km (o encontro é visto ao fundo da imagem cima).

A oferta de peixes, frutas e crustáceos na cidade é muito rica, tanto na seca, quanto na cheia do rio



Beira do Tapajós em Santarém em tarde de dezembro em 2016



Mercado Municipal do Peixe, Santarém - Pará. Paneiros amazônicos, do mesmo tipo que Sir Henry Wickham (1846-1926), levou 70 mil sementes de seringueira, envolvidas com farinha de mandioca de Santarém para o Jardim Botânico de Kew em Londres (Inglaterra).

## Os Peixes do Rio Amazonas em Santarém (PA) em período de seca.



O tambaqui reina na preferência amazônica de Iquitos à Macapá. Aqui presente no Mercado em Santarém (Pará-Brasil).



O Pirarucu é imbatível em sabor para todos os gostos, desde o *Caviche* (peruano) ao dos brasileiros



O Tambaqui no Mercado do Pescado (Santarém-PA), oferta com bom preço e qualidade



## Variedades Amazônicas em Santarém



Tucunaré é nobre, carne bastante apreciada tanto cozido quanto frito.



Dourado ou pintado possui uma carne muito saborosa, para a moqueca, tanto com ensopado ou frito.



Pirarucu salgado, na Amazônia é chamado de pirarucu seco. Seu concorrente direto é o Bacalhau.

## Variedades Amazônicas em Santarém



Pescada de carne muito nobre, aconselhado para o pós parto por sua fácil digestão e sabor, possui em seu sistema de equilíbrio da cabeça 2 cálculos (pedras pequenas), que são facilmente retiradas, quando é servido. (Mercado do Pescado - Santarém - PA).



Arraiá amazônica. Mercado do Pescado em Santarém (Dez 2016)



## Variedades Amazônicas em Santarém



Legumes e verduras, Farinha de mandioca, Cará açu, encontrados de Iquitos a Macapá. (Mercado do Pescado, Santarém-PA)..



EXPEDIÇÃO FLUVIAL PERU-BRASIL - RIO AMAZONAS (JULHO e DEZEMBRO 2016)

## Macapá - Amapá

Visão panorâmica no Mercado do Pescado do Igarapé das Mulheres



O Igarapé das Mulheres faz parte da orla de Macapá e hoje está situado o bairro do Perpétuo Socorro. É um dos mais antigos da cidade. Na década de 40, quando o Amapá ainda era território, as mulheres lavavam as roupas das patroas e se banhavam nas águas. Ficava de guarda uma mulher com uma espingarda, para o caso da aproximação de alguém do “sexo feio”.

(nome que, no início do Séc. XX, eram tratados os homens nos festejos do Marabaixo) para espí-las na hora do banho. (texto copiado de <https://www.acheimacapá.com.br/>). Hoje o Mercado oferece a população de Macapá todos os produtos da Amazônia, encontrados em Iquitos, Manaus e Santarém, as mesmas variedades de pescados, frutas, verduras e especiarias, o Açaí é o carro chefe das vendas no Macapá, perde somente para Belém.



## Cenários em Macapá



Porto Esperança, em Santana (30 km de Macapá-AP), chegada dos barcos com Açaí para ser distribuído para venda em Macapá e Belém. (24 de dezembro de 2016).



Melancia e cana-de-açúcar no entorno do Mercado das Mulheres

## Cenários em Macapá



Logística no comércio do entorno do Mercado. Barcos encalhados por causa da maré baixa em Macapá.



Mercado, após o expediente matutino. Barcos de pesca ancorados no Igarapé das Mulheres em Macapá.

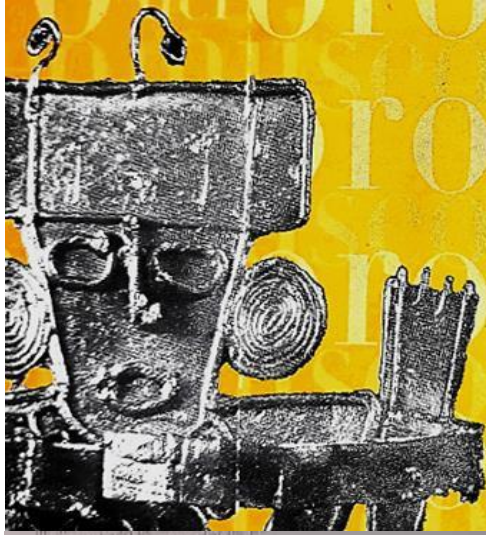


Rio Amazonas em Macapá, na orla de Santa Inês. Em frente o Forte de São José de Macapá, construído pelos portugueses para proteger a foz do rio. A seta indica a posição do Mercado de Pesca do Igarapé das Mulheres. (25DEZ2016).



**Robson Calazães** é Engenheiro Químico e de Petróleo e Gás, pesquisador de água. Na Expedição Rio Amazonas do Peru-Oceano Atlântico, passou por mais de 50 cidades na Amazônia fazendo análise de água para o Instituto Max Planck – Mainz | INPA (2016-2019). Foi quando realizou as fotografias organizadas neste Ensaio. Seu trabalho mais recente como colaborador :Water chemistry of rivers and streams from the Jaú and Uatumã basins in central Brazilian Amazon, Agosto 2022. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00696-z>.





# museo del Oro

MIÉ 13 ABR 2022

RECUERDE DEVOLVER LA AUDIOGUIA  
REMEMBER TO RETURN THE AUDIO GUIDE DEVICE

Responsable: BANCO DE LA REPUBLICA

Nit: 860005216-7

Impreso: MIÉRCOLES 13 04 2022 12:34 PM

Senior \$0

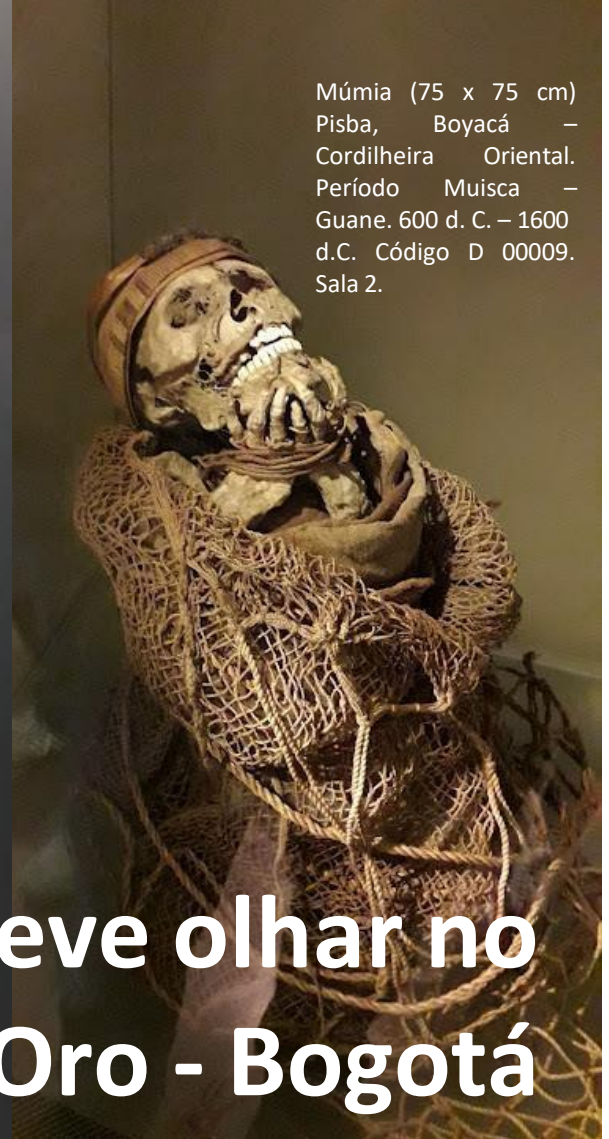
No. 98020113427



Museo del Oro - Bogotá

Divulgação

Múmia (75 x 75 cm)  
Pisba, Boyacá –  
Cordillera Oriental.  
Período Muisca –  
Guane. 600 d. C. – 1600  
d.C. Código D 00009.  
Sala 2.



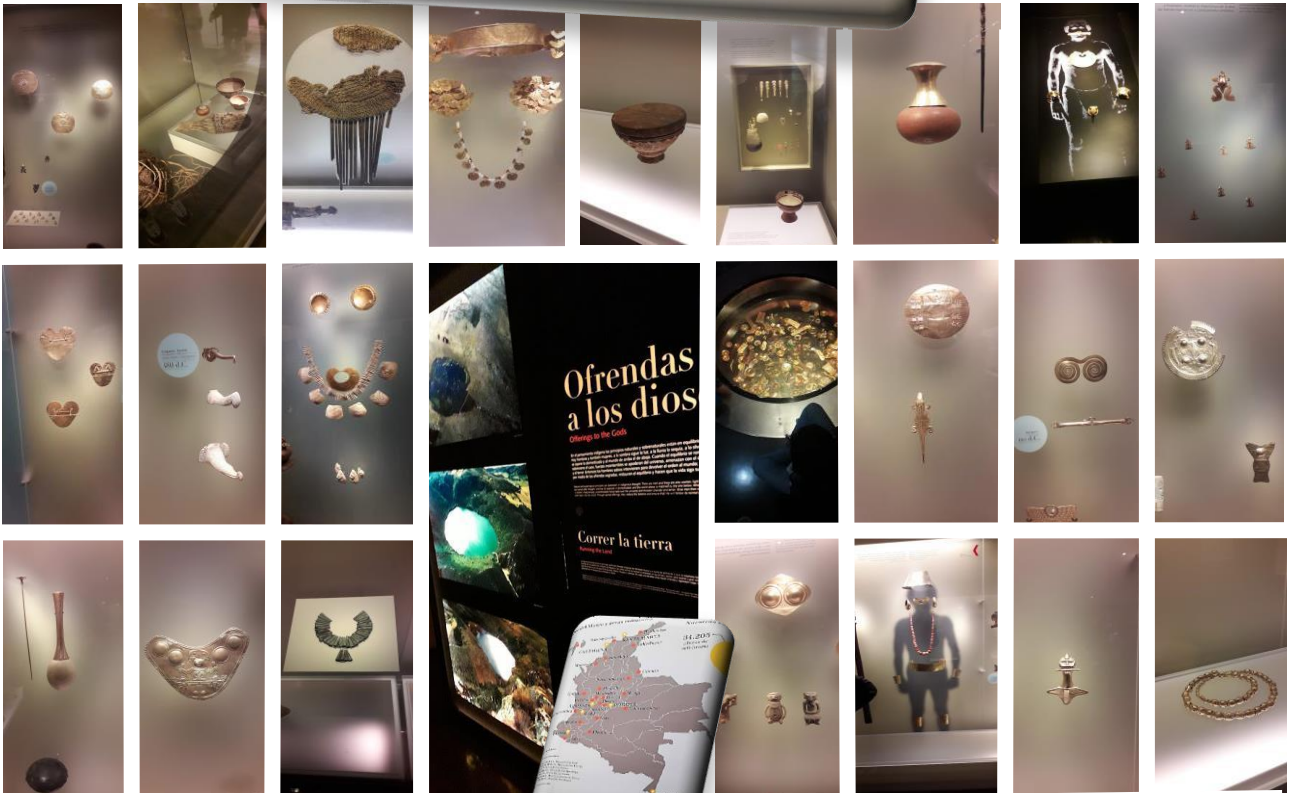
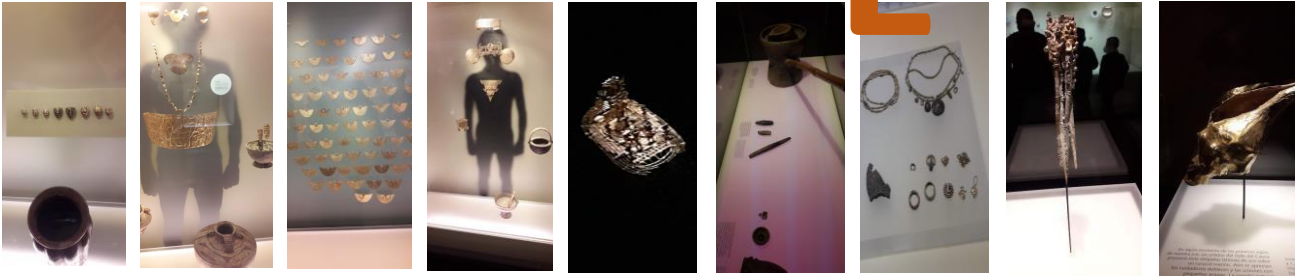
## Um breve olhar no Museo del Oro - Bogotá

Uma breve e fascinante visita ao *Museo del Oro* em Bogotá, patrimônio histórico nacional do Banco da República da Colômbia, que preserva, pesquisa, divulga e exhibe uma das mais belas coleções de metalurgia pré-hispânica e de arqueologia andina.





# E L DOURADO





## O povo e o ouro na Colômbia pré-hispânica.

A América foi povoada há cerca de 20.000 anos por caçadores e coletores do Velho Mundo. Com o tempo, muitos desenvolveram a agricultura, trabalharam no barro e viveram em aldeias e cidades. A metalurgia descoberta no Equador e no Peru por volta de 1500 antes de nossa era, expandiu-se para o norte até atingir a costa sul da Colômbia, primeiro, e depois o resto deste vasto território. De 500 anos antes de Cristo até a conquista espanhola no século XVI, a metalurgia floresceu na área andina e na costa colombiana. Foram mais de uma dezena de estilos diferentes que, desenvolvidos por inúmeras sociedades, permitiram a elaboração de milhares de objetos com diferentes formas e técnicas em diversas ligas metálicas.

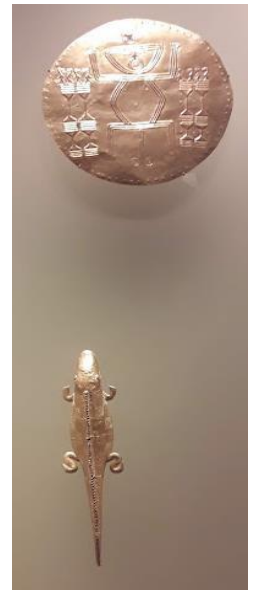
A metalurgia era comum entre as sociedades com líderes políticos e religiosos permanentes que governavam grupos de aldeias. Essas chefias alimentavam sua grande população com uma agricultura eficiente, centrada no cultivo de milho ou mandioca, e um bom suprimento de carne de caça e peixe. Graças aos excedentes alimentares, algumas pessoas dedicaram-se a atividades especializadas como culto religioso, escultura, troca de mercadorias, mineração e ourivesaria.

A produção metalúrgica estava a serviço dos governantes, que usavam grandes ornamentos para reforçar seu prestígio e tornar visível sua autoridade. Dado um caráter religioso e simbólico, esses objetos sagrados expressavam uma filosofia complexa que tratava da origem do mundo e da humanidade, explicava a evolução do universo e justificava as relações naturais e sagradas. Muitos ornamentos de metal simples também eram usados pelas pessoas comuns. Os metais também eram usados para fazer ferramentas que eram usadas na vida cotidiana e oferendas que, entregues aos deuses em rituais, permitiam às comunidades preservar o equilíbrio do cosmos. (Texto de Roberto Lleras Pérez, Museu do Ouro - Bogotá, sala 2).

Adornos de Orelhas, Nariz, Peitoral, Colar e Cinto ou placa circular todas em Ouro, Período 1080 d. C., (Sala 2)



Placa Circular (diâmetro 6 cm) e pingente na forma de jacaré (2 x 4 cm), comum na oferta em funeral ao morto para que levasse em sua viagem ao Cosmo. Mais abaixo, colar em cobre do Período 700 d.C. - 1600 d.C., tão valioso quanto o ouro. (Sala 2).



## Museo del Oro



*Sala 1 – El trabajo de los metales*

*Sala 2 – La gente y el oro en la Colombia prehispánica*

*Sala 3 – Cosmología y simbolismo en las sociedades orfebres*



Peitoral de cobre em  
forma de coração  
19,9 x 25,5 cm  
MONTENEGRO,  
QUINDÍO CAUCA  
MEDIO, Período 700  
d.C. - 1600 d.C.  
O15433.

## O novo sabor do cobre

Escavações arqueológicas em túmulos do Cauca Médio descobriram recentemente numerosos ornamentos feitos de cobre: anéis de nariz anulares, crescentes e torções, peitorais em forma de coração e contas de colar. Não sabemos por que os ourives selecionaram esse material para fazer esses objetos, mas vários contextos sugerem que também era, como o ouro, muito valorizado. Um túmulo de poço profundo escavado em La Tebaida tinha duas câmaras e em cada uma delas um corpo envolto em um embrulho e adornado com um peitoral de cobre; um dos corpos tinha sido coberto com duas camadas diferentes de terra e tinha outras decorações do mesmo metal. (Texto: María Alicia Uribe Villegas, Museo del Oro - Bogotá, sala 2).



Pingentes antropomórficos, recuperados de urna funerária (Quindío – Cauca Médio – Período 970 d. C.).

### Sala 4 – La ofrenda – Da Oferta

- . El vuelo chamánico – O Vôo Xamânico
- . La balsa muisca – A Balsa Muísca
- . De la ofrenda - Da oferta

Museo del Oro (Bogotá D. C.)  
CEP - Banco de la República  
Biblioteca Luis Ángel Arango

Cra. 6#15-88, Bogotá, Cundinamarca, Colômbia  
<https://banrepcultural/bogota/museo-del-oro>



CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Em uma sequência estruturada tabular o Monte Roraima ocorre no extremo setentrional da América do Sul, em continuidade para o interior da Venezuela, República da Guiana e Suriname, nas serras do Aracá, Neblina, Tepequém e Melo Nunes de idade pré-cambriana.

MONTE RORAIMA

BORDA  
SETENTRIONAL DO  
CRATON GUIANÊS





O Escudo Guianês é um arqueano ao norte do rio Amazonas constituído de gnaisses associados com granitos e outras intrusivas, conhecido por Escudo Orenocoano ou das Guianas, também chamado “*Guiana Shield*”, no Suriname e de *Escudo de Guayana* na Venezuela de área petrotectônicas (ígneas e metamórficas) de cobertura sedimentar em plataforma e estrutura tipo *rift valley*.

O Complexo Guianense foi submetido a uma série de eventos tectônicos, cuja as rochas cataclásticas são muito frequentes. Composicionalmente assemelham-se às rochas granitoides, a partir das quais formaram-se na maioria dos casos. Chegam a ocorrer como extensas faixas de cataclastos e milionitos. No campo essas rochas assumem o aspecto de gnaisses facoidais, nos tipos em que a deformação foi menos intensa, passando a cataclastos, milionitos, fitonitos e ultramilionitos, à medida que esta cresce. Os gnaisses apresentam grandes cristais de feldspatos.



A *Oreocanthus sceptrum*, no Parque Nacional Canaima, Venezuela (Monte Roraima).



Abundância de quartzo com elevada quantidade de plagioclásio, andesina-labradorita e teor de anortita. São místicos nesta montanha.



*Oreophrynella quelchii* (sapinho do Monte Roraima) espécie especial e endêmica.



Vista do Monte Roraima a partir de Santa Helena (Venezuela)

Nível Plano Altimétrico (Google Maps)







**A** Vegetação da área de Rio Branco é xeromórfica, ampliando-se em todas as direções com dois sistemas ecológicos (Savana e Savana-Estéptica). A Savana da Bacia do Rio Branco tem uma fisionomia campestre com árvores isoladas de pequeno porte que, às vezes, se adensam nas proximidades dos cursos d'água, ladeadas por filas de palmeiras e de pequenas depressões lagunares, na maioria temporárias. O Clima do Rio Branco é tropical com duas estações bem marcadas, o que significa um déficit no balanço hídrico das plantas durante alguns meses. Isto somando à gênese geomorfológica da área talvez seja a melhor explicação para a existência desse tipo de formação que aí se estabeleceu. A planura coberta por esta savana apresenta um relevo levemente ondulado de acumulação quaternária, com frequentes cristas rochosas do embasamento cristalino (granitos, gnaisses, quartzitos e basaltos) revestidas pela Savana-Estéptica. A planície apresenta um terreno de textura areno-argilosa relativamente delgado, frequentemente entalhada por cursos d'água na época das chuvas.





