



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



ESCOLA DE MINAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EVOLUÇÃO DO REGIME DE INCÊNDIOS NA REGIÃO CENTRAL DO
CERRADO DURANTE O HOLOCENO A PARTIR DE REGISTROS DE
CARVÃO

Ianka Celestino Almeida Oliveira

MONOGRAFIA nº 510

Ouro Preto, fevereiro de 2024

**EVOLUÇÃO DO REGIME DE INCÊNDIOS NA REGIÃO CENTRAL DO
CERRADO DURANTE O HOLOCENO A PARTIR DE REGISTROS DE
CARVÃO**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marliére de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

TAE. Dr. Adilson Pereira dos Santos

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Junior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

TAE Dr. Geraldo M. S. Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 510

**EVOLUÇÃO DO REGIME DE INCÊNDIOS NA REGIÃO
CENTRAL DO CERRADO DURANTE O HOLOCENO A PARTIR
DE REGISTROS DE CARVÃO**

Ianka Celestino Almeida Oliveira

Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Raquel Franco Cassino

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2023/2.

OURO PRETO

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O482e Oliveira, Ianka Celestino Almeida.

Evolução do regime de incêndios na região central do cerrado durante o Holoceno a partir de registros de carvão. [manuscrito] / Ianka Celestino Almeida Oliveira. - 2024.

60 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Franco Cassino.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Paleoecologia. 2. Paleoclimatologia. 3. Savanas - Brasil. 4. Biomas - Fitofisionomias. 5. Incêndios. I. Cassino, Raquel Franco. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 551.583.7

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ianka Celestino Almeida Oliveira

Evolução do regime de incêndios na região central do Cerrado durante o Holoceno a partir de registros de carvão

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro geólogo.

Aprovada em 26 de março de 2024

Membros da banca

Dra. Raquel Franco Cassino - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Cláudio Eduardo Lana (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. André Gomide Vasconcelos - (Universidade Federal de Minas Gerais)

Raquel Franco Cassino, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 08/04/2024



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Franco Cassino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2024, às 15:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0697832** e o código CRC **0379CF81**.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por ter me guiado meus passos até esse momento da minha vida, e por ter me concedido dádiva de conhecer as pessoas que fizeram parte dessa jornada comigo. Agradeço a minha mãe, Marilene Almeida que mesmo sem ter tido a oportunidade de estudar me ensinou o valor do estudo, e sempre me incentivou a querer fazer uma faculdade, esse diploma não é só meu, é dela também. Derrik Chamlee, um dos maiores presentes que a graduação poderia ter me dado foi de ter te conhecido, você foi mais que um namorado, foi família, amigo, motivador, acreditou em mim quando nem eu mesma acreditei, tudo se tornou suportável ao seu lado pois você sempre me ajudou a levantar quando precisei, serei eternamente grata a você e espero que continue ao meu lado por toda a vida se assim Deus permitir. Agradeço a minha professora Eliana do ensino médio que me apresentou a Geologia, o que me fez escolher esse curso pra ser minha futura profissão, e a Ana Cláudia por ser como uma segunda mãe pra mim. A jornada da vida é marcada por altos e baixos, mas é nos momentos desafiadores que a verdadeira beleza da solidariedade se revela, e foi nesses momentos que fui presenteada com as melhores pessoas que eu poderia ter conhecido, meus irmãos de coração Joanes Medeiros, José Matheus, Priscila Arouxa e Vanessa Cristina, uma família linda formada pelo Agnaldo, Lucymeire e Alexander. Agradeço a cada um por estar ao meu lado nos momentos difíceis, por oferecer conforto, compreensão e força quando mais precisei. Às vezes, são as pequenas alegrias compartilhadas, as palavras de estímulo, e os gestos de carinho que iluminam os dias mais frustrantes, portanto não poderia deixar de agradecer a Professora Raquel Cassino por me proporcionar esses atos de gentileza. Não poderia deixar de agradecer ao professor André Gomide por ter me motivado a não desistir, sou muito grata ao senhor pelos conselhos e incentivos. Cada um de vocês contribuiu para construir essa fase única da minha vida, saibam que, ao escrever esta página de gratidão, me sinto incrivelmente abençoada por ter tantas pessoas maravilhosas ao meu redor. Com muito carinho agradeço aos professores Luis Bacellar, Emílio Urbano, Marco Castro, Maria Augusta Fujaco, Joney Silva, Issamu Endo, Adivane Costa, Edison Tazava, André Dandefer e Maria Eugênia, os últimos períodos foram mais desafiadores por ter que lidar com tantas coisas pessoais na minha vida, porém vocês foram muito atenciosos e agradeço a vocês por isso, com todo o meu coração, foi muito importante esse apoio de vocês e serei sempre grata por isso. Por fim, agradeço a UFOP, a Escola de Minas, ao DEGEO e a Fundação Gorceix por me proporcionarem essa grande conquista.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| AGRADECIMENTOS | ix |
| SUMÁRIO | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiv |
| ÍNDICE DE TABELAS | xvii |
| Resumo | xix |
| Abstract | xxi |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 FORMAÇÕES SAVÂNICAS | 1 |
| 1.2 O CERRADO..... | 1 |
| 1.2.1 Origem e evolução..... | 1 |
| 1.2.2 Caracterização | 2 |
| 1.3 INTERAÇÃO DO FOGO E O CERRADO | 5 |
| 1.4 ESTUDO DE FOCOS DE QUEIMADAS NO PASSADO A PARTIR DE REGISTROS DE CARVÃO..... | 8 |
| 2 LOCALIZAÇÃO | 9 |
| 3 OBJETIVO | 12 |
| 3.1 Relevância..... | 12 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 13 |
| 4.1 Revisão Bibliográfica..... | 13 |
| 4.2 Trabalho de Campo..... | 13 |
| 4.3 Preparação das amostras | 14 |
| 4.4 Análise das partículas de carvão | 16 |
| 4.5 Reconstrução da frequência de incêndios | 17 |
| 5 RESULTADOS | 19 |
| 6 DISCUSSÃO | 24 |
| 7 CONCLUSÃO | 30 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |
| Apêndice(s) | 35 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 - Regiões savânicas no mundo..... | 1 |
| Figura 1.2 - Fitofisionomias do Bioma Cerrado | 4 |
| Figura 1.3 - Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado sensu lato em relação à profundidade do solo na vertente de um vale..... | 5 |
| Figura 1.4 - Mapa da cobertura das principais classes naturais remanescentes no bioma Cerrado em 2018 a partir dos dados da coleção 5.0 do MapBiomias. | 7 |
| Figura 2.1 - Mapa de localização do Cerrado e demais biomas do Brasil | 9 |
| Figura 2.2 - Localização da coleta do testemunho utilizado no estudo a partir de imagem de satélite | 10 |
| Figura 2.3 - Mapas das fitofisionomias presentes no Parque Nacional de Brasília com o ponto de coleta do testemunho PNB representado no mapa | 10 |
| Figura 2.4 - Mapas das sub-bacias do Bananal e Santa Maria/ Tortodo do Parque Nacional de Brasília com amostragens com o ponto de coleta do testemunho PNB representado no mapa. | 11 |
| Figura 3.1 - Testemunho com 120 cm de profundidade coletado no Parque Nacional de Brasília | 13 |
| Figura 3.2 - Estrutura do testemunhador e estágios operacionais de amostragem sedimentológica.... | 14 |
| Figura 3.3 - Preparação de amostras com hipoclorito de sódio (água sanitária) e hidróxido de potássio para clareamento da matéria orgânica não carbonizada..... | 15 |
| Figura 3.4 - Filtragem das partículas de carvão. | 15 |
| Figura 3.5 - Microscópio estereoscópico com aumento de 15X para identificação de partículas de carvão. | 16 |
| Figura 3.6 - Registro fotográfico de partículas de carvão identificadas e agrupadas..... | 16 |
| Figura 3.7 - Mapa de localização do testemunho datado de Viana, 2022 e do testemunho PNB23 referente ao presente trabalho | 17 |
| Figura 4.1 - Gráficos gerados no programa C2, sendo o primeiro de Número de partículas/cm ³ , o segundo de Área total (mm ³)/cm ³ | 19 |
| Figura 4.2 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado..... | 21 |
| Figura 4.3 - Fotos das amostras de carvão demonstrando uma baixa de acúmulo de partículas da amostra PNB23-46 em relação as amostras..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.4 - Amostra PNB23-68 com as maiores partículas encontradas entre as 100 amostras analisadas. | 22 |
| Figura 4.5 - Gráfico de forma das partículas (AR médio) em evidência. | 23 |
| Figura 4.6 - Gráfico de dispersão de AR por partículas, sendo destacado em linha vermelha o valor de a 2,5 que indica o valor limite para origem da queima de madeira..... | 23 |
| Figura 5.1 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando queimadas no Cerrado correlacionados com gráficos de concentração de CO ₂ e temperatura..... | 24 |
| Figura 5.2 - Gráfico de concentração de CO ₂ e gráfico de temperatura ao longo do Holoceno, sendo evidenciado uma suave queda de nível de CO ₂ e de temperatura. | 25 |
| Figura 5.3 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com o gráfico de nível de precipitação..... | 26 |
| Figura 5.4 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com o gráfico insolação ao longo do Holoceno.. | 27 |
| Figura 5.5 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com gráficos de temperatura e precipitação. | 28 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 - Fases de grandes queimas na área de estudo..... | 20 |
|---|----|