**A**ção antrópica na área é antiga. As primeiras notícias sobre as atividades agropastoris na água na área do Rio Branco datam do século XVII, ou seja de 1789, segundo D'Almada, 1861.

Assim, algumas fisionomias ecológicas já encontram-se bastante modificadas. No entanto, a ação antrópica, como formadora das savanas, se torna cada vez mais hipotética, podendo-se responsabilizar o homem apenas pelas modernas alterações estruturais que a devastação e o fogo exercem sobre as mesmas, o que não implica na negativa da teoria de que a lavrado está ampliando as suas áreas naturalmente.



Imagens: Bruna Pires e MINDEN Pictures

O *oreophrynella quelchii* sapo de barriga amarela de dimensões de 2,0 x 3,0 cm (patas encolhidas), não pula, seu mecanismo de defesa é encolher e rolar nas pedras para escapar dos predadores.

Texto adaptados a partir do RADAM BRASIL FOLHA NA.20 BOA VISTA E PARTE DAS FOLHAS NA.21 TUMUCUMAQUE, NB.20 RORAIMA E NB.21  
Imagens: Bruna Fagundes Pires



**Bruna Fagundes Pires,** pesquisa Ciências Ambientais e é especialista GBCO-FAB.





Experimento FRACTUS

Visualização WORLDVIEW-NASA  
Período: 03DEZ21 – 08JAN22

# A viagem da transformação



SE  
ULBRA  
BGF  
MEMBER

## Experimento FRACTUS

ZCIT: 8 ~ 15 km | Zona de Convergência Intertropical  
SAL: 8 ~ 15 km | ~ 7 m/s – Saharan Air Layer  
TAO: 5 ~ 7 km | (J J A S O N D) Tropical Atlantic Ocean  
0 ~ 3 km | (D J F M A M J)

(Natalie Mohowald, Univ. Cornell)  
(Michelle van der Does et al., 2016)  
(Carmen Friese et al., 2017)  
(Anne E. Barkley, 2019)  
(H. Yu et al., 2019)  
(Paulo Artaxo, USP, 2017)  
(Escobar e Matoso, 2020 – INPE)



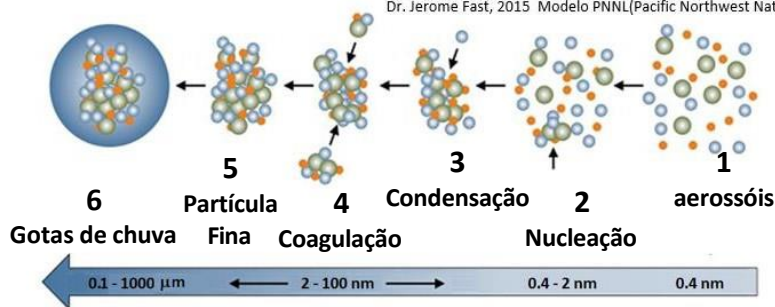
## CLIMA

## Sahel – São Gabriel da Cachoeira



Fonte: Modificado de Kathy Bogan, 2019 /CIRES. Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences at the University of Colorado Boulder  
Dr. Jerome Fast, 2015 Modelo PNNL(Pacific Northwest National Laboratory)  
Cortesia: USGS

A viagem África - Amazônia da poeira do Deserto do Saara é vista na ilustração da transformação de como as gotas de chuva se formam a partir dos aerossóis.



### Gênese da Chuva

1. Vapores Orgânicos e Inorgânicos
2. Agrupamento estável (Colonização)
3. Sai do estado de vapor para o estado Líquido
4. Transforma-se em uma forma de "gel"
5. Constitui-se em uma partícula
6. Agrupamento em uma formação de aproximadamente de 0,1 até 1000 µm (NUVEM)

**S**e a poeira do deserto do Saara chega na Amazônia, Caribe, Golfo do México e nos Estados Unidos da América do Norte é fato científico comprovado, segundo Natalie Mohowald, Univ. Cornell, (2020), Michelle van der Does et al., (2016), Carmen Friese et al., (2017), Anne E. Barkley, (2019), H. Yu et al., (2019), Paulo Artaxo, USP, (2017), Escobar e Matoso, INPE (2020).

Para Alejandra Borunda (2020), "A poeira do Saara faz mal à saúde, mas é crucial para a vida e o Clima da Terra". Ela carrega até 60 milhões de toneladas de poeira com um diâmetro em média menor que 2,5 micrômetros, entre a África e a América em uma altitude de 1,5 a 4,5 km acima do nível do mar.

A professora da Universidade de Cornell, Natalie Mahowald, "a poeira tem a capacidade de sintetizar, ou seja fertilizar organismos fotossintetizantes que contribuem significativamente na diminuição de CO<sub>2</sub> atmosférico".

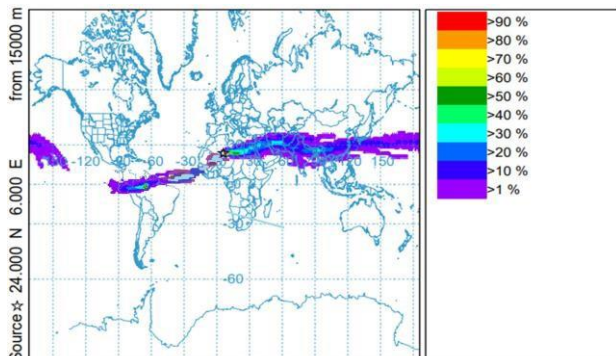
O pesquisador Paulo Artaxo da Universidade de São Paulo, em seu trabalho sobre aerossóis, cuja título versa sobre, "Papéis relativos das emissões biogênicas e poeira do Saara como núcleos de gelo na Bacia Amazônica", que trás a cena como a queima de biomassa no deserto do Saara no transporte de fósforo em aerossóis de núcleo de gelo para a Amazônia (Nature Science, 2009). Porém seu trabalho reverbera a muito mais tempo neste monitoramento com estações para captura de aerossóis africanos na Amazônia em Alta Floresta (MT), Cuiabá (MT) e Serra do Navio, (1994).

A poeira do deserto do Saara representa metade da poeira do mundo (Dirk Scheivens – Darmstadt University, 2013), cuja teor é composta de Silício, Ferro, Fósforo, Titânio, Manganês, Cálcio, Magnésio, calcita e carbonato.

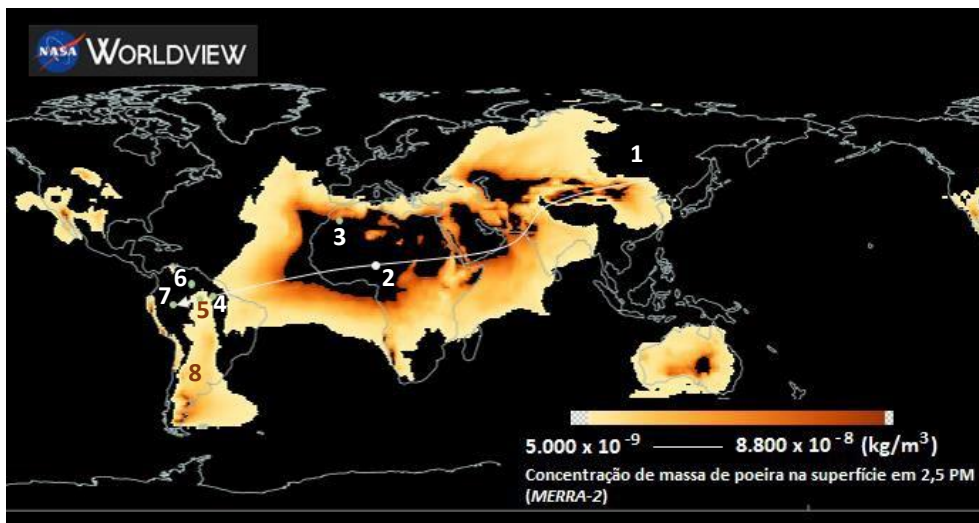


## A Modelagem

**O** Experimento FRACTUS (*F*Raction *A*erosol *C*limate *T*emperature *U*Sable) de investigação da deposição da poeira do Saara na Amazônia é singular pelo fato de se preocupar em entender com as cidades de Manaus, Santarém, São Gabriel da Cachoeira, Iquitos recebem a fertilização africana por meio das chuvas com teor de elementos químicos do sal, da queima da biomassa, das diatomáceas da Depressão de Bodélé no Chade, ou simples do deserto em Quarzazate no Marrocos. As ferramentas utilizadas na pesquisa se concentraram no primeiro estágio nas modelagens de vento e poeira africana com Modelos HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Intergred Trajectory) NOAA-NASA, WORLDVIEW (NASA-MODIS), AOD - Aerosol Optical Depth (MODIS-NASA).

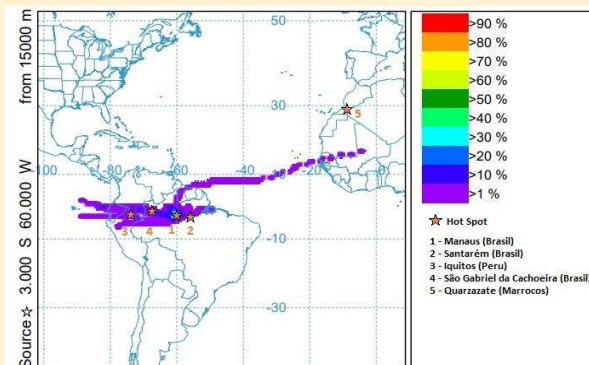
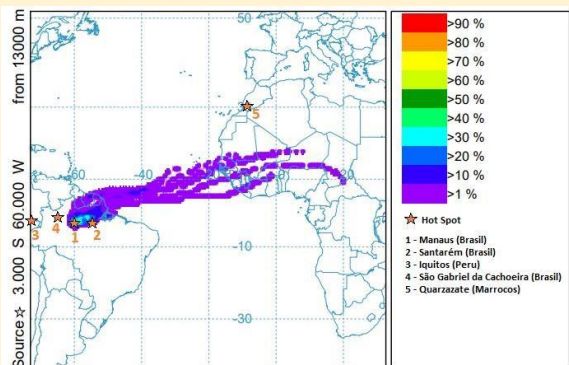


Trajetórias dos ventos pela Circulação Geral da Atmosfera no período de Dezembro-Janeiro-Fevereiro, quando a Zona de Convergência Intertropical encontra-se no Hemisfério de Verão Austral. Modelo HYSPLIT (NOAA).



**Legenda:** (1) Norte da China; (2) Depressão de Bodélé (Chade-África); (3) Quarzazate (Marrocos-África); (4) Santarém (Pará-Brasil); (5) Manaus (Amazonas-Brasil); (6) São Gabriel da Cachoeira (Amazonas-Brasil); (7) Iquitos (Loreto-Peru); (8) Patagônia (Chile-Argentina).

A modelagem para o período de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (2021-2022) da concentração de massa de poeira sobre a superfície desde o Norte dos desertos da China até a Patagônia na América do Sul. Estes ventos são jatos de baixos níveis que se originam no Ártico siberiano, chegam à China em seguida a Cordilheira do Himalaia, favorecidos pela topografia, campo de pressão e instabilidades transitentes acoplam-se aos ventos alísios, atravessam o deserto do Saara na África, o Oceano Atlântico e passam na Amazônia, até chegarem a Patagônia em um trajeto de mais de 20.536 km. Cortesia: MERRA-2.

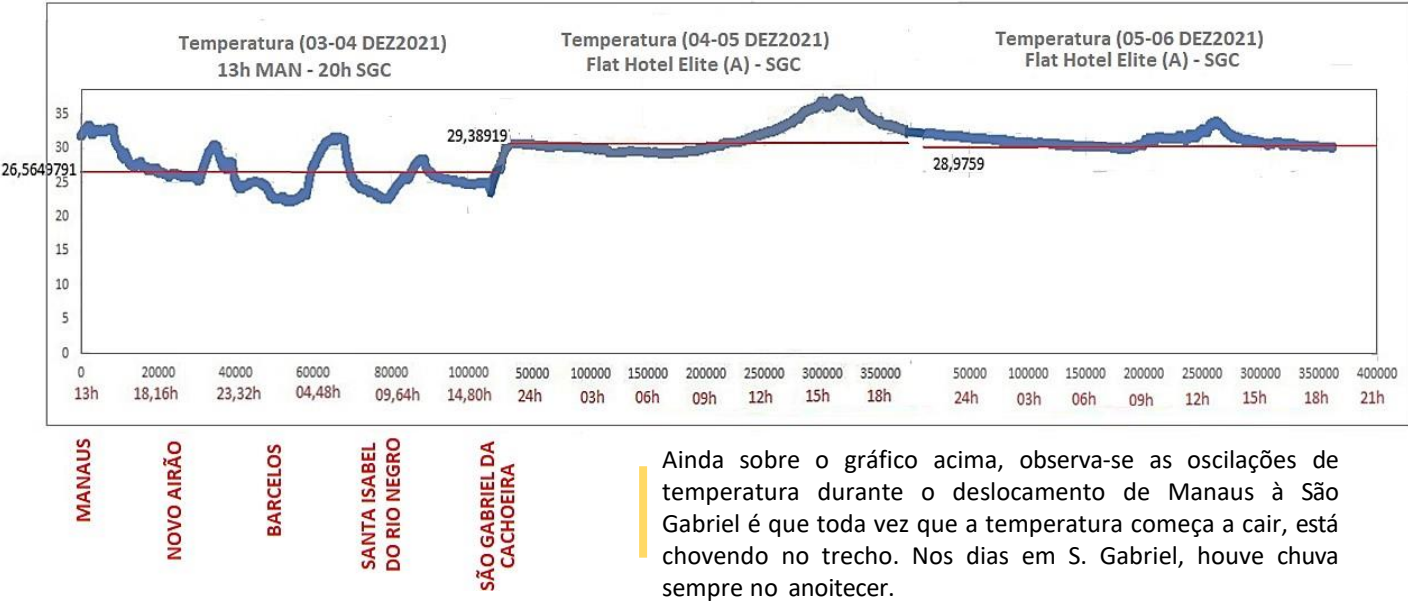


Trajetórias das frequências dos ventos, para os dias de 22 de janeiro de 2022 a 25 de fevereiro de 2022 (UTC), nos sites das cidades de Manaus -Brasil (1), Santarém - Brasil (2), Iquitos - Peru (3), São Gabriel da Cachoeira - Brasil (4) e Quarzazate - Marrocos (5). Embora as Figuras acima seja do mesmo dia, a altitude da modelagem difere, por isto diferentes trajetos. Foi utilizada altitude estratosférica. Fonte: MODELO HYSPLIT (NOAA).

## Condição do Tempo no Rio Negro (03-08 DEZ 2021)

O trabalho de campo entre as cidades de Manaus e São Gabriel da Cachoeira pelo Rio Negro em barco no início de dezembro de 2021, com coleta de água e medidas de temperatura, pressão e umidade, durante todo o trajeto, tanto na ida quanto na volta.

O gráfico abaixo mostra a assinatura da variação de temperatura na viagem e nos dias de campo em São Gabriel da Cachoeira. Pode ser visto com clareza a variação durante o trajeto de barco, cuja média é de aproximadamente 25,6 °C, enquanto do primeiro dia foi de 29,3 °C e no segundo dia de 28,9 °C.



Ainda sobre o gráfico acima, observa-se as oscilações de temperatura durante o deslocamento de Manaus à São Gabriel é que toda vez que a temperatura começa a cair, está chovendo no trecho. Nos dias em S. Gabriel, houve chuva sempre no anoitecer.

### FRACTUS | partida 03-08 DEZ 2021 | Mosaico da Viagem (SGC) Temperatura - Rio Negro

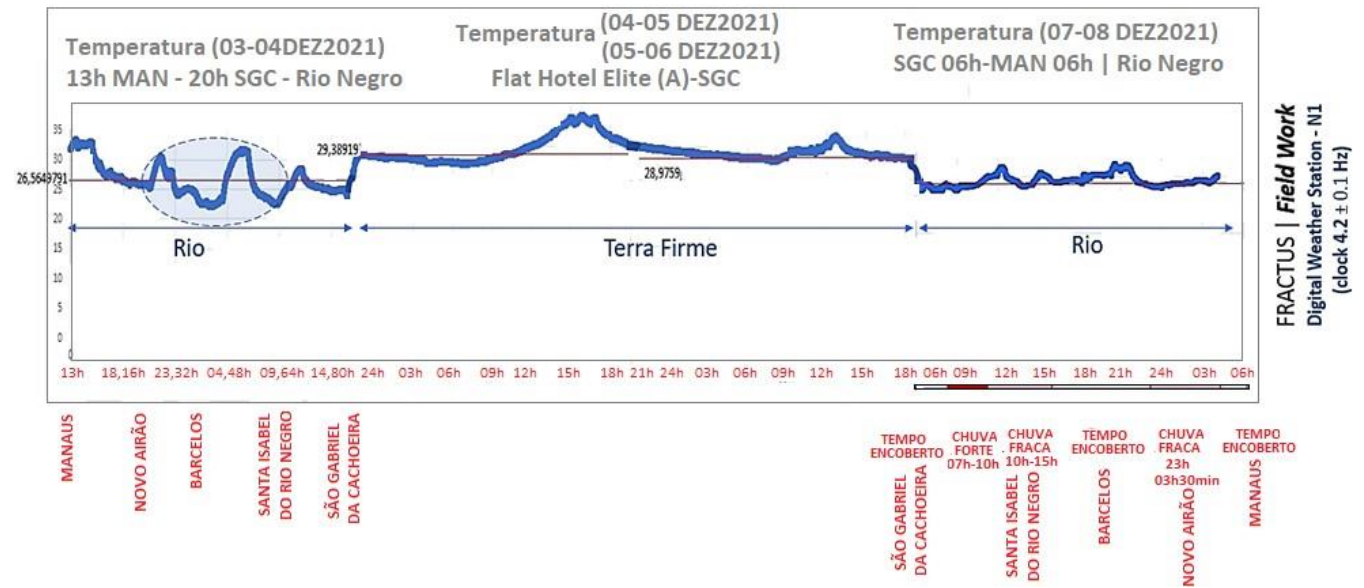


Gráfico acima, mostra uma visão geral da condição do tempo na viagem sobre o Rio Negro entre Manaus e São Gabriel da Cachoeira (DEZ 2021)



(00° 12' 39" S, 066° 52' 20" W)

Porto CAMANAUS

## 1ª. AMOSTRA (Frente da cidade)

Catedral SGC – Marinha do Brasil

**pH:** 3,5 | 3,5 | 3,5 – **Fita:** 5,0 | 5,0 |

**Condutividade:** 11 | 11 | 11 (µSv)

**Temperatura:** 27,5°C

**Saturação de O:** 15,5 | 15,8 | 16,1 (%)

**Oxig. Dissolv.:** 1,27 | 1,22 | 1,27 (mg/L)

## Análises Geoquímicas

As informações são da viagem de volta



São Gabriel da Cachoeira

Tempo do taxa de Ônibus Camomau-Centro SGC Wauapés R\$ 3,00

145 km

Aeroporto Regional de São Gabriel da Cachoeira

Porto CAMANAUS

Rio Negro



11:41

São Joaquim

São Gabriel da Cachoeira

Trindade

MÉDIO RIO NEGRO I

As análises **Geoquímicas Ambientais** nas áreas do Rio Negro ao longo da viagem entre Manaus e São Gabriel da Cachoeira, tanto na ida quanto na volta, foram realizadas em frente as cidades principais (Manaus-Novo Airão (Anavilhanas) – Barcelos-Santa Isabel do Rio Negro- São Gabriel da Cachoeira), para o conhecimento que caracteriza o meio ambiente através do estudo da variação do conteúdo dos elementos químicos na litosfera, biosfera e atmosfera.