RESUMO

O Parque Nacional de Brasília (PNB), por ser uma zona de preservação, abrange diversas fitofisionomias do bioma Cerrado constituindo uma parcela representativa desse ecossistema. Estudos paleoambientais indicam que o fogo no Cerrado existe há mais de 30.000 anos, e em embora seja muitas vezes associado a catástrofes, este desempenha um papel de regeneração do Cerrado. Partículas de carvão depositadas em ambientes sedimentares funcionam como um indicador direto da ocorrência de incêndios. Sua taxa de acumulação depende da quantidade de biomassa disponível para combustão o que estimula a propagação do fogo. O tamanho das partículas pode abranger desde dimensões microscópicas até macroscópicas, o que permite identificar a intensidade do incêndio e verificar se a queima ocorreu *in situ* ou distante da área de deposição. A quantificação de partículas de carvão no testemunho do PNB e a análise estatística dos dados, possibilitou a determinação da variabilidade de incêndios ao longo do Holoceno no PNB. A forma das partículas forneceu indícios sobre a origem da combustão, sendo esta majoritariamente de origem lenhosa. A integração dessas descobertas com trabalhos paleoclimáticos conduzidos por outros pesquisadores revelou padrões notáveis que destacam as influências das variações de CO₂ atmosférico, temperatura e incidência solar no comportamento do fogo no bioma do Cerrado.

Palavras-chave: incêndios, savana brasileira, paleoclimatologia, fitofisionomias, paleoecologia.

ABSTRACT

The Parque Nacional de Brasília (PNB), as a preservation zone, covers several phytophysiognomies of the Cerrado biome, constituting a representative portion of this ecosystem. Paleoenvironmental studies indicate that fire in the Cerrado has existed for more than 30,000 years, despite being associated only with catastrophes, it plays a role in regenerating the Cerrado. Coal works as a direct indicator of the occurrence of fires. Its accumulation rate depends on the amount of biomass available for combustion, which stimulates the spread of fire. The size of the particles can range from microscopic to macroscopic dimensions, which makes it possible to identify the intensity of the fire and verify whether the deposition was in situ or distal. The quantification of coal particles in the PNB core and the statistical analysis of the data made it possible to determine the variability of fires. The shape of the particles provided analyzes the origin of combustion, whether by woody or non-woody agents. Integrating these findings with paleoclimatic work conducted by other researchers revealed notable patterns that highlight the influences of variations in atmospheric CO₂, temperature and solar incidence on fire behavior in the Cerrado biome.

Keywords: fires, brazilian savannah, paleoclimatology, phytophysiognomies, paleoecology.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 FORMAÇÕES SAVÂNICAS

As savanas tropicais se localizam em sua maioria nos trópicos e subtropicais, ocupando cerca de 50 % do continente africano e partes significantes da América do Sul, Ásia e Oceania (Figura 1.1). Esta é considerada o quarto maior bioma mundial em área, ocupando aproximadamente 33% da superfície continental da Terra e 40% da faixa tropical (Whittaker 1975). Normalmente, as formações savânicas possuem solos arenosos e de baixa fertilidade (distróficos), além de serem regiões com estações climáticas bem definidas (chuvosa e seca) (Pinheiro 2010). Os continentes americano, africano, asiático e a Oceania, especialmente a Austrália, abrigam savanas tropicais e nas Américas, se tem formações savânicas subtropicais localizadas na América do Sul, no Brasil, Bolívia e Argentina.