Parque Nacional do Pico da Neblina



## 2ª. AMOSTRA (Santa Isabel do Rio Negro)

Em frente o Cais da cidade

**pH:** 3,7 | 3,6 | 3,6 – **Fita:** 5,0 | 5,0 |

**Condutividade:** 15 | 15 | 15 (µSv)

**Temperatura:** 28,8°C

**Saturação de O:** 16,1 | 15,7 | 15,7 (%)

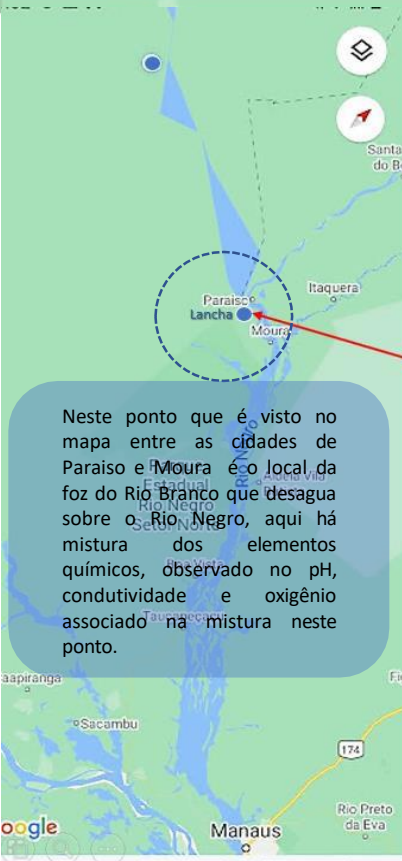
**Oxig. Dissolv.:** 1,21 | 1,22 | 1,16 (mg/L)

Santa Isabel do Rio Negro

Papera

10:09

## Análises Geoquímicas



Metadados:

<https://earthexplorer.usgs.gov/><https://amazonexpedition.zohosites.com>



**A**s observações climáticas no site em estudo foi com a classificação de Köppen-Geiger, referência em sistema de classificação global climático dos mais utilizados em todo o mundo (Hasan Mahmud et al., 2015). Seguindo a classificação climática, as modelagens de dispersão da poeira do Saara (Sahel), as variáveis climáticas medidas e as análises geoquímicas, realizadas no trabalho de campo foram para buscar uma identificação no padrão de distribuição espacial dos elementos climáticos (aerossóis africanos que chegam à Amazônia) e descrever o período da sazonalidade, quantificar cientificamente para categorizar a zona climática atingida pela poeira africana do Sahel.

O clima tropical (A) na classificação citada há uma

zona climática com duas subdivisões, Af e a Am, está última cobrindo totalmente a Amazônia e quase toda a parte norte da América do Sul, traduzindo-se assim, em um clima de zona tropical em que a temperatura média do ar do mês mais frio é maior ou igual a 24°C. Af representa o clima tropical sem estação seca e este clima cobre a zona noroeste do Brasil na localidade da cidade de São Gabriel da Cachoeira, região conhecida no mapa do Brasil como, “Cabeça do Cachorro”, contudo a conclusão final só será alcançada quando o Experimento FRACTUS, chegar a região do Sahel em Quarzazate (Marrocos) para a comprovação dos elementos químicos do Saara são os encontrados na Amazônia.

## SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA RIO NEGRO



## MODELAGEM

# EQUILÍBRIO ECONÔMICO PARCIAL NO MERCADO DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR E O PROBLEMA DA LOCALIZAÇÃO DE ERBS NA REGIÃO NORTE

Aldemir Malveira de Oliveira<sup>1,2</sup>, Ivaneide Protássio<sup>3</sup> Rosiane de Freitas Rodrigues<sup>4,2</sup> Nelson Maculan<sup>2</sup> \_

### RESUMO

Um setor de mercado encontra-se em equilíbrio quando as empresas envolvidas atuam da melhor maneira possível, não tendo razão para modificar preços ou níveis de produção/oferta de serviços. Portanto, o equilíbrio econômico indica um balanceamento entre oferta e demanda, a um determinado preço. Para que haja uma satisfação do sistema, os agentes econômicos devem ter seus objetivos satisfeitos, pois, em situação contrária, forçaram e incentivaram as forças a adotarem mudanças na política. Este trabalho apresenta uma análise econômica do mercado de telefonia móvel e celular na região Norte, através de um estudo da situação vigente e da proposta de modelos em programação linear inteira que tratam a alocação de Estações de Rádio Base (ERBs), garantindo uma cobertura parcial ou total a um custo mínimo, de tal forma a proporcionar uma visão geral sobre o cenário de tal mercado no Norte e qual o impacto econômico no reforço ao atendimento da demanda (maximização de número de usuários), minimizando a ocorrência de zonas de sombra, ou na busca pela cobertura total da região.

**PALAVRAS-CHAVE:** algoritmos geométricos, Estação de Rádio Base, problema de localização, programação linear inteira, propagação de sinal.

### ABSTRACT

One sector of the market is in equilibrium when the companies involved act in the best possible way, having no reason to change prices or levels of service offering. Therefore, the economic balance indicates a balance between supply and demand, at a specified price. To have satisfaction system, economic agents should have their goals satisfied, since in the opposite situation, forced and encouraged the forces adopt changes in policy. This paper presents an economic analysis of the mobile market and mobile phone in the northern region of Brazil, through an analysis the actual situation and the proposed integer linear programming models that treat the allocation of Radio Base Stations (RBSs), ensuring partial or total coverage with a minimum cost, so the provide an overview of the market in such a scenario in which the North and strengthening economic impact in meeting the demand (maximization of the number of users), minimizing the occurrence of shadow zones, or in the pursuit of full coverage of the region.

**KEYWORDS:** geometric algorithms, integer linear programming, location problem, Radio Base Station, signal propagation.

<sup>1</sup> Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica – FUCAPI.

<sup>2</sup> Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRI.

<sup>3</sup> Bacharelado em Ciência da Computação, UFAM.

<sup>4</sup> Departamento de Ciência e Computação, ICE/UFAM



## Introdução

Entende-se por telefonia móvel, uma rede de comunicações por rádio onde ocorra a mobilidade contínua utilizando células. E, por células, uma determinada região ou área geográfica e ou sub-regiões onde se procura cobrir através do serviço móvel. Portanto, célula é sinônimo de área geográfica onde existe uma estação de rádio base dentro da qual a recepção do sinal atende às especificações do sistema ou rede.

A estrutura móvel atual é coberta por dois tipos de células tais como: células omnidirecionais, onde uma Estação de Rádio Base (ERB) é equipada por uma antena que transmite a mesma potência em todas as direções, construindo dessa forma uma área de cobertura circular, cujo centro é a própria ERB; e, células setorizadas, onde a ERB é equipada com antenas diretivas, de tal forma que cada uma cubra uma determinada área específica. Por outro lado, uma estrutura móvel típica é constituída de três elementos principais [1], sendo: Centro de Comutação e Controle (CCC); Estação de Rádio Base (ERB); e, Estação ou Terminal (MM ou TM). Duas funções básicas norteiam o serviço móvel de telefonia, a função handoff que permite manter a continuidade de uma conversação quando o assinante passa de uma área de cobertura para outra e a função roaming onde possibilita ao assinante utilizar o serviço em outra área geográfica. Essas funções são monitoradas pelas centrais de comutação e controle como também toda a capacidade do número de assinantes, escoamento do tráfego e procurando manter a qualidade da conversação. A procura pela qualidade na conversação fez com que o sistema móvel evoluísse passando do analógico para o digital e, no Brasil, temos nos tempos atuais tecnologias do tipo *Groupe Spéciale Modile* (GSM), *Time Division Multiple Access* (TDMA), *Code Division Multiple Access* (CDMA).

Atualmente o mercado de telefonia móvel no Brasil é constituído por quatro blocos de empresas que disputam o segmento mercadológico oferecendo seus serviços e imputando um cenário competitivo. Esse mercado é formado pelas empresas Claro S.A, Oi (TNL PCS S.A), Tim S.A e Vivo S.A.

Entende-se por mercado, um grupo de compradores e vendedores de um determinado bem ou serviço. Pelo lado dos compradores, estes determinam a demanda pelo produto, enquanto os vendedores determinam a oferta do mesmo. Em um cenário perfeitamente competitivo os bens oferecidos para a venda são todos iguais e os compradores e vendedores são tão numerosos que nenhum deles é capaz de, individualmente, influenciar o preço de mercado. Dessa forma esses compradores tendem a aceitar o preço que o mercado determina e passando para a categoria de tomadores de preços. Por estar nessa categoria, o demandante usufrui das consequências naturais dos ofertantes que procura capturar cada vez mais demandantes por seus serviços usando os artifícios das promoções e muitas vezes estratégias arrojadas de mercados como tarifas mais baixa e bônus entre assinantes da própria operadora. O presente trabalho foca seu estudo para essa região do Brasil uma das áreas mais extensas do nosso país e procurando visar o mercado atual da mesma e tentar traçar um panorama com relação ao equilíbrio parcial de mercado. Por equilíbrio de mercado entende-se como uma situação na qual o preço atingiu o nível em que a quantidade ofertada é igual à quantidade demandada, ou seja, situação em que diversas forças estão em igualdade.

Devido ao aumento do número de usuários, as empresas que operam na região verificaram a necessidade de replanejar e otimizar os seus sistemas, afim de serem capazes de trabalhar com uma enorme demanda por serviços. Com isto, as operadoras têm desenvolvidos métodos de planejamento rápido e eficiente, contando com a ajuda de ferramentas automáticas que gerem possíveis configurações para a rede. O planejamento de um sistema celular está associado ao desenvolvimento de uma rede com os menores custos possíveis e que atenda as necessidades dos seus usuários. O ponto chave desse planejamento está no problema de localização de estações de rádio base (ERBs).

Sendo assim, este trabalho apresenta uma análise econômica do mercado de telefonia

móvel e celular na região Norte, através de um estudo da situação vigente e da proposta de modelos em programação linear inteira que tratam a alocação de Estações de Rádio Base (ERBs), garantindo uma cobertura parcial ou total a um custo mínimo ou cobertura máxima, de tal forma a proporcionar uma visão geral sobre o cenário de tal mercado no Norte e qual o impacto econômico no reforço ao atendimento da demanda (maximização de número de usuários), minimizando a ocorrência de zonas de sombra, ou na busca pela cobertura total da região.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: na Seção 2, o cenário de telefonia móvel celular no Brasil e região Norte é apresentado, sob o ponto de vista de equilíbrio parcial econômico; na Seção 3, aspectos de abordagem por Otimização Combinatória são considerados, apresentando-se o problema de localização de ERBs e variações; na Seção 4, são apresentados os modelos em Programação Linear Inteira (PLI) e heurísticos são propostos; na Seção 5, são apresentadas questões sobre a implementação no ambiente CPLEX, bem como algoritmos geométricos e outros para a abordagem heurística; na Seção 6, são discutidos os resultados obtidos até então; por fim, na Seção 6, são feitas algumas considerações finais.

### **Competição no Mercado de Telefonia Móvel sob a luz da Concorrência Perfeita**

O mercado de telefonia móvel surgiu no Brasil nos anos noventa, com a implementação do modelo para a privatização do sistema de telefonia fixa, que estava atrelado ao sistema Telebrás. Diversos fatores como restrições orçamentárias, entraves regulatórios e as in experiências mercadológicas, perturbaram os setores de telefonia móvel das empresas de telefonia fixa, que de certa forma já estavam a alguns anos sob a ameaça da concorrência privada, onde em 1997 se concretizou com a entrada no mercado de operadoras da “Banda B” (World Telecom – junho de 2004). No decorrer do ano de 2002, a Anatel autorizou, através de concessão a OI, a utilização da tecnologia GSM (Global System for Mobile Communication) para operar a “Banda D”, na região I que era operada pela Telemar (hoje VIVO).

O mercado começou a mostrar sinais de competição com a chegada da TIM utilizando a mesma tecnologia e atuando em todos os estados da federação.

Segundo a World Telecom, em junho de 2004 o Brasil apresentava 7,4 milhões de usuários em 1998 e COM uma teledensidade de 4,5% para SMP. Já em 2004 os registros passaram a 54 milhões de usuários e registraram aumento de mais de 30%. O panorama em junho de 2004 apresentava 54% de usuários da “Banda A”, 29% da “Banda B”, 15% da “Banda D” e 2% da “Banda E”. Transportando-nos ao início da privatização, a “Banda A” detinha 72% de usuários, contra 29% da “Banda B” (World Telecom, junho de 2004).

O mercado de telefonia móvel de olho nas camadas de renda mais baixa da população lançou no Brasil o sistema pré-pago no primeiro semestre de 1999, pela operadora ATL, controlada pelo grupo Algar na cidade do Rio de Janeiro, e que atualmente está sob o domínio da operadora CLARO, pertencente ao grupo mexicano América Movil.

Desde então, essa nova modalidade no mercado vem perturbando substancialmente o SMP no Brasil. O crescimento dessa fatia no mercado é fortemente embalado por uma receita que não partilha cobrança, inadimplência, emissão de conta e outros para a prestadora de serviço móvel. Automaticamente as operadoras procuraram buscar novos clientes e iniciou-se um novo cenário.

A privatização ocorrida no mercado brasileiro alterou o cenário de telefonia móvel radicalmente com a entrada da OI e TIM oferecendo novas tecnologias, planos e etc. Podemos dizer que nesse mercado a concorrência era expressiva desde então.

De acordo com a Telecom em agosto de 2004 a OI atingiu 21% do mercado e com representatividade de 9,4% do Market Share (fatia de mercado) nacional. A operadora CLARO por sua vez adquiriu duas operadoras existentes a BCP ( “Banda B” – região metropolitana de São Paulo) e a BCE (“Banda B” em alguns estados do nordeste) aumentando sua fatia de mercado.

A chegada da “VIVO” no mercado em 2003 e operada pela telefônica com sua tecnologia CDMA



abocanhou um total de 23,5 milhões de assinantes mudando o cenário móvel no Brasil, sem analisar grupos de empresas menores como a Telemig (Telecom – agosto – 2004).

A TIM controlada pela Telecom Itália passou a atuar em todo o território nacional e com tecnologia GSM depois de adquirir licenças das “Bandas D e E” levando a competição a áreas que não faziam parte desse panorama. Segundo dados da ANATEL de 2009 o mercado apresentava o quadro dado na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1: Atendimento das operadoras versus municípios atendidos.**

	Total de municípios/prestadora	Municípios atendidos em 2009	% atendidos
CLARO	459	271	59,04%
OI	459	271	59,04%
TIM	460	232	50,04%
VIVO	458	303	66,16%
<b>BRASIL</b>	<b>1836</b>	<b>1076</b>	<b>56,48%</b>

Fonte: Relatório da ANATEL - 2009.

Os novos leilões das faixas de terceira geração do SMP (3G) nos finais de 2007 passaram a mudar mais uma vez o cenário mercadológico em 2009. Segundo a ANATEL os 1836 municípios que não contavam com essa tecnologia passaram a ser conectados até abril de 2010 levando benefícios a cerca de 17 milhões de pessoas.

Diante desse quadro, o mercado de telefonia móvel passou a dar grandes sinais de concorrência perfeita. Após uma breve exposição no mercado de telefonia móvel focaremos o caso da região norte objeto de estudo desse trabalho.

### O Mercado de Telefonia Móvel na Região Norte

De acordo com dados da ANATEL de 2009 a região sudeste contava com apenas cinco municípios sem o SMP e foi integralmente atendida. No sul, 75% dos 385 que não contavam com o serviço foram até 2009 atendidos.

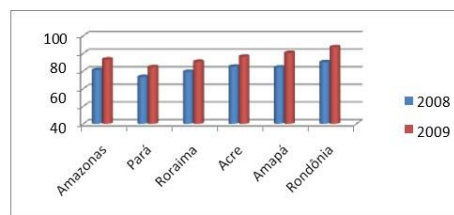
No Nordeste onde mais de mil municípios não possuíam o serviço, o índice chegou a 52% em 2009, sendo o mesmo percentual registrado para o centro-oeste do Brasil. A região Norte possuía até o final de 2009, o menor percentual de atendimento, ou seja, 45% onde se pode conjecturar pela imensidão continental e ou pelas dificuldades de acesso ou áreas remotas dessa imensa região.

Uma questão a ser investigada no mercado da região Norte é o caso da teledensidade.

Observando as bases de dados de 2008 e 2009 da Anatel, a densidade do serviço móvel que era de pouco mais de 78 unidades por grupo de cem habitantes, alcançou 90,5 e registrando um crescimento de 16% em relação ao ano de 2008.

De todos os estados inclusive o Distrito Federal do Brasil, cinco unidades – Distrito Federal, São Paulo, Mato grosso do Sul, Rio de Janeiro e Rio Grande do

Sul ultrapassaram a marca de um celular para cada habitante, nível comparável aos países desenvolvidos. De acordo com essa base de dados, Tocantins, Amapá, Maranhão e Rondônia foram os estados que mais cresceram. Já as regiões Norte e Nordeste registraram as menores densidades do País estando todos os estados abaixo da média nacional (Figura 1).



Fonte: Anatel 2009

**Figura 1: Gráfico sobre a densidade do SMP da Região Norte em 2008/2009.**

Analisando o gráfico acima o estado do Pará apresentou o menor índice de crescimento e os estados de Rondônia e Amapá registraram os maiores crescimentos seguido somente pelo Amazonas. Após essa análise do serviço de telefonia móvel para o Brasil e em especial a região norte apontaremos uma aplicação para a otimização de redes de telefonia móvel para essa vasta extensão territorial.

A busca pelo equilíbrio parcial de mercado nos leva a analisar os fatores determinantes da curva de demanda de uma empresa e, portanto, seu poder de monopólio que de certa forma está atrelado ao número de empresas que atuam no mercado. Observando se outros fatores permanecem inalterados, esse poder cairá à medida que aumentar o número de empresas que atuam no mercado. Quanto mais empresas competirem entre si, maiores serão as dificuldades encontradas por elas para aumentar preços e evitar a perda de vendas para as concorrentes. O mercado de telefonia móvel na região norte é composto atualmente por quatro blocos de empresas a Claro S.A, Oi S.A, Tim S.A e a Vivo S.A. Certamente o que interessa não é o número de empresas mais qual dos blocos detêm significativas fatias de mercado. E esse cenário desencadeia o temor de toda empresa, a concorrência. Verificar a participação de serviços oferecidos por essas empresas será nosso ponto de partida.

**Tabela 1. Participação de Mercado por UF (%) Dezembro de 2010**

	Pré-Pago	Pós-pago	Total	% Mercado nacional
Região Norte	12.747.115	1.339.562	14.086.677	6,94
Acre	594.474	64.328	658.802	0,32
Amazonas	2.858.475	351.821	3.210.296	1,58
Amapá	597.817	58.845	656.662	0,32
Pará	5.626.678	522.746	6.149.424	3,03
Rondônia	1.535.488	157.736	1.693.224	0,83
Roraima	344.089	40.953	385.042	0,19
Tocantins	1.190.094	143.133	1.333.227	0,66

Fonte: Anatel – 2011.