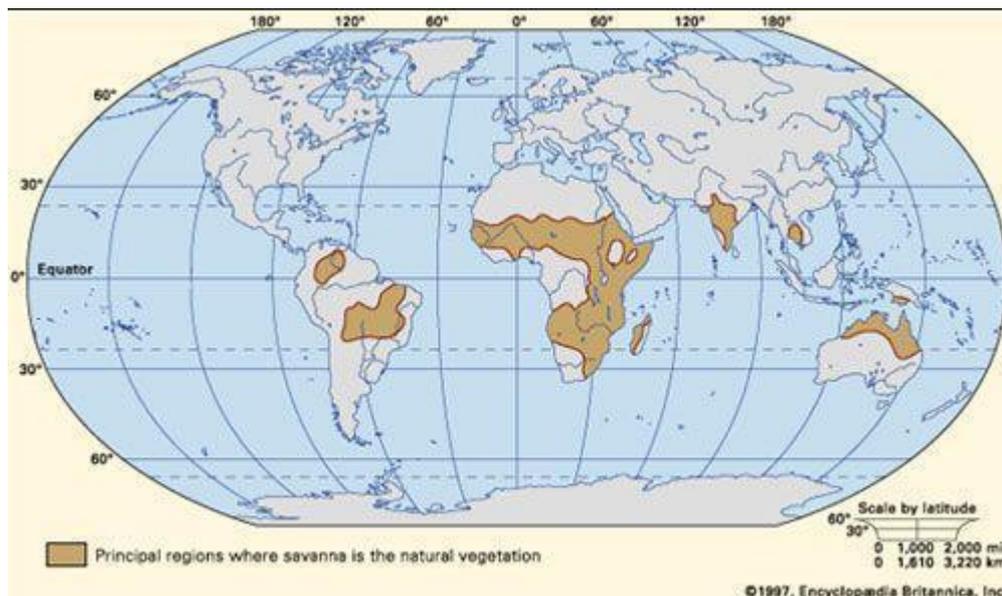


Figura 1.1 - Regiões savânicas no mundo (extraído de Aquino 2009).

1.2 O CERRADO

1.2.1 Origem e evolução

A origem e diversificação da flora das formações do Cerrado ainda é muito discutida na literatura, há hipóteses de que teve seu início no Cretáceo na separação dos continentes sul-americano e africano (Ratter e Ribeiro 1996). Períodos de seca, e a ocorrência de grandes alterações climáticas no

Neógeno e Quaternário com longos intervalos de tempo com temperaturas baixas (glaciações), intercalados por intervalos menores de temperaturas mais altas (interglaciais). Estas teriam causado expansões e retrações das florestas úmidas que no Brasil hoje são representadas respectivamente pelas Florestas Amazônica e Atlântica, e as florestas secas, pelas Florestas Meridionais (mata de araucárias) e a Caatinga (Salgado-Labouriau 1997). Estudos palinológicos de Salgado-Labouriau (1997) demonstram uma diminuição progressiva na umidade entre 22.000 e 18.000 anos AP atingindo um máximo de aridez entre 14.000 e 10.500 anos AP quando pântanos e lagos foram parcialmente ou totalmente ressecados, havendo um aumento das áreas com savana aberta e campos. A ocorrência de chuvas aumentou no período compreendido entre 7.000 e 6.000 anos AP e possibilitaram a formação de uma vegetação de savana com composições de florestas decíduas e semidecíduas. Fatores abióticos contribuíram em grande parte para o aspecto geral da vegetação, sendo estes; a sazonalidade climática, disponibilidade de água, atributos do solo como profundidade, textura e oferta de nutrientes, bem como a ocorrência de fogo; tais fatores foram preponderantes na determinação dos padrões e processos do Cerrado e das comunidades savânicas do mundo tanto em escala evolutiva (tempo geológico) quanto em escala de sucessões ecológicas (Felfili *et al.* 2005).