Observa-se uma predominância dos serviços pré-pagos em todos os estados que compõem a região norte e aumentos acanhados quando analisamos a amostra de dezembro de 2010 e março de 2011.

A partir desse cenário buscaremos focar cada bloco de empresas de telefonia móvel que atua na região nos meses de dezembro de 2010 e março de 2011 segundo dados da Anatel.

**Tabela 2. Participação de Mercado por UF (%) – Dezembro de 2010, Região Norte.**

	Pré-Pago	Pós-pago	Total	% por Operadora
Vivo	5.056.128	525.913	5.582.041	43,50
Tim	3.837.784	288.066	4.125.850	22,68
Oi	1.946.369	195.308	2.141.677	14,53
Claro	1.689.950	275.054	1.965.004	17,80

Fonte: Anatel – 2011.

**Tabela 3. Participação de Mercado por UF (%) – Dezembro de 2010, Amazonas.**

	Pré-Pago	Pós-pago	Total	% por Operadora
Vivo	1.587.706	152.036	1.739.742	54,19
Tim	901.224	80.896	982.120	30,59
Oi	199.606	22.952	222.558	6,93
Claro	116.192	71.211	187.403	5,84

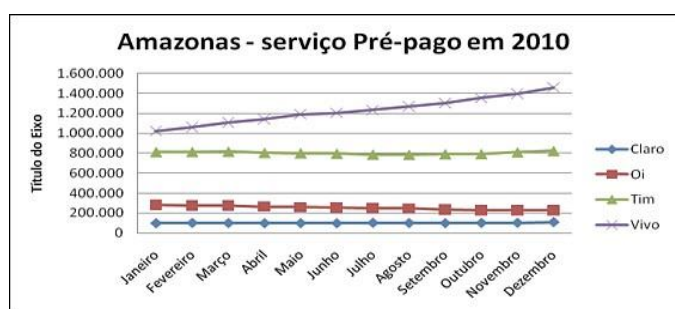
Fonte: Anatel – 2011.

A Vivo S.A teve aumento na participação de mercado em todos os estados da região norte e o maior aumento foi observado no Amazonas na faixa de 5%, seguido pelo Acre com 1,12%, Roraima com 0,91%, Pará com 0,65%. E decréscimos no estado de Tocantins. De um modo geral a Vivo S.A é a operadora com maior participação de mercado na região norte do Brasil. A operadora Claro S.A teve decréscimo em quase todos os estados quando observados os meses de dezembro de 2010 e março de 2011. Os únicos estados onde o poder de participação aumentou foi no Amazonas com taxa de 0,41% e no Pará com 0,40%. A Tim diminuiu seu poder de concentração em basicamente todos os estados da região norte no referido período. Somente o estado de Rondônia o poder de concentração da empresa aumentou na ordem de 0,34%. Observando o poder de concentração da Oi em dezembro de 2010 e comparando com março de 2011, a operadora teve um decréscimo de 0,38% no Acre e 0,23% em Rondônia e nos demais estados um leve aumento. Em relação a região como um todo o aumento da participação de mercado foi da ordem de 0,47%.

Depois dessa sucinta análise em relação a participação dos blocos no mercado da região norte do Brasil no mercado de telefonia móvel é natural perguntar porque a Vivo S.A detém a maior fatia de participação desse mercado? Procurando responder essa questão buscamos analisar a cobertura móvel em toda a região norte e observamos que a operadora Vivo S.A com sua tecnologia CDMA estava presente em quase todos os municípios dos estados da região norte. Poderíamos conjecturar que esse mercado apresenta um equilíbrio com características de Nash onde cada bloco faz o melhor que pode em função do que suas concorrentes estão fazendo. Por

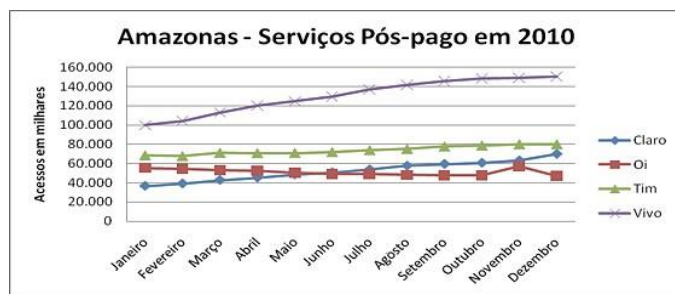


outro lado quando observamos na prática no mercado de telefonia móvel notamos um leve equilíbrio de Bertrand onde os blocos produzem um serviço homogêneo considerando fixo seu preço e onde cada bloco acaba por decidir simultaneamente para nível de preço deve mudar para poder capturar mais demandantes. Buscando analisar esse mercado buscaremos as curvas de oferta e de demanda por serviços oferecidos pelas operadoras no pré-pago e no pós-pago ao longo de 2010, no estado do Amazonas.



**Figura 2: Curvas de oferta e demanda do serviço pré-pago de telefonia celular no Amazonas.**

No estado do Amazonas a Oi e a Claro no decorrer do ano de 2010 mantiveram um comportamento quase que constante em relação a seus demandantes, mas com pequeno estreitamento no último quadrimestre. A Vivo começou o ano com uma diferença de mais ou menos 200 mil demandantes com relação a Tim e nos demais meses aumentou consideravelmente seus demandantes chegando a casa dos 400 mil assinantes pelo serviço pré-pago.



**Figura 3: Curvas de oferta e demanda do serviço pós-pago de telefonia celular no Amazonas.**

No serviço pós-pago o estado do Amazonas apresentou um equilíbrio nos meses de maio, junho e julho e novembro entre as operadoras Claro e Oi e um quase equilíbrio no mês de dezembro entre Tim e Claro. Com relação a Vivo S.A, essa apresentou um crescimento de demandantes a partir de fevereiro, seguido de uma estabilidade no último trimestre do ano.

### - Otimização de redes de telefonia móvel

Estações de Rádio Base (ERBs) são as estações de radiocomunicação do sistema de telefonia celular. A ideia da comunicação acontece quando uma unidade móvel contata uma ERB que encaminha a chamada pela CCC (Central de Comunicação e Controle) ao seu destino (outra unidade móvel ou rede telefônica fixa). As ERBs são omnidirecionais, ou seja, fazem comunicações para todos os lados e ou para todo tipo de área geográfica e fazendo uso de um padrão circular uniforme, ou podem ser direcionais, que provêem uma cobertura em uma região específica e com um ou mais elementos irradiantes.

Um dos pontos a serem seguidos é o problema de localização de estações de rádio base (ERBs) que parte de uma seleção, dentro de uma amostra de locais a serem candidatos, ou seja, de uma região em estudo à possíveis instalações de ERBs e um subconjunto de custo mínimo sujeito à cobertura da área em estudo, e ao atendimento da demanda e a uma exploração eficiente do espectro de frequências.

Para Mateus 1998, o problema será sanado apenas com modelos de propagação de sinais. Portanto, dependendo da dimensão da região como é o caso do norte do Brasil, o número de candidatos de ERBs pode ser razoavelmente grande comprometendo em alguns casos a qualidade e os custos com equipamentos. De acordo com a literatura e tentando amenizar essa dificuldade, várias abordagens têm sido propostas para a resolução desse problema. Wolney em 1998 utilizou técnicas de Programação Inteira. Rezende em 2004 aplicou (meta)heurísticas. E, Bandy em 1992, abordou o problema aplicando o ferramental de Teoria dos Grafos.

O problema da implantação de ERB's está sendo alvo de diversos estudos onde podemos destacar Mateus e Mazzani (2003), que elaboraram um modelo para o problema de planejamento de uma rede de comunicação em três níveis. Em 1996, Stamelos e Epheremides tomaram o ajuste da localização e da potência das ERB's em ambientes internos. No mesmo ano de 1996, Hanif apresentou uma modelagem para o problema de localização de ERB's considerando a propagação do sinal de cada ERB's numa região  $Q \in \mathbb{R}^3$ . E, em 2000, Bhaskar utilizou metaheurísticas, tais como *Simulated Annealing*, Busca tabu e Algoritmos Genéticos, propondo inúmeras abordagens de soluções para os problemas de telefonia celular.

Assim, em seguida, será definido o problema de localização de ERBs onde serão descritas algumas considerações que resultam em variações do problema geral.

### **O Problema de Localização de Estações de Rádio Base**

O problema de localização da ERB's surge normalmente quando se quer planejar e desenvolver as redes de telefonia celular. Para Mateus, 1998 e Stuber (2000) o problema é desenvolvido por inspeção de mapas de propagação de sinais correlacionado com a área em estudo. A primeira idéia é conhecer os pontos a serem estudados e onde poderemos localizar as estações utilizando para isso a propagação de ondas de rádio nessa área de maneira a maximizar a cobertura e minimizar os custos.

O problema das ERB's está vinculado a seleção de um conjunto de locais a candidatura e a instalação de uma ERB e um subconjunto de custo mínimo, sujeito a cobertura da área em estudo e ao atendimento da demanda. Observa-se que dependendo da quantidade do número de ERB's a serem instaladas, menor será o custo. O problema em instalar um número menor de acordo com Mateus (1998) será a demanda pelo serviço e a qualidade que sofrem prejuízo.

Para Mateus 1998, a cobertura total, o máximo aproveitamento espectral e o máximo número de canais ou transmissão de dados constituem nos três objetivos quando se pretende instalar uma ERB.

Entende-se como cobertura total a associação a cada ponto da área em estudo à pelo menos uma ERB de maneira que exista um sinal com nível mínimo e que permita a conversação ou transmissão de dados nessa área. Enquanto que o máximo aproveitamento espectral busca solucionar as deficiências do problema apontado e limitando a área de cobertura de cada ERB. Para essa característica as ERB's devem ser localizadas em relação as suas respectivas potências e definidas em conjunto usando a propagação de sinais apontada por Mateus em 1998.

A implantação de ERB's é norteada por um sistema que trata como parâmetro a altura das antenas, potência de transmissão e localização física da ERB. O sistema simula a propagação de sinal de cada ERB ao longo da região em estudo, produzindo um mapa de perdas de sinal. Na tarefa seguinte o sistema executa uma composição das diversas ERB's candidatas e essa nomeiam a ERB de melhor sinal. No passo seguinte e último, as ERB's selecionadas serão submetidas a um algoritmo de alocação de canais, que considera a demanda de cada ponto da região em estudo e sua respectiva potência de transmissão.

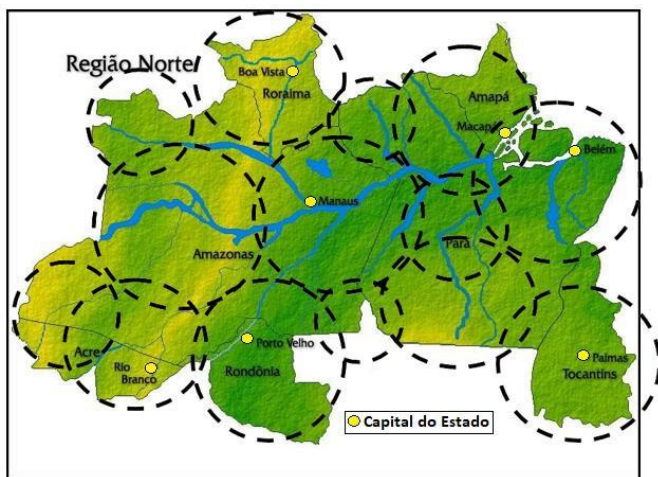
Nesse trabalho, abordaremos as ERB's que produzem o aspecto de cobertura total. Portanto, dado um número fixo de ERB's o objetivo está em localizar estas estações de rádio base criando para isso pólos em toda a região norte de maneira que a cobertura total para a região utilize a menor potência de transmissão possível e abranja o máximo de demandantes.

Sendo assim, divide-se a região em estudo em subconjuntos de células e em seguida efetua-se medidas de propagação de sinal de rádio para determinar a qualidade do sinal naquela ponto da região. Esta qualidade está associada a fatores externos como presença de montanhas, construções e outros transmissores próximos. No caso da região norte, leva-se em consideração a vegetação, umidade do ar, os rios e a concentração de usuários em certas áreas e outra não. Essas atividades são efetuadas pela equipe de planejamento da empresa. Com a qualidade do sinal definida, a próxima fase será a de determinar um conjunto de pontos candidatos a serem instaladas as estações de rádio base, ou seja, pontos que sejam possíveis a instalação de uma ERB.



Dentre esses pontos, deve-se selecionar um conjunto de pontos para a instalação das ERB's de forma que as necessidades dos clientes sejam atendidas e que os custos com equipamentos sejam os menores possíveis. Essa sequência de procedimentos caracteriza o problema de localização de estações de rádio base.

A região norte é a maior em extensão territorial ocupando 3.851.560 Km<sup>2</sup> do continente brasileiro (Figura 4) e, dependendo do número de usuários a serem atendidos e do número de ERB's candidatas à instalação, como é o caso da região norte, o número de soluções possíveis geradas pelo planejamento pode ser consideravelmente grande, podendo fornecer uma solução razoável que possa comprometer a qualidade do serviço e aumentando os custos. Diante da dificuldade de enumerar todas as possíveis soluções para o problema, e de uma rápida solução para o mesmo, várias abordagens de otimização têm sido utilizadas. Serão apresentados dois modelos matemáticos para a resolução do problema de localização de estações de rádio base na região norte, dados na próxima seção.



**Figura 4:** Mapa da região Norte e possível cobertura por ERBs de acordo com a maneira clássica de resolução por potencial de sinal emitido por cada uma, onde verifica-se sobreposições e zonas de sombra.

## Modelos de PLI adaptados e abordagem Heurística

O Planejamento de redes de telefonia celular pode ser mapeado em um problema de localização de estações de rádio base e exploração eficiente do espectro de frequências. Dado um conjunto de locais candidatos à instalação de um conjunto de ERBs, em uma região geográfica em estudo, deve-se selecionar um subconjunto de ERB's de custo mínimo e cobertura máxima atendendo a demanda. Quando menor o número de ERB's instaladas menor o custo, mas a o atendimento da demanda e a qualidade do serviço serão comprometido. A minimização de custo na aquisição e na instalação das ERBs é muito importante, pois não havendo alguma otimização nesse processo, pode-se instalar muitas ERBs sem necessidade.

A cobertura total consiste em associar a cada ponto da área em estudo pelo menos uma ERB em condições de oferecer um sinal com nível mínimo, que permita a conversação ou a transmissão de dados nessa área. O máximo aproveitamento espectral busca solucionar as deficiências expostas anteriormente, limitando a área de cobertura de cada ERBs. Nesse caso, a localização das estações de rádio base e suas respectivas potências de transmissão são definidas conjuntamente.

### Modelo PLI 1: Minimização dos custos de instalação de ERBs, buscando cobertura total por potência de sinal emitido

O primeiro modelo para o problema de localização de estações de rádio base é um modelo de Programação Linear Inteira proposto por Mateus (1998). Para implementação desse modelo, a região em estudo foi dividida em conjuntos de M pequenas quadrículas (sub-regiões que representam as células) e como parâmetros de entradas as N estações base candidatas para a instalação na região e a medida de sinal recebido em cada quadrículo e originário de cada ERB. São considerados o custo de instalação de cada ERB e o valor mínimo para a medida de sinal capaz de viabilizar a comunicação.

Minimizar  $\sum c_i y_i$

$$\begin{aligned} \sum a_{ij} * x_{ij} &> T && \forall i \in N \forall j \in M && (1) \\ \sum a_{ij} &= 1 && \forall i \in N \forall j \in M && (2) \\ x_{ij} &\leq y_i && \forall i \in N \forall j \in M && (3) \\ y_i, x_{ij} &\in \{0,1\} && \forall i \in N \forall j \in M && (4) \end{aligned}$$

onde:  $y_i = \{1, \text{ se a ERB } i \in N \text{ é localizada; } 0 \text{ caso contrário} \}$

$x_{ij} = \{1, \text{ se o ponto } j \in M \text{ da região é coberto pela ERB } i \in N; 0 \text{ caso contrário} \}$

$c_i$  - Custo fixo de instalação de uma ERB.

$T$  - Valor Limite para a medida do sinal capaz de viabilizar a comunicação

$a_{ij}$  - Estimativa do sinal da ERB  $i$  no ponto  $j$

A função objetivo minimiza o custo de instalação de uma ERB. A restrição (1) garante que pelo menos uma ERB atenda a qualidade do sinal em um nível mínimo estipulado. Já a restrição (2) associa cada ponto da região a ser coberta uma ERB e a restrição (3) permite que essa associação aconteça se a ERB estiver instalada. A restrição (4) representa as restrições de integridade. Esta formulação matemática tem um elevado número de variáveis ( $|n| + |n|.|m|$ ), onde  $m$  é o número de pontos da área em estudo.

### Modelo PLI 2: Minimização dos custos de instalação de ERBs, buscando cobertura total por potência de sinal emitido

O primeiro modelo matemático apresentado pode ser simplificado e reduzido ao problema de recobrimento. As restrição (2) e (3) são satisfeitas em conjunto se o sinal de uma ERB  $i$  é capaz de atender a viabilidade de comunicação em um ponto  $j$ . Nesse caso,  $a_{ij}$  deve ser maior ou que igual a  $T$ . Com isso podemos eliminar a restrição (1) e as variáveis  $x_{ij}$ . Desta forma, o primeiro modelo se reduz ao segundo, dado a seguir.

Minimizar  $\sum c_i y_i$

$$\begin{aligned} \sum b_{ij} * y_i &> 1 && \forall j \in M && (1) \\ y_i &\in \{0,1\} && \forall i \in N && (2) \end{aligned}$$

onde:

$b_{ij} = \{1, \text{ se } a_{ij} \geq T, \forall i, \forall j \text{ (cada } a_{ij} \text{ é uma constante conhecida)}; 0, \text{ caso contrário} \}$

Este segundo modelo é muito mais simples que o anterior devido a redução do número de variáveis inteiras. Entretanto, se assemelha ao problema de recobrimento (*set covering*), ainda um problema NP-difícil.

### Abordagem Heurística: Maximização da cobertura (por área geográfica e por número de usuários potenciais) através da consideração das distâncias entre as ERBs

Com base nos dois modelos matemáticos apresentados, implementados em uma ferramenta de programação matemática (CPLEX), foi adotada uma abordagem de solução aproximada, através de um procedimento heurístico que leva em consideração a distâncias entre as ERBs, sendo definido que as ERBs teriam as os mesmos raios  $R$ . Com isto, as ERBs teriam uma distância mínima  $2r$ , ou seja, o diâmetro. A distância média é definida como  $R$  e a máxima como  $R/2$ , com isso teríamos sobreposição de células.

### 4.3 – Questões Implementacionais dos Modelos em PLI e Heurísticos apresentados

Os modelos M1 e M2 apresentados foram implementados em um pacote de otimização chamado CPLEX. Para se determinar a qualidade do sinal em cada ERB candidata em cada ponto da área em estudo foi utilizado o software SPLAT (*Signal Propagation, Loss, And Terrain*). Com isso geramos a matriz de perdas de sinal em cada ponto. O valor limite  $\$T\$$  foi retirado de Mateus. Esses dados geraram o arquivo de entrada do CPLEX. Foi utilizada a forma ILO *Concert Technology*.

Para o modelo heurístico, foi necessário mapear a região em estudo na forma de um polígono e povoá-la aleatoriamente. Primeiramente definimos um polígono com um vetor de pontos no plano  $(x,y)$ . Depois gera-se um ponto aleatoriamente e verificamos se ele pertence ao polígono.



Para não se gerar pontos tão distantes do desejável, enquadrámos o polígono, de forma que os pontos sejam gerados entre as menores e maiores coordenadas. Para verificar se o ponto pertence ao polígono criamos um segmento de reta partindo do ponto em qualquer direção. Esse segmento deve ser suficientemente longo na forma que que a outra extremidade esteja fora do polígono. Conta-se o número de linhas (arestas) do polígono que esta linha cruza. Se o número for ímpar o ponto está dentro do polígono, se o número for par, o ponto está fora do polígono.

**Algoritmo 1:** Gera pontos aleatórios dentro de um polígono.

```
Data {poligono}
Result {vetor de pontos}
PontoMax ← Max();
PontoMin ← Min();
qtdeP ← 0;
while qtdeP < s do
  PontoRand ← rand()%(PontoMax - PontoMin) + PontoMin;
  PontoAux ← poligono[N];
  PontoInf ← INT_MAX;
  PontoInf.y ← PontoRand.y;
  count ← 0;
  for {i ← 1 do N} {
    if intersec(PontoRand, PontoInf, PontoAux, poligono[i]) = 1
    then
      count ← count + 1
    endif
    PontoAux = poligono[i];
  endfor
  if {count % 2 != 0} then
    Região[qtdeP] ← PontoRand;
    qtdeP ← qtdeP + 1;
  endif
endw
```

Para determinar se dois segmentos de retas se interceptam, precisamos identificar o sentido dos pontos partindo do ponto  $p_0$ , passando por  $p_1$  e indo até  $p_2$ . Por exemplo: Sejam duas retas  $r_1$  e  $r_2$ . Tomando-se os dois pontos vértices da reta  $r_1$  ( $r_1.p_0$  e  $r_1.p_1$ ), e um dos pontos vértices da reta  $r_2$  ( $r_2.p_0$ ), verifica-se qual o sentido (se horário ou anti-horário) para percorrer os pontos partindo-se de  $r_1.p_0$ , passando por  $r_1.p_1$  e indo até  $r_2.p_0$ . Repete-se o procedimento para os pontos ( $r_1.p_0$ ,  $r_1.p_1, r_2.p_1$ ). Se os sentidos percorridos forem diferentes, as duas retas se cruzam.

**Algoritmo 2:** Calcula a direção dos segmentos de reta.

```
Data {quatro pontos}
Result {0 ou 1}
dx1 ← p1.x - p0.x;
dx2 ← p2.x - p0.x;
dy1 ← p1.y - p0.y;
dy2 ← p2.y - p0.y;

if {(dx1 * dy2 > dy1 * dx2) then
  | return +1
endif
if {(dx1 * dy2 < dy1 * dx2) then
  | return -1
endif
if {(dx1 * dx2 < 0) ou (dy1 * dy2 < 0)} then
  | return -1
endif
if {((dx1 * dx1 + dy1 * dy1) < (dx2 * dx2 + dy2 * dy2)) then
  | return +1
endif
```

Se os vértices da linha estão em “lados” diferentes (tem valores de retorno de direção diferentes) um do outro, as linhas se interceptam.

**Algoritmo 3: Intersec:** Verifica se há interseção entre dois segmentos de reta.

```
Data {quatro pontos}
Result {0 ou 1}
return (((direcao(p1, p2, g1) * direcao(p1, p2, g2)) < 0) and
        ((direcao(g1, g2, p1) * (direcao(g1, g2, p2)) < 0)));
```

– Análise Comparativa de Resultados

Com os modelos implementados e os resultados gerados, podemos fazer uma comparação dos métodos abordados em relação situação real da região. Os testes foram feitos com os dados de Manaus, do estado do Amazonas e com a região norte como um todo. A cidade de Manaus tem aproximadamente 1.802.525 habitantes, o Amazonas 3.483.985 e a região norte 15.864.454 habitantes (conforme o censo realizado pelo IBGE em 2010). As extensões das regiões são de 11401,058 km<sup>2</sup>, para a cidade de Manaus, 1.570.745,680 km<sup>2</sup> para o Amazonas e 3.869.637,9 km<sup>2</sup>, com densidades geográficas respectivamente de 158,1 hab./km<sup>2</sup>, 2,22 hab./km<sup>2</sup> e 3,77 hab./km<sup>2</sup>.

**Tabela 4:** Qtde mínima de ERBs gerada por cada modelo e a quantidade real instalada na região.

**Tabela 4: Qtde mínima de ERBs gerada por cada modelo e a quantidade real instalada na região.**

	Modelo Heurístico			Modelo PPI (CPLEX)		Qtde ERBs instaladas
	Dist min	Dist méd	Dist Max	Modelo 1	Modelo 2	
<b>Manaus</b>	730	840	1022	533	526	517
<b>Amazonas</b>	894	943	2451	1694	1232	603
<b>Região Norte</b>	3056	4270	4982	3123	2915	2302

Os dados gerados pelos modelos heurísticos não representa a realidade, pois foi considerado apenas a extensão da região e a quantidade de potenciais usuários e não fatores como áreas habitáveis, vegetação, rios e etc. Embora tenha-se levado em consideração as sobreposição de células, ou seja, sobreposição de células com a mesma frequência para que não haja interferência.

No caso dos modelos 1 e 2 os resultados para a cidade de Manaus foi o mais próximo da realidade, já que a região é habitável e foram feitos cálculos de propagação de sinal através do software SPLAT. Esses mesmos cálculos foram feito para o estado do Amazonas e a região Norte, mas essas região não são habitadas por completo, existem lugares em que a instalação de uma ERB gerariam sinais de qualidade em um longo alcance, mas que não existe uma boa quantidade de usuários para desfrutar dos serviços. E com isso as empresas não ganhariam quase nada com o investimento.

## 6. Considerações Finais

O presente artigo procurou à luz da otimização uma aplicação da expansão do serviço móvel de telefonia para o caso da região Norte. Observou-se que problemas do tipo clássico para a questão das ERB's podem ser adaptados considerando-se a vasta extensão territorial do Norte do Brasil aliada a baixa densidade demográfica, porém espalhada por grande parte do território, onde o poder aquisitivo muito baixo que não haja interesse por parte das operadoras uma implantação do serviço já que os custos para se ter uma célula é consideravelmente elevado. Municípios tão próximos a Manaus, como é o caso de Novo Airão, até bem pouco tempo não possuíam o serviço. Sem contar que de acordo com o relatório da Anatel de 2009, 72 municípios deveriam ser atendidos até 2010. Também observa-se que a densidade da região Norte é uma das mais baixas comparadas a outras regiões do país. Baseado em todas essas informações e pesquisa a respeito do problemas de localização de pontos de instalação de ERB's, foi feita uma análise econômica do mercado de telefonia móvel e celular na região Norte, através de um estudo da situação vigente e

da proposta de modelos em programação linear inteira que tratam a alocação de Estações de Rádio Base (ERBs), garantindo uma cobertura parcial ou total a um custo mínimo ou cobertura máxima, de tal forma a proporcionar uma visão geral sobre o cenário de tal mercado no Norte e qual o impacto econômico no reforço ao atendimento da demanda (maximização de número de usuários), minimizando a ocorrência de zonas de sombra, ou na busca pela cobertura total da região.

## Referências

- Beasley, J.E. & Christofides, N. (1983).** Extensions to a Lagrangean Relaxation Approach for the Capacitated Warehouse Location Problem. *European Journal of Operational Research*, **12**(1), 19-28.
- Bondy, J.A. & Murty, U.S.R. (1982).** *Graph Theory with Applications*. Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Brito, J.A. de M. & Xavier, A.E. (2004).** Algoritmo de Suavização Hiperbólica para o Problema de Localização de Estações de Rádio Base. *Anais do XXXVI SOBRAPO*. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. São João Del Rei, MG.
- Geoffrion, A.M. & Graves, G.W. (1974).** Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition. *Management Science*, **20**, 822-844.
- Mateus, G. R., Loureiro, A. F. (1998).** *Introdução à Computação Móvel*. 11ª Escola de Computação.
- Padberg, M.W. (1979).** Covering, Packing and Knapsack Problems. *Annals of Discrete Mathematics*, **4**.
- Polyak, R.A. (1988).** Smooth Optimization Methods for the Minimax Problems. *SIAM, Journal on Control and Optimization*, **26**, 1274-1286.
- Relatório da ANATEL – 2008/2009.** Disponível em [www.anatel.org.com.br](http://www.anatel.org.com.br).



**Resende, M.G.C. & Feo, T.A. (1989).** A Probabilistic Heuristic for Computationally Difficult Set Covering Problem. *Operations Research Letters*, **8**, 67-71.

**Rosen, J.B. (1983).** Global Minimization of a Linearly Constrained Concave Function by Partition of Feasible Domain. *Mathematical of the Operational Research*, **8(2)**, 215-230.

**Stamatelos, D. & Epheremides, A. (1996).** Spectral Efficiency and Optimal Base Placement for Indoor Wireless Networks. IEEE, *Journal on Selected Areas in Communications*, **14**, 651-661.

**Stüber, G.L. (2000).** *Principles of Mobile Communication*. 2ª edição, KAP.

**Wolsey, L.A. & Fisher, M. (1982).** On Greedy Heuristic for Covering and Packing Problems. SIAM, *Journal on Algebraic and Discrete Methods*, **3**, 584-591.

**Xavier, A.E. & Oliveira, A. (2005).** Optimum Covering of Plane Domains by Circles Via Hyperbolic Smoothing Method. *Journal of Global Optimization*, **31(3)**, 493-504. View publication stats.

## CLIMA ESPACIAL

# Um breve estudo sobre monitoramento da Ionosfera sobre Manaus ( $-3^{\circ} 5' 34''$ ; $-60^{\circ} 2' 24''$ ) com dados GNSS em período magneticamente calmo no ciclo solar # 25.

Carvalho, L. F.<sup>1</sup>, Freire da Silva, E.<sup>1</sup>, Araújo, T. A. O., Matheus, E.<sup>1</sup>, Carvalho, K. F.<sup>1</sup>, Silveira, A. B.<sup>1</sup>, Lobato, W. J.<sup>1</sup>, Lima, N. S.<sup>1</sup>, Oliveira, L. G. S.<sup>1</sup>, Façanha, E. B.<sup>1</sup>, Mansur, D. V. B.<sup>2</sup>, Ferreira, A. S.<sup>1</sup>

## Resumo

O monitoramento da Ionosfera sobre a cidade de Manaus é tema de forte relevância, devido a cidade está localizada entre os Equadores Geográfico e Magnético (em deriva), é uma região de grande incidência de bolhas no plasma ionosférico e distúrbios ionosféricos viajantes (TID em inglês), para tal é utilizado o sistema GNSS com (NovAtel e Septentrio Polarx5s) para aquisição de TEC e  $S_4$ . O GNSS têm mostrado eficácia neste tipo de tarefa.

## Introdução

Manaus ( $-3^{\circ} 5' 34''$ ;  $-60^{\circ} 2' 24''$ ), ponto intermediário entre os equadores geográfico e magnético, intrinsecamente importante no escopo da investigação ionosférica na região equatorial do setor brasileiro, onde ocorrem vários fenômenos interessantes na alta atmosfera na geração de irregularidades ionosféricas de larga escala que nesta latitude são as bolhas de plasma, melhor compreendida em Kelley (1989) e Lima (2009 e 2011).

A Amazônia está situada em uma região de máximo na distribuição global de ocorrência das bolhas de plasma (irregularidade ionosféricas de grande escala), ou seja, no Brasil ocorrem mais bolhas que em qualquer outra região do planeta (BURKE et al., 2004).

O Sol possui ciclo de 11 anos, no qual metade é magneticamente perturbado e metade magneticamente calmo, atualmente estamos atravessando o período calmo caminhando para perturbado do ciclo # 25, visto que a ionosfera terrestre é fortemente influenciada pelo ciclo solar de 11 anos, (<https://swpc.noaa.gov>). Esta pesquisa na ionosfera sobre Manaus, AM, está sendo realizada pelas instituições ULBRA (Fig. 1), em parceria com a UNIVAP (São José dos Campos – SP | Brasil) e, é composta de uma rede de GPS ionosféricos. Está em integração com o projeto LISN (Low-latitude Ionosphere Sensor Network) com a finalidade de prover mapas de cintilação ( $S_4$ ) e TEC sobre Manaus em tempo real. Dados da pesquisa serão disponíveis em formatos digitais para os pesquisadores da rede, em <http://lisa.igp.gov.pe/stations/status.php> e também em formato físico de caderneta (Handbook), em publicação FAPEAM, disponível a estudantes e pesquisadores de geociências (Clima Espacial) com dados de GPS Ionosférico na região equatorial, em:

1. Centro Universitário Luterano de Manaus – CEULM | Ulbra  
Av. Carlos Drummund de Andrade, 1460. Conj. Atílio Andreazza –  
Japiim II – CEP 69077-730. Manaus, Amazonas - Brasil. Tel.: (+55  
92 3616-9800). E-mail:

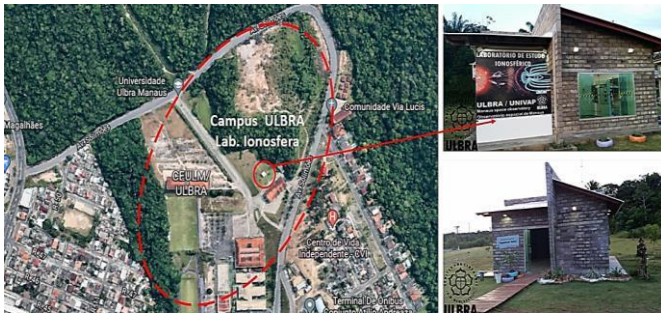
2. Faculdade Marta Falcão - Wyden  
Rua Natal, 300 – Adrianópolis  
Manaus – Amazonas – Brasil. CEP 69057-090. Tel.: (+55 (92) 2121-  
0929).



[https://www.researchgate.net/publication/350640220\\_Observacao\\_da\\_Ionosfera\\_sobre\\_Manuaus\\_2011-2012\\_GPS](https://www.researchgate.net/publication/350640220_Observacao_da_Ionosfera_sobre_Manuaus_2011-2012_GPS). Atualmente encontra-se em desenvolvimento um GNSS Ionosférico (Experimental), tipo GPS, com plataforma Arduino para monitoramento de  $S_4$  sobre o alvo (cidade de Manaus-AM | Brasil).

## Metodologia

### O Site



**Fig. 1:** Laboratório da Ionosfera – Yogeshwar Sahai (Campus Ulbra Manaus. Lat. -3,1087; Long. -59,9751).

## Instrumentação.

O Laboratório Y. Sahai possui 2 instrumentos de aquisição (GNSS) (**Fig. 2 e Tab. 1**) ionosféricos (NovAtel e Septentrio) em parceria com a rede UNIVAP (LISN), outro ainda fase de adequação e aquisição de dados da UNESP (Pres. Prudente – SP / Brasil). Para aquisição de Conteúdo Eletrônico Total (TEC em inglês) e  $S_4$  (dados de cintilação).



**Fig. 2:** Instrumentação GNSS (esquerda), receptor e antena (NovAtel - NOV GSV4004B - Antena NOV702rev.4). A direita. Septentrio PolaRX5s GNSS receptor e antena. (Fonte: UNIVAP-UNESP).

**Tabela 1** – Dados da Estação em Manaus – AM. (Fonte: LISN; UNESP)

Manaus		Manaus	
Pais	Brasil	Pais	Brasil
Rede	UNIVAP	Rede	UNESP
Latitude	- 3.1082690	Latitude	- 3.1082690
Longitude	-59.9746552	Longitude	-59.9746552
Altitude (m)	45.4900017	Altitude (m)	45.4900017
Receptor	NOV GSV4004B	Receptor	INCT GNSS NAVAER
Antena	NOV702 ver 4	Antena	PolaNt* MC

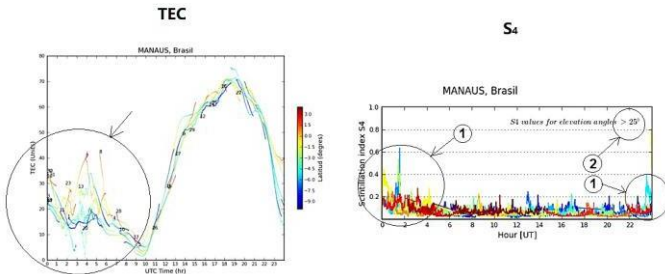
## Método

A utilização de instrumentação que utilizam o GNSS para o monitoramento de alta atmosfera é possível a partir do erro associado à refração do sinal enviado do satélite que ao passar pelo plasma ionosférico é inversamente proporcional ao quadrado da frequência e diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC – Total Electron Content), ao longo da trajetória percorrida pelo sinal GNSS na ionosfera e também pela variação de amplitude e fase do sinal por efeito de cintilação ( $S_4$ ). O TEC varia no tempo e no espaço e é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica, atividade geomagnética, entre outros, seu efeito sobre o sistema GNSS é de atraso, enquanto a cintilação, ou seja,  $S_4$ , pode ocasionar perda (travamento) e degradação de posicionamento. O TEC, apresentado em unidades de TEC (TECU), onde um 1 TECU corresponde a  $1 \times 10^{16}$  elétrons/  $m^2$  (Eq. 1 e Fig. 3 da direita) e o  $S_4$ , (Eq.2 e Fig. 3 da esquerda), são os principais parâmetros que descrevem o efeito da ionosfera no sinal GNSS.

A pesquisa tem como base o monitoramento do ciclo solar # 25, na região equatorial, através dados GNSS (NovAtel - NOV GSV4004B - Septentrio PolaRX5s GNSS). Esta é realizada com o auxílio da análise gráficas do TEC (Total Electron Content) e da cintilação  $S_4$ , os quais mostram a variação da intensidade de elétrons livres por área na ionosfera terrestre e das recombinações com emissão de fótons, respectivamente. A quantidade de elétrons ao longo do comprimento do percurso é referida como contagem total de elétrons e é definido pela expressão:

$$TEC = \int_{\text{receptor}}^{\text{satélite}} n_e dl \quad (1)$$

Sendo  $n_e$  é a densidade eletrônica.

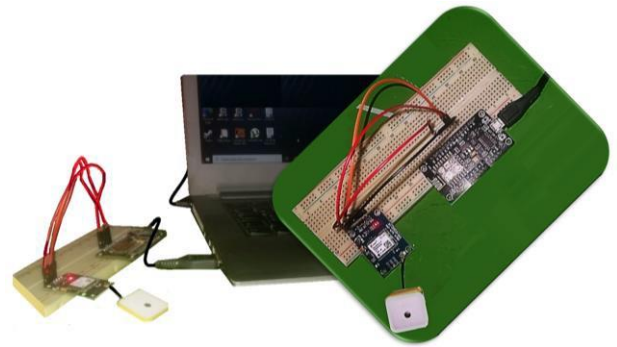


**Fig. 3:** Gráficos de TEC e  $S_4$  na ionosfera sobre Manaus (AM | Brasil). TEC (à esquerda) o detalhe na figura informa a irregularidades na ionosfera tipo Bolha de Plasma.  $S_4$  (à direita) sendo (1) irregularidades de cintilação e (2) máxima elevação da informação coletada. (Fonte: LISN).

Em Muella, (2008) a cintilação que é uma variação na amplitude e na fase de uma onda de rádio, que quando atravessa as irregularidades na ionosfera, ou seja, deixa indisponível o sistema GNSS, sendo seu mapeamento realizado através dos valores do índice de  $S_4$ , ou seja, o desvio padrão (dispersão das amostras) de um minuto de dados em uma taxa de 50 amostras por segundo (Eq. 2).

$$S_4^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad (2)$$

A partir de fevereiro de 2022, estudantes de engenharias elétrica, ambiental e mecânica no Laboratório Y. Sahai (LABION – Laboratório da Ionosfera) desenvolveram um receptor Experimental GNSS com Arduino (Fig. 4), para aquisição de dados  $S_4$ . Atualmente os dados do receptor com Arduino vem sendo confrontados com dados do Septentrio PolarX5s (GNSS receptor). O monitoramento dos dados do receptor Experimental GNSS com Arduino (LABION), também vem sendo calibrado pelas plataformas Trimble (<http://www.gnssplanning.com/>) e UNAVCO (<https://www.unavco.org/data/>).