1.2.2 Caracterização

O bioma Cerrado ocupa cerca de 2,04 milhões de quilômetros quadrados, representando aproximadamente 22% do território do Brasil sendo, portanto, o segundo maior bioma do país, abrigando uma rica biodiversidade, com uma variedade de espécies sendo muitas destas endêmicas, ou seja, só são encontradas nessa região (Felfili *et al.* 2005). Segundo Eiten (1994), o Cerrado é caracterizado pela presença de um estrato rasteiro bem desenvolvido, composto principalmente por gramíneas as quais são adaptadas à estação de seca, onde muitas ficam inativas, retomando o crescimento na estação chuvosa, além das gramíneas há árvores e arbustos que são resistentes a seca, já muitas delas possuem cascas grossas e raízes profundas para armazenar água e as copas das árvores não formam uma cobertura contínua como visto na floresta Amazônica. A forma principal de vegetação no Cerrado é o cerrado *sensu lato*, abrangendo aproximadamente 85% da área total apresentando categorias fisionômicas distintas, determinadas pela proporção de árvores, arbustos e gramíneas em seu crescimento (Eiten 1994). O Cerrado possui um clima caracterizado por duas estações distintas: uma estação seca, que se estende de maio a setembro, e uma estação chuvosa, que ocorre de outubro a abril. A precipitação média anual varia de 600 a 2.000 mm, com períodos sem chuva durante a estação chuvosa nesta região e sua vegetação segue um ciclo de desenvolvimento fortemente sazonal, com uma notável produção de biomassa durante a estação chuvosa (Da Silva *et al.* 2008). A vegetação do Cerrado é classificada em quatorze tipos fitofisionômicos gerais (**Error! Reference source not found.**), enquadrados em três formações, sendo estas (Ribeiro *et al.* 1998):

Formações florestais: Englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo. A Mata Ciliar e a Mata de Galeria têm sua ocorrência em solos bem ou mal drenados, estas fisionomias são associadas a cursos de água, sendo a última subdividida em não-inundável e inundável. A Mata Seca e o Cerradão ocorrem em terrenos elevados os quais são bem drenados. A Mata Seca é subdividida em três fisionomias, a sempre-verde, semidecídua e decídua, já o Cerradão podemos classificá-lo como mesotrófico (solos mais ricos, ainda que de fertilidade mediana) ou distrófico (solos pobres em nutrientes).

Formações savânicas: É composta por quatro tipos fitofisionômicos principais, o Cerrado *sensu stricto*, o Parque de Cerrado, o Palmeiral e a Vereda. O Cerrado *sensu stricto* caracteriza-se pela presença dos estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo, com a disposição da densidade das árvores de forma aleatória e a partir disso pode ser classificado em quatro subtipos, o Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e o Cerrado Rupestre. No Parque de Cerrado a distribuição das árvores é concentrada em locais específicos de maior altitude. No Palmeiral, se tem presença de uma espécie de palmeira arbórea que pode ocorrer tanto em áreas bem drenadas quanto em áreas mal drenadas, e esta fisionomia possui quatro subtipos a partir da espécie dominante, sendo estes, Babaçual, Buritizal, Guerobal e Macaubal. Na Vereda há a espécie de palmeira, o buriti, que é marcante no ambiente, porém sua ocorrência se dá em menor escala comparada com Palmeiral.

Formações campestres: Há a presença de três tipos fitofisionômicos nesta formação, sendo estes o Campo Sujo, Campo Limpo e o Campo Rupestre. O Campo Sujo tem como principal característica a presença de arbustos e subarbustos no estrato arbustivo-herbáceo, já no Campo Limpo a presença de arbustos e subarbustos não é tão marcante, estas duas fisionomias podem apresentar três subtipos cada, sendo Campo Sujo Seco, Campo Sujo Úmido e Campo Sujo com Murundus; e Campo Limpo Seco, Campo Limpo Úmido e Campo Limpo com Murundus. O Campo Rupestre tem similaridades com o Campo Sujo e o Campo Limpo, sendo o substrato composto por afloramentos de rocha e composição florística endêmicas sendo o seu diferencial.