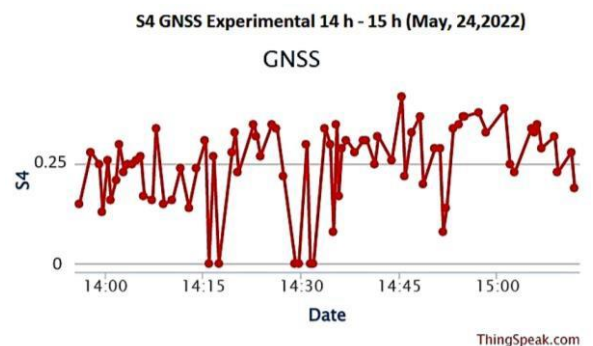


**Fig. 4:** Sistema GNSS com Arduino desenvolvido no Laboratório Y. Sahai (CEULM/ULBRA2022).

Os dados do sistema GNSS-Arduino (LABION - Y. SAHAI), em intervalo de horas, podem ser visualizados em <https://thingspeak.com/channels/1744159>. No ponto ( $-3^{\circ} 5' 34''$ ;  $-60^{\circ} 2' 24''$ ), ou seja, sobre a cidade de Manaus – Amazonas | Brasil, (Fig. 5).

## Resultados e Discussão

O Ciclo Solar # 25 ainda se encontra em fase de crescimento de eventos turbulentos, no ano de 2022 os eventos de tempestades solares (Índice Dst – Disturbances Storm Time) com índice próximo de  $-100$  nT (uma em Janeiro, três em fevereiro e três em março) (Fig. 6). Observamos um crescimento leve no Ciclo #25. Nestes dias de Dst fortes favorecem as irregularidades ionosféricas, principalmente na formação de bolhas de plasma ionosféricas na região equatorial, também visível na Transformada de Wavelet de Morlet, dentro do cone de confiabilidade (95%) de acordo com Bolzan e Rosa (2010).





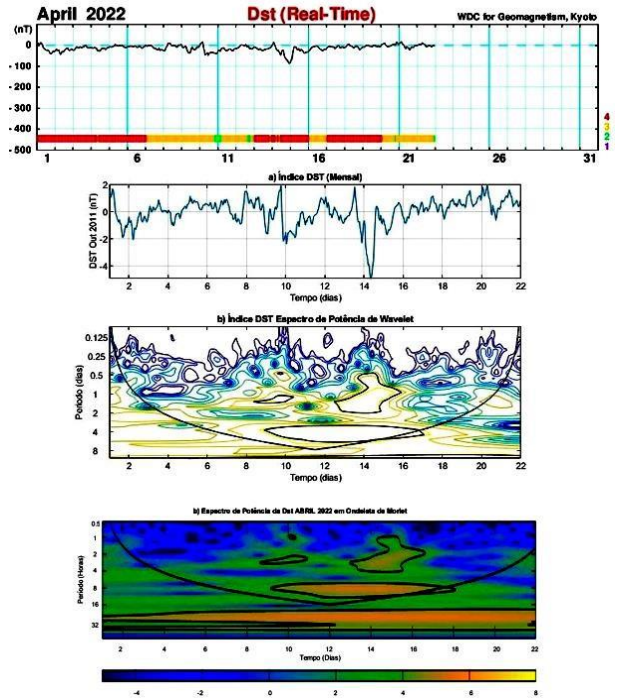
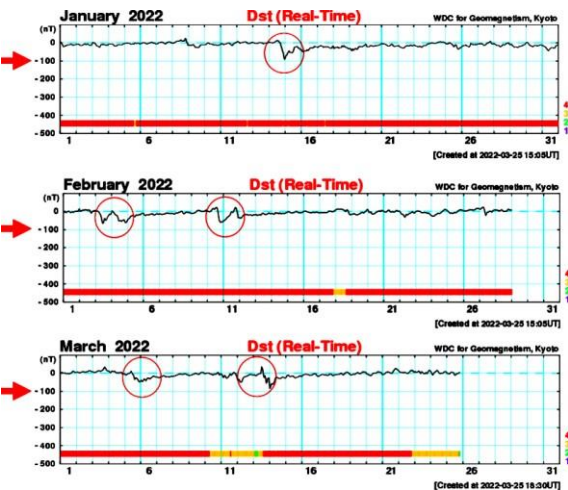
Data GNSS Experimental 14 h - 15 h (May, 24,2022)



Data GNSS Experimental 15 h - 18 h (May, 25,2022)

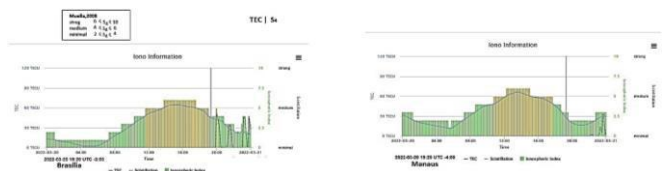


**Fig. 5:** Mostra os gráficos de  $S_4$  (em uma escala de 0 a 1) Número Máximo de Satélites, Elevação, Azimute e  $S_4$ , sobre o alvo ( $-3^{\circ} 5' 34''$ ;  $-60^{\circ} 2' 24''$ ), em dois dias e horários diferentes.

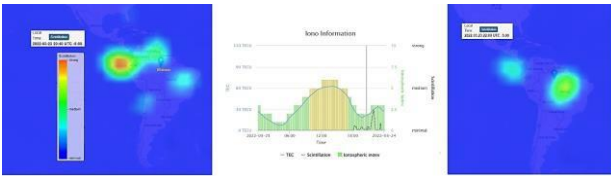


**Fig. 6:** Panel de Dst para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2022, com Perfil de Índice de DST (Disturbance Storm Time) e Transformada em Wavelet de Morlet. Fonte: WDC for Geomagnetism – Kyoto, 2022).

Utilizando informações da Trimble (GNSSPlanning), (Fig. 5) foi possível monitorar detalhes das irregularidades de TEC e Cintilação  $S_4$  sobre as cidades de Manaus e Brasília, para compreendermos a degradação do sinal GNSS nestas cidades no mês de março de 2022. A Fig. 7, denota a realidade sobre TEC no Brasil amazônico e central durante as noites. Contudo, é de importância a correlação entre as instrumentações e os gráficos de TEC e  $S_4$ , obtidos sobre o alvo. Principalmente nos picos (19 h, 21 h 22 h e 23 h) para a cintilação  $S_4$  ( $O^+ + e^- \rightarrow O + \text{fóton}$ ) em escala de cores e data na (Fig. 8), muito próximo do Equador Magnético.



**Fig. 7:** Valores dos índices de TEC e  $S_4$  para as cidades de Brasília e Manaus para o dia 20 Março 2022. (Fonte: GNSSPlanning).



**Fig. 6:** Observação para a cidade de Manaus dos índices TEC e  $S_4$ , para o dia 23 Março 2022. (Fonte: GNSSPlanning).

### Conclusão

Os dados e informações adquiridas com sistema GNSS na Amazônia Central, fornece conhecimento sobre o comportamento do plasma ionosférico da região. Todavia, o monitoramento contínuo é o responsável pela compreensão das anomalias sazonais no ciclo solar de 11 anos do Sol, sobre o alvo.

### Agradecimentos

Os autores são gratos as plataformas da web (UNAVCO, Trimble, LISN, NOAA, NovAtel, Septentrio, WDC for Geomagnetism - Kyoto), por disponibilizarem informações de forte rigor científicas a comunidade em geral. Externam também agradecimentos as Universidades UNIVAP (SJC-SP) e UNESP (Pres. Prudente-SP) pela parceria da instrumentação (GNSS) no campus da Ulbra-Manaus. Agradecem aos orientadores e a Instituição pelo apoio e também aos pesquisadores Christopher Torrence e Gilbert P. Compo da Universidade do Colorado, Programa em Ciências Atmosféricas e Oceânicas, pelo pacote de scripts de wavelet. Está disponível na URL: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>

### Referências

- BOLZAN, M. J. A. & ROSA, R. R. (2010).** TRANSFORMADA EM ONDELETAS Teoria e Aplicações com Matlab.
- BURKE, W. J.; HUANG, C. Y.; GENTILE, L. C. AND BAUER, L., 2004.** Seasonal-longitudinal variability of equatorial plasma bubbles. *Annales Geophysicae* 22, 3089–3098.  
[https://www.researchgate.net/publication/350640220\\_Observacao\\_da\\_Ionosfera\\_sobre\\_Manauas\\_2011-2012\\_GPS](https://www.researchgate.net/publication/350640220_Observacao_da_Ionosfera_sobre_Manauas_2011-2012_GPS)  
<https://septentrio-polarx5s-datasheet.pdf>  
<https://www.unavco.org/data/gps-gnss/gps-gnss.htm>  
<https://gnssplanning.com>  
[http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/202203/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/202203/index.html)
- KELLEY, M. C. 1989.** The Earth's Ionosphere Plasma Physics and Eletrodynamics, Academic Press, San Diego – USA – California, 487p.
- LIMA, N. S., FERREIRA, A. S., ARAÚJO, R. C., YAMAMOTO, K. C. (2011).** Observations of MSTIDs/GWs at the F2 layer heights in the near equatorial region. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-122, 2011 EGU General Assembly.
- LIMA, N. S., (2009).** Study of the Propagation of Gravity Waves in the Equatorial Ionosphere, using Observations in Manaus (2.9°S, 60°W), Master's Dissertation in Geosciences, Federal University of Amazonas, UFAM/Brazil.
- MUELLA, Marcio Tadeu de Assis Honorato. Morfologia e dinâmica das irregularidades ionosféricas de pequena escala e imageamento ionosférico por GPS. 2008.** 386 f. Tese (Doutorado) – Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.



## CLIMA

# ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS USANDO TRANSFORMADA EM ONDELETAS CRUZADA E COERÊNCIA

Roseilson Souza do Vale<sup>1</sup>, Raoni Aquino de Santana<sup>1</sup>, Cléo Quaresma Dias-Júnior<sup>2</sup>

### RESUMO

Este estudo mostra uma análise em transformada em ondeleta cruzada e coerência aplicada a duas séries temporais, sendo uma delas precipitação e a outra temperatura do ar. O objetivo deste estudo é mostrar que esta técnica é uma ferramenta poderosa na análise de séries temporais climáticas, para isso à aplicamos a duas séries com relação física muito conhecida na climatologia. Além da aplicação realizada, recorreu-se também a uma descrição matemática dos métodos. A técnica da transformada em ondeletas cruzada e coerência mostrou-se eficiente em capturar a relação matemática entre as séries de precipitação e temperatura do ar. Com este estudo esperamos difundir o uso desta técnica para fins de ensino e pesquisa em diversos sistemas geofísicos.

Palavras-chave: Ângulo de fase, Coerência em ondeleta, Ondeleta cruzada, Precipitação, Temperatura.

### ABSTRACT

This study presents a cross wavelet transform and wavelet coherence analysis applied to a precipitation and an air temperature time series. The objective of this study is to demonstrate that this technique is a powerful tool in the analysis of climatic time series, and can be applied to two time series with very well-known physical relationships in terms of climatology. In addition to this application, a mathematical description of the methods was done. The cross-curves and coherence technique proved to be efficient in capturing the mathematical relationship between precipitation series and air temperature. With this study we hope to disseminate the use of this technique for teaching and research purposes in various geophysical systems.

Keywords: Phase Angle, Wavelet Coherence, Cross wavelet, Precipitation, Temperature.

### Analysis of Climate Data Using Transformed Crosswave and Coherence

(1) Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA (Santarém - PA) Brasil

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (Belém – PA) Brasil

## Introdução

O uso da transformada em ondeletas (TO) para análise de séries temporais é uma ferramenta muito poderosa e amplamente difundida no meio científico. Sua aplicação é encontrada em diferentes áreas do conhecimento, tais como: hidrologia Labat et al. (2004) e Sang (2013), saúde (Addison et al., 2000; 2005), economia Conraria, Luís Aguiar, Azevedo; Joana (2008), ecologia Cazelles et al. (2008), turbulência atmosférica Dias-júnior et al. (2017 e Júnior (2008) e geofísica espacial Bolzan (2005). A difusão do uso da TO se deu, principalmente, após o trabalho de Farge (1992) e do pacote criado por Torrence (1998). No entanto, o uso da TO cruzada aplicada a duas séries temporais, com a finalidade de analisar regiões comuns de potência, fase e correlação, tem seguido de modo mais lento. Essa ferramenta, nos permite ver muito além de uma simples correlação linear. Sua aplicação, assim como a TO aplicada a uma única série, pode ser feita de modo simples usando o pacote criado por Grinsted et al. (2004). Neste estudo aplicou-se a transformada em ondeleta cruzada e coerência em ondeleta a duas séries geofísicas, sendo elas: precipitação e temperatura do ar. Recorreu-se a essas séries pois se conhece a relação física entre elas. Notou-se que o método utilizado foi robusto e eficiente na análise deste tipo de sinal. A descrição matemática da transformada em ondeleta contínua e transformada de Fourier, não foram abordadas aqui, uma vez que em Bolzan (2004, 2006) e Torrence (1998) já os fizeram de forma detalhada.

## Material e Métodos

### Dados

Para exemplificar o método da transformada em ondeleta cruzada (TOC) e coerência em ondeleta (CO), foram usadas duas séries temporais geofísicas com efeitos conhecidos em nosso sistema climático: precipitação e temperatura do ar. Além de seus efeitos no tempo e no clima, a relação entre os dois sinais é bem estabelecida e consolidada. A fonte dos dados é do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibilizado em <http://www.inmet.gov.br>.

A série é composta por dados mensais de precipitação e temperatura do ar para a cidade de Manaus (AM) de 1961 à 2016.

### Climatologia da área de estudo

Devido a sua localização próxima a linha do equador, a cidade de Manaus não possui as estações do ano bem definidas, como ocorre nas regiões sul e sudeste do Brasil. As estações são definidas basicamente em estação chuvosa (dez – abr) e menos chuvosa (jul - out) Fisch, Gilberto; Marengo, José A.; Nobre (1998). A temperatura apresenta pouca variabilidade ao longo do ano, sendo mais marcante ao longo do dia. Assim, durante a estação chuvosa, a temperatura tende a diminuir, devido a presença de maior nebulosidade e consequentemente menos radiação chega à superfície. Por outro lado, durante a estação menos chuvosa a temperatura tende a ser maior comparada à estação chuvosa, devido a menor cobertura de nuvens e consequentemente mais radiação chegando à superfície. Outra variável que fortalece as elevadas temperaturas é a alta umidade relativa da região. A partir da relação física entre a precipitação e a temperatura do ar, fica claro que as respectivas séries temporais apresentam uma correlação negativa, ou seja, estão defasadas em 180°.

A Figura. 1 mostra a série temporal (parte superior) e o espectro de potência da TO para precipitação. De maneira análoga, a Figura.2 para a série temporal de temperatura do ar (a partir daqui apenas temperatura). Como esperado, as duas séries apresentam maior significância estatística na escala de um ano (região com contorno), devido ao ciclo anual bem definido, dos máximos e mínimos de precipitação e temperatura (Figura.1 e 2). O espectro de potência da precipitação apresenta uma descontinuidade entre 1978 – 1984 e a da temperatura entre 1978 – 1987 e 1990 – 1993. As regiões escuras dentro do cone de influência (COI) representam baixa significância no espaço tempo e frequência.



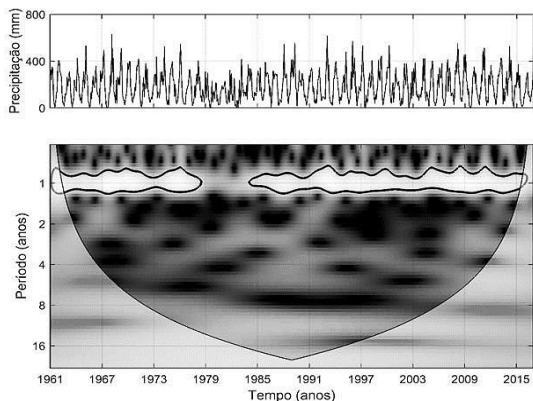


Figura 1. Série temporal de precipitação (superior) e seu espectro de potência em ondeleta (inferior) usando ondeleta de Morlet. A linha de contorno mostra o nível de 5% de significância estatística contra o ruído vermelho.

Cone de influência (COI) onde os efeitos de borda podem distorcer a imagem, são mostrados com uma sombra mais clara. As regiões mais escuras (claras) representam menor (maior) significância no espectro de potência, ou seja, menor (maior) variância para determinado período (escala) e tempo (ano).

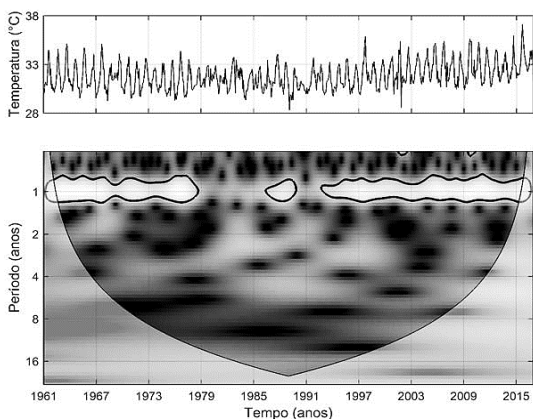


Figura 2. Série temporal de temperatura (superior) e seu espectro de potência em ondeleta (inferior). A linha de contorno mostra o nível de 5% de significância estatística contra o ruído vermelho. Cone de influência (COI) onde os efeitos de borda pode distorcer a imagem, são mostrados com uma sombra mais clara. As regiões mais escuras (claras) representam menor (maior) significância no espectro de potência, ou seja, menor (maior) variância para determinado período (escala) e tempo (ano).

Como já mencionado, as séries apresentam uma correlação negativa, onde o coeficiente de correlação entre elas foi  $r = -0.61$  e p-valor foi  $p = 0.00$ . Neste estudo, foi analisado o método da TOC usando para isso as séries temporais de precipitação e temperatura. Além disso, foi usado a CO para obtermos a relação de fase entre as séries em um escalograma de tempo – frequências fornecido pela TO. Caso o leitor não conheça ou queira se aprofundar no método da transformada em ondeleta, o mesmo pode fazer uma leitura fácil e agradável em Bolzan (2004, 2006) e Torrence (1998 e Torrence; Webster (1999), bem como nos sites <http://paos.colorado.edu/>, <http://www-stat.stanford.edu/> e <http://www.glaciology.net>. As séries temporais foram analisadas usando a ondeleta de Morlet do pacote em Matlab criado por Grinsted et al. (2004).

#### Transformada em ondeleta cruzada

A TO é especialmente eficiente na análise de sinais transientes e não-estacionários, por permitir interpretação simultânea da informação temporal e espectral usando uma janela de comprimento variável. A TOC é eficiente para destacar regiões de energia coincidentes entre dois sinais no domínio da TO assim como determinar a fase relativa entre esses sinais. A TOC é determinada pela multiplicação da primeira TO complexa com o complexo conjugado da segunda TO (Equação 1).

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s) \quad (1)$$

Onde X e Y, representam as séries temporais, n é o tempo, s é a escala da ondeleta e (\*) significa o complexo conjugado Torrence (1998 e Torrence; Webster (1999). A TOC é complexa, então podemos definir a espectro da ondeleta cruzada (EOC) como  $|W^{XY}(s)|$ . Enquanto, a TO revela que parte da série temporal analisada transporta energia significativa e em quais frequências isso acontece, a TOC exibe a covariância entre X e Y e revela informações sobre a relação entre as fases das séries. Isso permite que o EOC indique a quantidade de similaridade de potência entre X e Y.

A diferença de fase entre as séries X e Y é importante porque nos permite quantificar e qualificar a relação entre as séries em termos da propagação de seus ciclos de oscilação. Assim, é necessário estimar a média e o intervalo de confiança da diferença de fase entre as séries usando uma média circular (ou ângulo médio) de fase sobre as regiões com significância estatística acima de 5% que estão fora do COI para quantificar a relação de fase Grinsted et al. (2004). A média circular do conjunto de ângulos ( $a_i, i=1 \dots n$ ) é definido como:

$$a_m = \text{tang}^{-1}(X, Y) \quad (2)$$

$$X = \sum_{i=1}^n \cos(a_i) \quad (3)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n \text{sen}(a_i) \quad (4)$$

Devido os ângulos de fase não serem independentes, se torna difícil calcular o intervalo de confiança da média circular de forma confiável. Por isso, calculamos o espalhamento dos ângulos em torno da média, definido como desvio padrão circular:

$$s = \sqrt{-2 \ln \left( \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{n} \right)} \quad (5)$$

A interpretação de  $s$  é análoga ao desvio padrão ( $\sigma$ ), onde os ângulos estão distribuídos próximos da média circular. Em alguns casos, pode haver necessidade de se calcular o ângulo de fase médio para cada escala, então o ângulo de fase pode ser quantificado como um número de anos Grinsted et al. (2004).

### Coerência em ondeleta

Como vimos no item 3.2, a TOC nos revela as regiões com significativa potência comum entre as séries. A coerência em ondeleta (CO) nos revela a coerência entre as TOC das duas séries em um diagrama tempo – frequência. Ou seja, explica quanto a variabilidade de uma determinada série é explicada por outra série. Segundo Torrence

Webster (1999), o quadrado da coerência em ondeleta é definido como o quadrado do valor absoluto da TOC suavizada, normalizada pelo espectro de potência em ondeleta,

$$R_n^2(s) = \frac{|\langle s^{-1} W_n^{XY}(s) \rangle|^2}{\langle s^{-1} |W_n^X(s)|^2 \rangle \langle s^{-1} |W_n^Y(s)|^2 \rangle} \quad (6)$$

onde  $\langle * \rangle$  indica o operador suavização no tempo e em escala. O numerador possui a parte real e imaginária da TOC que são suavizados separadamente antes do cálculo do valor absoluto. O denominador possui o espectro de potência em ondeleta (depois de elevado ao quadrado) o qual será suavizado. O fator  $s^{-1}$  é usado para converter em densidade de energia. A partir destas definições, temos na Eq. (6) variando entre 0 e 1.

Podemos observar que a Equação (6) é semelhante ao coeficiente de correlação de Pearson. Assim, podemos pensar na CO como sendo também a medida do coeficiente de correlação localizado no tempo – frequência. O operador suavização é definido como:

$$\langle * \rangle = S_{escala}(S_{tempo}(W_n(s))) \quad (7)$$

onde  $S_{escala}$  é a suavização ao longo da escala dos eixos das ondeletas e  $S_{tempo}$  a suavização ao longo do tempo. Para ondeleta de Morlet o operador de suavização é dado de acordo com Torrence (1998):

$$S_{tempo}(W)|_s = \left[ W_n(s) * c_1^{-t^2/2s^2} \right]_s \quad (8)$$

$$S_{escala}(W)|_s = [W_n(s) * c_2 \Pi(0.6)]_s \quad (9)$$

onde  $c_1$  e  $c_2$  são as constantes de normalização e  $\Pi$  é a função retângulo. O fator 0.6 é determinado empiricamente para a ondeleta de Morlet Torrence (1998). Na prática as convoluções no tempo e em escala são feitas discretamente e portanto os coeficientes de normalização são determinados numericamente.



A medição da coerência de fase é realizada para atribuir um valor de suporte nas medidas de diferença de fase entre duas séries temporais, com grandes valores de coerência de fase, significando que a diferença de fase varia suavemente como uma função da frequência, ou seja, não é aleatório. A diferença de coerência de fase em ondeletas é dado segundo Torrence; Webster (1999):

$$\phi_n(s) = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\Im\{(s^{-1}W_n^{XY}(s))\}}{\Re\{(s^{-1}W_n^{XY}(s))\}} \right) \quad (10)$$

As partes real ( $L$ ) e imaginária ( $\Im$ ) suavizada já poderiam ser calculadas na Equação 9. Tanto  $R^2(s)$  quanto  $\phi(s)$  são funções do índice de tempo  $n$  e de escala  $s$ . A suavização na Equação 9 e Equação 10 é realizada usando convolução na direção do tempo e escala.

No pacote criado por Grinsted et al. (2004) e usado neste estudo, o nível de significância estatística da CO é estimada usando o método de Monte Carlo. É gerado um grande conjunto de pares de conjuntos de dados de substituição com os mesmos coeficientes AR1 (modelo autoregressivo) que os conjuntos de dados de entrada. Para cada par é calculado a CO. Então, é estimado o nível de significância para cada escala usando apenas valores fora do COI. Para compensar o pouco impacto dos coeficientes de AR1 no nível de significância, a estimativa de Monte Carlo é da ordem de 1000 pares de conjuntos de dados de substituição. O número de escalas por octave é suficientemente alto para capturar a forma retangular do operador de suavização de escala enquanto o tempo de computação é minimizado. Empiricamente, o pacote de Grinsted et al. (2004) encontra 10 escalas por octave para ser satisfatório.

## Resultados e Discussão

O EOC associada as duas TO de precipitação e temperatura descritas nas Figura. 1 e 2 são mostradas na Figura 3. Notamos que as características comuns vistas nas TO individuais de precipitação e temperatura (Figura. 1 e 2) destacam-se como sendo significante estatisticamente.

Com apenas uma falha na significância entre 1979 – 1984. Contudo, percebe-se que as séries encontram-se defasadas em  $180^\circ$  (as setas apontam para a esquerda). Uma defasagem praticamente constante em todas as escalas sugere um atraso temporal constante devido ao mecanismo físico da precipitação e temperatura em Manaus. O que era de se esperar e já fora justificado anteriormente. Assim, é satisfatório que a TOC mostre que a precipitação e a temperatura estejam em anti-fase em todos os anos com significativo espectro de potência comum para a escala de um ano. No entanto, mesmo para as demais escalas, fora da significância estatística (regiões claras), a TOC também mostra uma relação predominante de anti-fase.

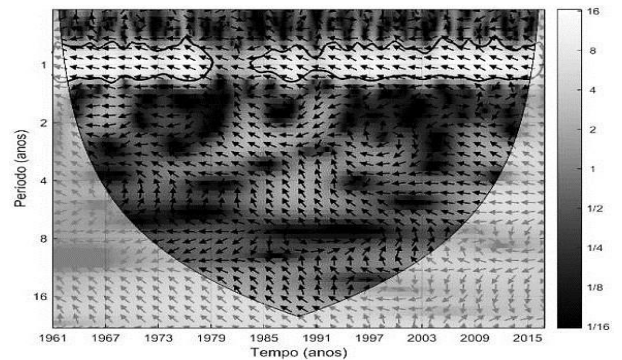


Figura 3. Espectro da ondeleta cruzada entre as séries temporais de precipitação e temperatura. A linha de contorno mostra o nível de 5% de significância estatística contra o ruído vermelho. A relação entre as fases relativas das séries são mostradas como setas que, apontando para a direita indicam fase ( $0^\circ$ ), e apontando para a esquerda indicam anti-fase ( $180^\circ$ ). As regiões mais escuras (claras) representam menor (maior) significância no espectro de potência, ou seja, menor (maior) variância para determinado período (escala) e tempo (ano).

Uma defasagem de  $180^\circ$  nos diz que o pico máximo da temperatura ocorre 6 meses após o pico máximo da precipitação, ou que o quando uma série alcança seu máximo a outra está no seu mínimo.

A TOC entre as séries está de acordo com climatologia de Manaus, onde o mês mais chuvoso ocorre em março e a temperatura máxima em setembro, o que nos dá uma defasagem de 6 meses. O desvio de quase total anti-fase sugere que a precipitação conduz a temperatura. Outra informação interessante que a TOC fornece é a relação de fase entre as séries em diferentes escalas e ao longo dos anos, diferente de uma correlação linear, que fornece apenas um valor. Ou seja, duas séries podem apresentar um fraco coeficiente de correlação mas quando decompõe-se as séries em escalas usando a TOC, é possível encontrarmos forte correlação entre elas Addison (2004).

A coerência em ondeleta elevada ao quadrado segundo Eq. (6) entre as séries de precipitação e temperatura é mostrado na Figura. 4. Percebemos que comparado a TOC (Figura. 3) a CO apresenta uma ampla região com significância estatística (linha de contorno) e não apenas para a escala de um ano, como na Figura 3. Praticamente, todas as regiões em destaque apresentam uma relação de anti-fase entre as séries de precipitação e temperatura. A Figura 4 apresenta ainda uma região de destaque entre 1961 e 1984, no entanto, está fora do COI. A área de um gráfico frequênciam-tempo acima do nível de significância de 5% não é uma indicação confiável de causalidade.

É possível que duas séries estejam perfeitamente correlacionadas em uma escala específica, enquanto a área de correlação significativa é muito inferior a 5%. No entanto, a região significativa fora do COI é relativamente extensa, sendo pouco provável que isso seja simplesmente por acaso. Já era de se esperar que a correlação entre as séries de precipitação e temperatura fosse elevada na escala de um ano, como já discutido no item 3.2. No entanto, é possível observar que existe uma outra região na escala de 2 a 6 anos com forte coerência entre os anos de 1971 a 2016. Ou seja, além da relação entre as séries na escala sazonal, existe uma forte correlação na escala interanual.

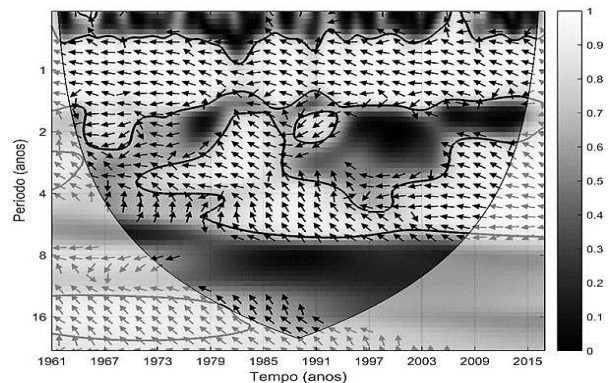


Figura 4. Coerência em ondeleta elevada ao quadrado segundo Eq. (6) entre as séries de precipitação e a temperatura para a cidade de Manaus. A linha de contorno mostra o nível de 5% de significância estatística contra o ruído vermelho. A relação entre as fases relativas das séries são mostradas como setas, onde setas apontando para a direita – as séries estão em fase ( $0^\circ$ ), setas apontando para a esquerda – as séries estão em anti-fase ( $180^\circ$ ). As regiões mais escuras (claras) representam menor (maior) significância no espectro de potência, ou seja, menor (maior) variância para determinado período (escala) e tempo (ano).

### Conclusões

Foram analisadas séries temporais de precipitação e temperatura via transformada em ondeletas contínua de Morlet. A transformada em ondeletas cruzada nos revelou regiões comuns com significante potência e a relação de fase entre as séries. Já a coerência em ondeletas apresenta a capacidade de mostrar a correlação local entre duas transformada em ondeletas cruzada em tempo e frequência. O propósito deste estudo foi mostrar a aplicação deste método muito poderoso na análise de sinais geofísicos. Para o exemplo usado, o método mostrou-se robusto e eficiente, capturando a relação matemática das séries de precipitação e temperatura, e justificado pela relação física entre as mesmas. O uso desta ferramenta torna-se prático e fácil, tanto para o ensino quanto pesquisa, uma vez que encontra-se disponibilizado livremente na web para seu uso.



Com isto, espera-se auxiliar e incentivar o estudo de séries temporais, usando a transformada em ondeletas cruzada e coerência em ondeletas, aplicado a ampla diversidade de sinais geofísicos que temos.

## Referências

- Addison, P. S. 2004.** The illustrated wavelet transform handbook.
- Addison, P. S. 2005.** Wavelet transforms and the ECG: a review. *Physiological Measurement*, 26, R155–R199.
- Addison, P. S.; Watson, J. N.; Clegg, G. R.; et al. 2000.** Evaluating Arrhythmias in ECG Signals Using Wavelet Transforms. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, September/October, p. 0–5.
- Bolzan, M. J. A. 2004.** Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26, 37–41.
- Bolzan, M. J. A. 2005.** Statistical and Wavelet Analysis of the Solar Wind Data. *Brazilian Journal of Physics*, 35, 592–596.
- Bolzan, M. J. A. 2006.** Transformada em ondeleta: uma necessidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28, 563–567.
- Cazelles, B.; Chavez, A. M.; Berteaux, A. D.; et al. 2008.** Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, p. 287–304.
- Conraria, L. A., Azevedo, N.; Joana, M. 2008.** Using wavelets to decompose the time – frequency effects of monetary policy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387, 2863–2878.
- Dias-júnior, C. Q. 2008.** Estudo Comparativo da Estrutura da Turbulência Atmosférica na Camada Limite Superficial Acima da Floresta Primária e Região Desmatada da Amazônia : análise de ondeletas aplicada à detecção de estruturas. p. 104.
- Dias-júnior, C. Q.; Sá, L. D. A.; Marques, E. P.; et al. 2017.** Agricultural and Forest Meteorology Turbulence regimes in the stable boundary layer above and within the Amazon forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 122–132.
- Farge, M. 1992.** Wavelet Transforms and their Applications to Turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 24, n. 1, p. 395–458.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. 1998.** Uma Revisão geral sobre o Clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28, 101–126.
- Grinsted, A.; Moore, J. C.; Jevrejeva, S. 2004.** Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 561–566.
- Labat, D.; Ronchail, J.; Callede, J.; et al. 2004.** Wavelet analysis of Amazon hydrological regime variability, 31, 3–6.
- Sang, Y. 2013.** A review on the applications of wavelet transform in hydrology time series analysis. *Atmospheric Research*, 122, 8–15.
- Torrence, C. and G. P. C. 1998.** A practical guide to wavelet analysis. *Bull Am Meteorol Soc*, 79, 61–78.
- Torrence, C.; Webster, P. J. 1999.** Interdecadal Changes in the ENSO – Monsoon System. *Journal of Climate*, 12, 2679–2690.

Viagens pela Amazônia aos sites de Parintins e Tefé.  
Baixo Amazonas e Médio Solimões, respectivamente.



Experimento  
***FRACTUS AMAZON***

Escritório Atmosfera 101  
<https://amazonexpedition.zohosites.com>

**PARINTINS  
TEFÉ**

Travessia centro  
de Tefé para  
Colônia Ventura-  
Abial (Jan, 2023)





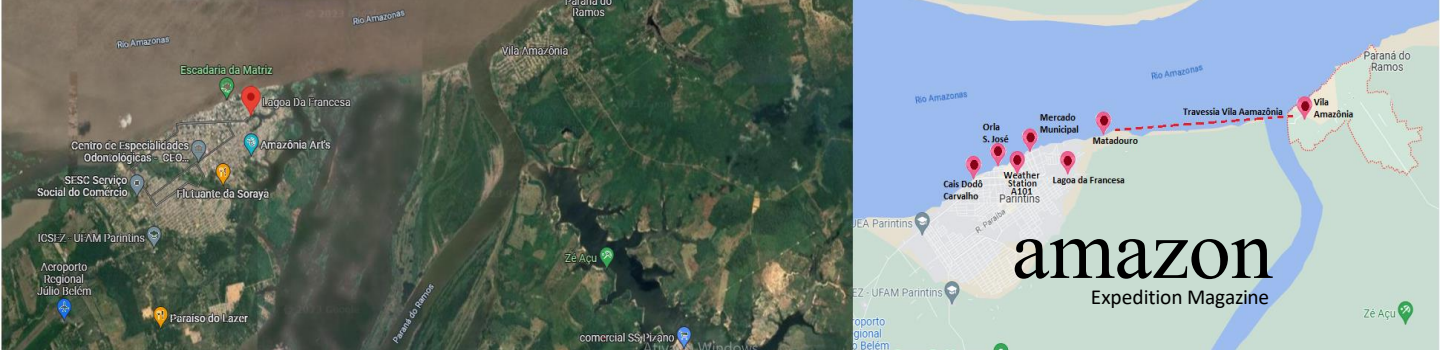
## VILA AMAZÔNIA (PARINTINS)

Desde a década de 30 do século XX, a Vila Amazônia é palco de políticas de colonização. Em 1930 o governo do estado do Amazonas, em conjunto com o Japão, promove a colonização japonesa, época em que ocorre a introdução do cultivo de juta (que é trazida da Ásia e torna-se um importante produto para a economia de Parintins e do Amazonas).

Com a entrada do Brasil na 2ª Guerra Mundial e diante do “perigo amarelo” alardeado pelas autoridades, tem-se a expulsão dos japoneses. Nas décadas de 50 e 60, as terras de Vila Amazônia foram compradas pelo empresário J. G. Araújo que, além da produção da juta, diversifica as atividades agropecuárias e extrativistas da região. Em fins da década de 80 temos, então, nova intervenção com o INCRA e a formação de um dos maiores assentamentos rurais da Amazônia. (Texto: Mônica Xavier de Medeiros - UEA).

A escolha da Vila Amazônia em Parintins (AM), está relacionada ao local (*site*) ser de natureza agrícola, com possível influência na fertilização da poeira do Saara.



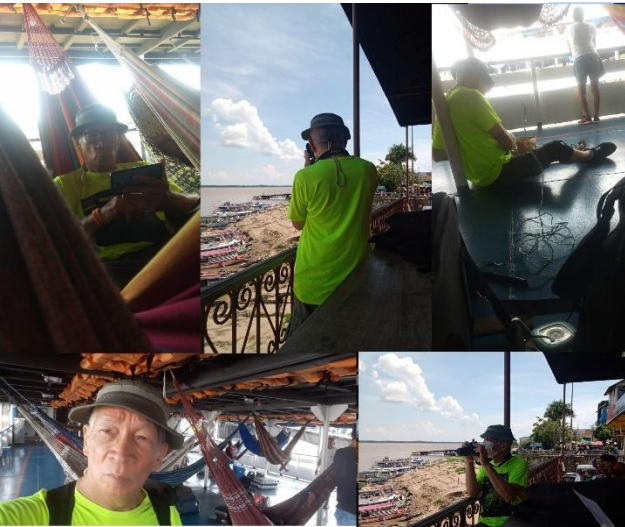


Localidades visitas no Site: Vila Amazônia | Parintins (Google maps)

## AGENDA DIÁRIA - MANAUS | PARINTINS | MANAUS

11 NOV 22 SEXTA-FEIRA EMBARCADO Saída Manaus: 12h	12 NOV 22 SÁBADO Chegada Parintins 07h	13 NOV 22 DOMINGO	14 NOV 22 SEGUNDA-FEIRA	15 NOV 22 TERÇA-FEIRA EMBARCADO Saída Parintins 07h	16 NOV 22 QUARTA-FEIRA EMBARCADO Chegada Manaus 07h
12h: Saída Manaus Cais do Roadway	07h: Chegada no cais do Dodô Carvalho	06h: Saída para Vila Amazônia (Trabalho de Campo) 25 min de travessia 08h: Cais da Vila Amazônia T <sub>AMB</sub> = 29°C pH = 7 V <sub>VENTO</sub> = 12,2 km/h  Coleta: solo/vegetação		07h: Saída Parintins Cais do Dodô Carvalho	07h: Chegada no Cais do Roadway
Instalação da Estação Automática de Tempo (Weather Station) Tempo encoberto (quente) OPERACIONAL (12h)	07h30min: Hotel Brito. (11h: Instalação Weather Station) OPERACIONAL(24h)	Estação Automática de Tempo (Weather Station) OPERACIONAL(24h)	Estação Automática de Tempo (Weather Station) OPERACIONAL(24h)	Estação Automática de Tempo (Weather Station) OPERACIONAL	Estação Automática de Tempo (Weather Station) OFF (10h)
Análise de Água: Cais de Manaus pH 5 V <sub>MÉDIA VENTO</sub> = 3,4 km/h T <sub>AMBIENTE</sub> = 32°C T <sub>EXTERNA</sub> = 34°C T <sub>ÁGUA</sub> = 29°C	Local: Orla do Mercado Municipal Ponto1 Sacada do Mercado: V <sub>VENTO</sub> = 4,8 km/h. Ponto2 externo Mercado: V <sub>VENTO</sub> = 5,2 km/h Ponto3 Orla Externa Mercado: V <sub>VENTO</sub> = 7,1 km/h pH = 6 T <sub>EXTERNA</sub> = 33°C	10h: Visita Mercado e entorno Igreja Matriz Sambódromo Análise de água na Orla do São José	09h: Visita a Feira da Francesa e entorno da Lagoa T <sub>AMB</sub> = 29°C pH = 6 V <sub>VENTO</sub> = 13,7 km/h	Passagens georreferenciadas: Buiúçu Mocambo Augusto Montenegro Itapeaçu Itapiranga Silves Urucurituba Itacoatiara Boca do Madeira Novo Remorso Encontro das Águas Roadway Manaus	
Às 16h20min Próximo ao Novo Remorso (Saída do Rio Madeira no Rio Amazonas) Forte pancada de chuva (25min)	Visitação Cidade Observa-se a condição de seca do Rio. A lagoa da Francesa encontra-se totalmente seca (100%)				
20h. Cidade de Itacoatiara (luar de Lua Cheia)					
Trajeto georreferenciado pelo Google maps e GPS/GLONASS de toda a viagem (ida-volta)					

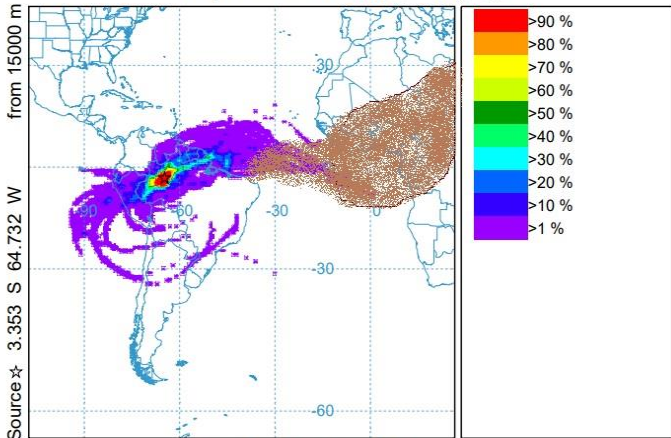




## Barco | Mercado Municipal | Vila Amazônia – Modelagem da poeira africana sobre a Vila Amazônia

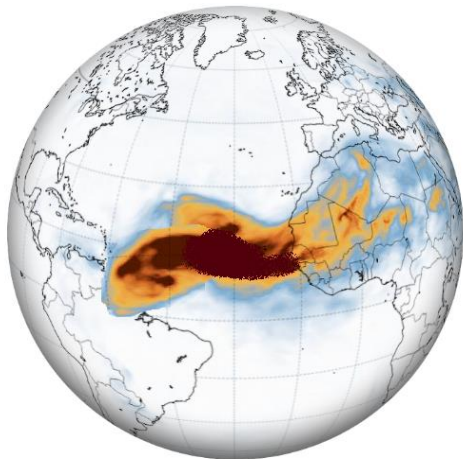


NOAA HYSPLIT MODEL - TRAJECTORY FREQUENCIES  
 # endpts per grid sq./# trajectories (%) 0 m and 99999 m  
 Integrated from 2300 15 Nov to 1700 21 Dec 22 (UTC)  
 Freq Release started at 0000 00 00 (UTC)



METEOROLOGICAL DATA

Job ID: 175439      Job Start: Tue Dec 27 02:04:48 UTC 2022  
 Source 1    lat.: -3.352740    lon.: -64.731613    height: 15000 m AGL  
 Initial trajectory started: 2300Z 15 Nov 22  
 Direction of trajectories: Forward    Trajectory Duration: 120 hrs



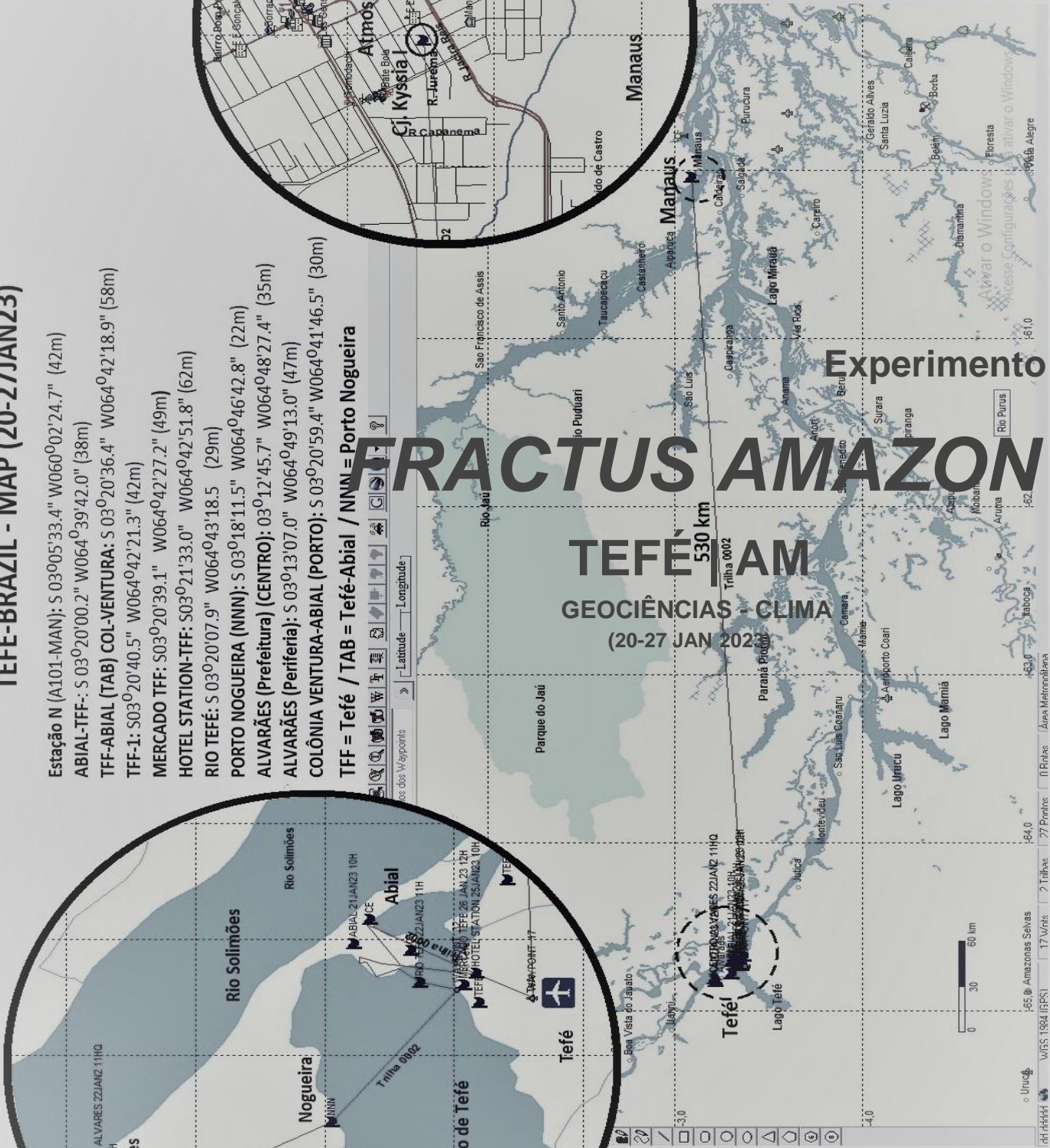
Dust Aerosol Optical Thickness  
 0    0.5    1    1.5    ≥2



# TEFÉ-BRAZIL - MAP (20-27JAN23)

- Estação N (A101-MAN): S 03°05'33.4" W060°02'24.7" (42m)
- ABIAL-TFF-: S 03°20'00.2" W064°39'42.0" (38m)
- TFF-ABIAL (TAB) COL-VENTURA: S 03°20'36.4" W064°42'18.9" (58m)
- TFF-1: S 03°20'40.5" W064°42'21.3" (42m)
- MERCADO TFF: S 03°20'39.1" W064°42'27.2" (49m)
- HOTEL STATION-TFF: S 03°21'33.0" W064°42'51.8" (62m)
- RIO TEFÉ: S 03°20'07.9" W064°43'18.5 (29m)
- PORTO NOGUEIRA (NNN): S 03°18'11.5" W064°46'42.8" (22m)
- ALVARÃES (Prefeitura) (CENTRO): S 03°12'45.7" W064°48'27.4" (35m)
- ALVARÃES (Periferia): S 03°13'07.0" W064°49'13.0" (47m)
- COLÔNIA VENTURA-ABIAL (PORTO): S 03°20'59.4" W064°41'46.5" (30m)

TFF = Tefé / TAB = Tefé-Abial / NNN = Porto Nogueira



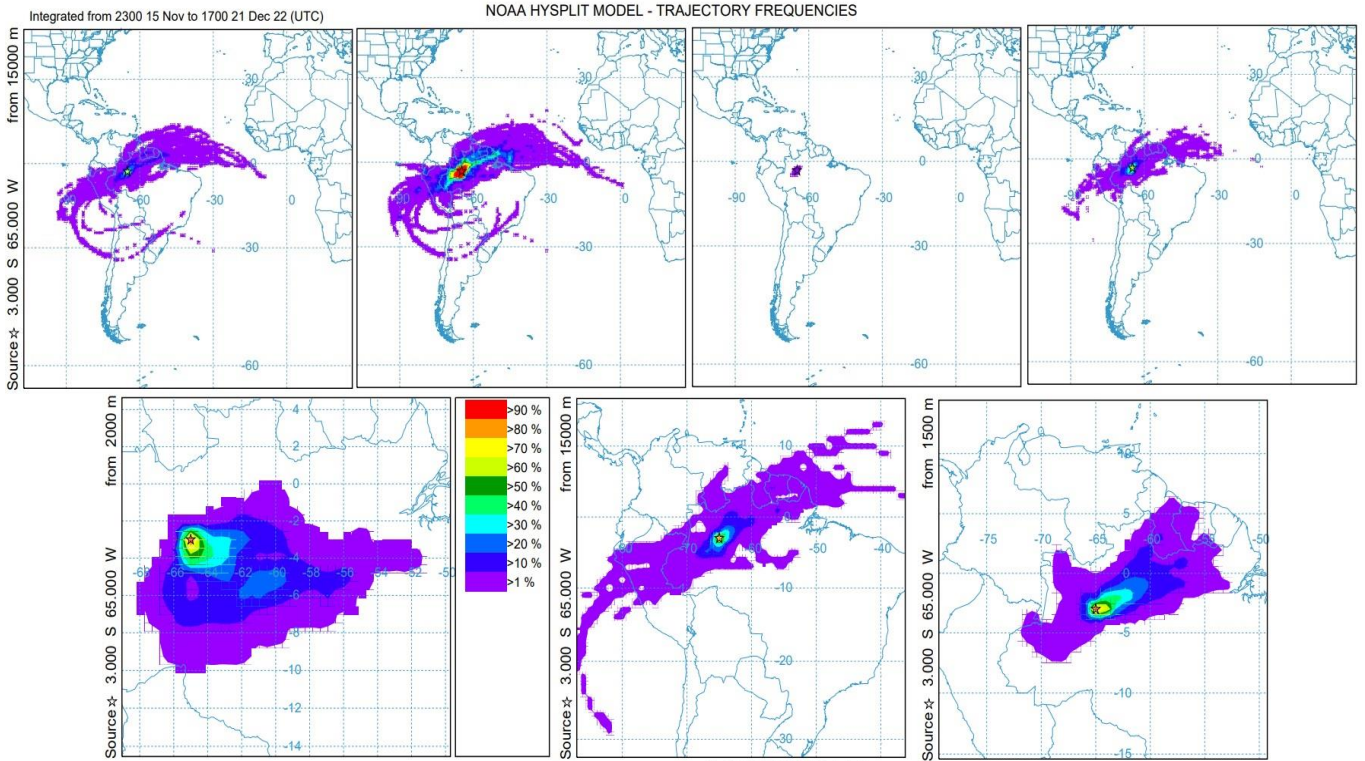
amazon

Expedition Magazine

GPSMAP 64sc  
GARMIN  
TrackMaker®



## Modelagem | HYSPLIT- Tefé - Alvarães - Uarini (NOV- DEC, 2022)



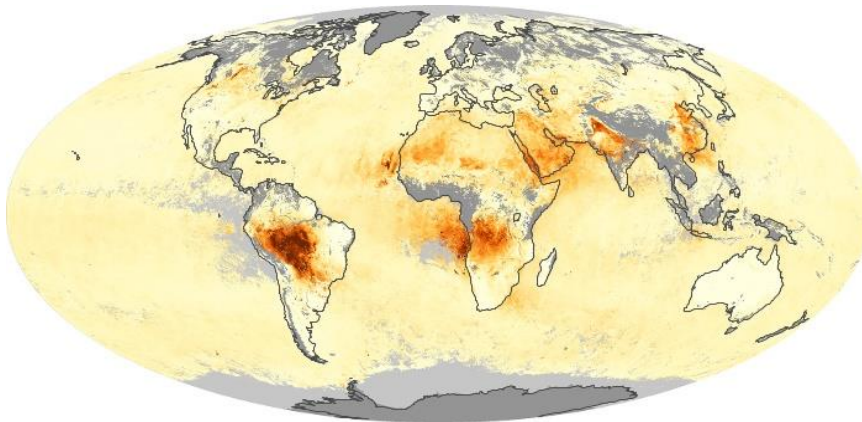
Poeira do Saara sobre o alvo na Amazônia Central, utilizando Modelagem HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Intergrated Trajectory).

### Optical Depth of Aerosol\* - 2022, November

(Profundidade óptica do aerossol ([nasa.gov](https://earthobservatory.nasa.gov)))

[https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MODAL2\\_M\\_AER\\_OD](https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MODAL2_M_AER_OD)

(\*)As partículas mudam a maneira como a atmosfera reflete e absorve a luz visível e infravermelha. Uma espessura óptica inferior a 0,1 (amarelo mais pálido) indica um céu cristalino com visibilidade máxima, enquanto um valor de 1 (castanho avermelhado) indica condições muito nebulosas. Na Figura abaixo desta onde estiver preto mostra onde o sensor não pôde fazer sua medição.



2022, November - TERRA| MODIS




Visão do Lago de Alvarães  
(22 JAN 2023 - 11h)

## Localidades visitados nos sites de Tefé – Abial – Alvarães (Médio Solimões)




 **ALVARÃES**  
(zona portuária)




 **PORTO NOGUEIRA**  
(Lago de Tefé)




 **TEFÉ**  
(Porto das Lanchas |  
atrás do Mercado)



 **TEFÉ**  
(Porto Colônia Ventura |  
ABIAL)



 Way Points no Lago de Tefé, que tem área aproximadamente sete vezes maior que a cidade de Paris na França.  
(Google maps)



## SEMINÁRIO SÃO JOSÉ - *Um ex-libris da cidade de Tefé*



**Seminário São José (Praça da Prefeitura em Tefé - AM | Brasil - 22 JAN 23 - 12h30min).**

Este é o Palácio Prelático de Tefé, mais conhecido por Seminário São José por ter sido também, logo desde a sua construção, uma Escola Apostólica para a formação dos futuros padres da Prefeitura Apostólica de Tefé criada por Roma em 1910. Desde a sua nomeação como primeiro Prefeito Apostólico que Monsenhor Alfredo Barrat, missionário espiritano francês, sonhou com a construção deste edifício que se tornou um ex-libris da cidade de Tefé.

Foi em 1913 que esse sonho começou a tomar forma, com a vinda do Irmão espiritano alemão Raphael Haag, o qual fez o desenho arquitetural. Mas, só no ano seguinte o prédio começou a ser construído sob a orientação de outros dois Irmãos espiritanos especialistas em construção: o alemão Aristóbulo Lulsdorf e o suíço Tito Kuster. Ambos repousam no cemitério da Missão. Era da Missão que eles vinham e também das oficinas da Missão que eles traziam os blocos e outros materiais necessários para a construção. Os trabalhos atrasaram devido à Primeira Guerra Mundial (1914-1919), mas Mons. Barrat, mesmo sem ele estar completamente concluído, o vai poder benzer e inaugurar com alguns seminaristas, na festa da Santíssima Trindade, em 16 de junho de 1919. Só em 1920, porém, por motivo de ter de se ausentar para França, o Prefeito Apostólico vai deixar a "Casa Branca" da Missão para aqui se instalar e com ele a comunidade espiritana que tinha a seu encargo os seminaristas e a Paróquia de Santa Teresa. Logo em Janeiro do ano seguinte, 1921, depois de todas as obras concluídas, o Seminário vai passar a receber também alunos externos, sendo criado o Externato São José.

A grande afluência de alunos vai obrigar à extensão do prédio, a qual vai começar em 1931, mas a sua inauguração vai ter lugar apenas em 1935. Para esse segundo edifício vão ser transferidos o Internato e o Externato São José, deixando o original apenas como residência do Prefeito Apostólico e da comunidade de Santa Teresa.

Em 1950, o Prefeito Apostólico foi elevado a Prelazia, tendo como primeiro Prelado o Bispo espiritano holandês Dom Joaquim de Lange. Em 1967, foi suprimido o Externato e, em seu lugar, Dom Joaquim vai benzer e inaugurar a Escola paroquial São José, entregue pela Prelazia ao Estado.

Classificado como patrimônio histórico, este edifício serve atualmente como residência do Bispo espiritano Dom José Altevir da Silva e de outros sacerdotes da Prelazia.

Nele funcionam ainda a Cúria e outros serviços apostólicos e sociais da Prelazia.

(Texto: Firmino Cachada CSSp | *Congregatio Sancti Spiritus* – Tefé - AM | 01 MAIO 2022).



A cidade de Tefé – AM | Médio Solimões



Porto de Tefé - Brasil (24 JAN 23 - 10h - período seco)



Cidade de Tefé vista a partir da Comunidade do Abial (22 JAN 23 - 10h)



Vista da Comunidade do Abial a partir de Tefé (23 JAN 23 - 17h)



Lago de Tefé - Brasil | Visão a partir do Mercado de Tefé (25 JAN 23 - 11h)





ISBN: 978-65-00-69951-7

Amazon Expedition Magazine - V.1 - N.2 | 2th Year (2023, SEPTEMBER)



9 786500 699517

<https://amazonexpedition.zohoites.com/contact>



**amazon**  
Expedition Magazine