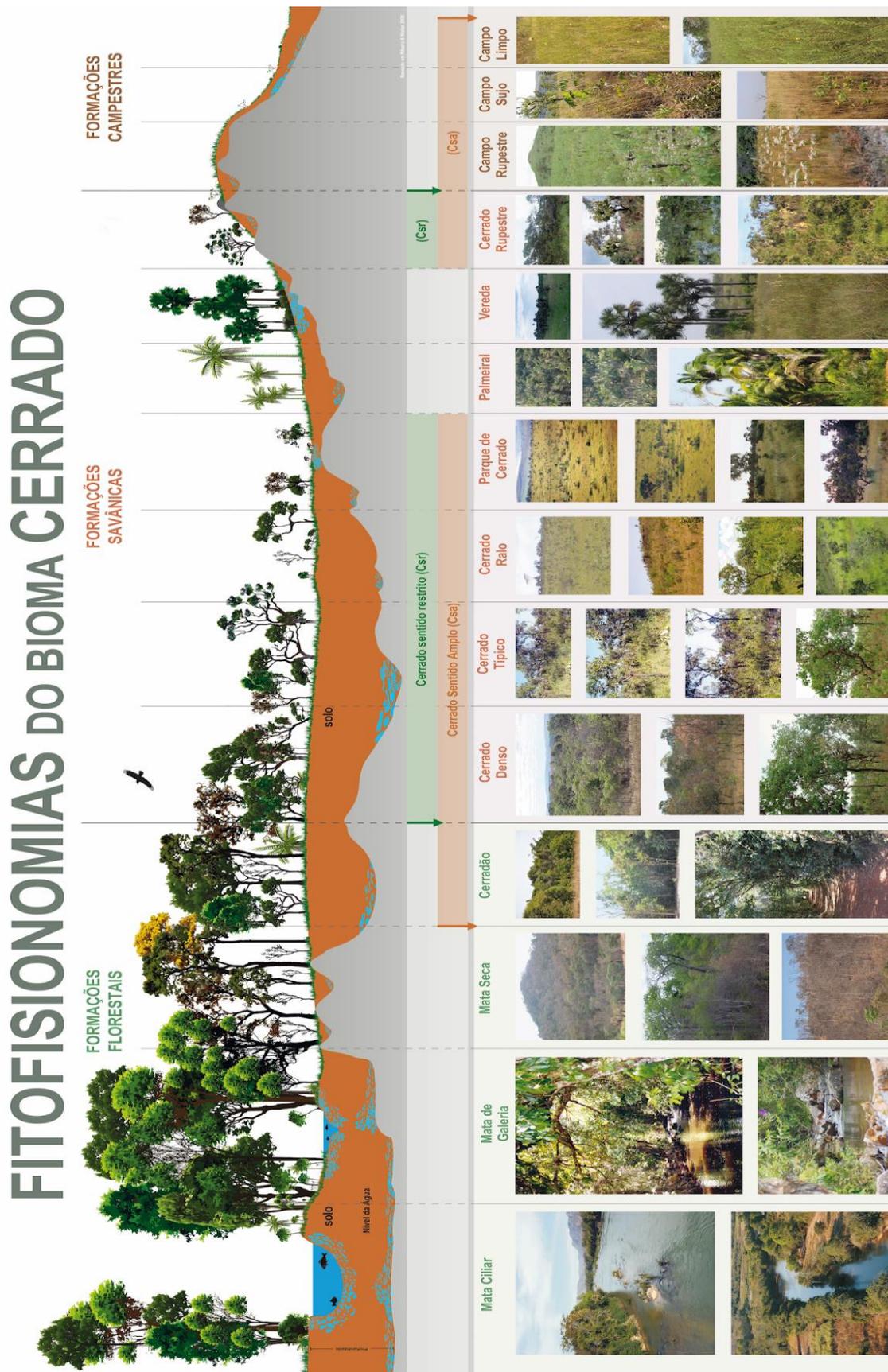


Figura 1.2 - Fitofisionomias do Bioma Cerrado (Projeto Biomas Senar CNA EMBRAPA 2023).

A hidrografia do Cerrado é caracterizada pela presença de uma extensa rede de rios, riachos e nascentes que desempenham um papel fundamental na regulação do abastecimento de água e na manutenção da biodiversidade na região (Reatto & Martins 2005). Alguns dos principais rios que cortam o bioma incluem o Rio Araguaia, o Rio Tocantins, o Rio São Francisco e o Rio Paraná. O ecossistema apresenta uma variedade de tipos de solo, mas um dos mais predominantes é o Latossolo, o qual são solos altamente intemperizados, de baixa fertilidade e alta acidez, ocorrendo em paisagens de relevo plano a suave-ondulado, são solos muito profundos, porosos, de textura homogênea e de drenagens variando de bem forte a acentuadamente (Reatto & Martins 2005). Estudos realizados por Eiten (1972) evidenciam que as fisionomias do cerrado *sensu lato* não são explicadas apenas pela fertilidade do solo, mas principalmente pela influência da profundidade e conteúdo de água deste (**Figura 1.3**), portanto o volume reduzido de nutrientes, os aumentos de densidade e altura da vegetação na fisionomia de cerradão são limitados pela profundidade do solo, e para sustentar o desenvolvimento de uma biomassa vegetal mais robusta é necessário camadas mais profundas de solo para que este possa apresentar um estoque de nutrientes suficiente.

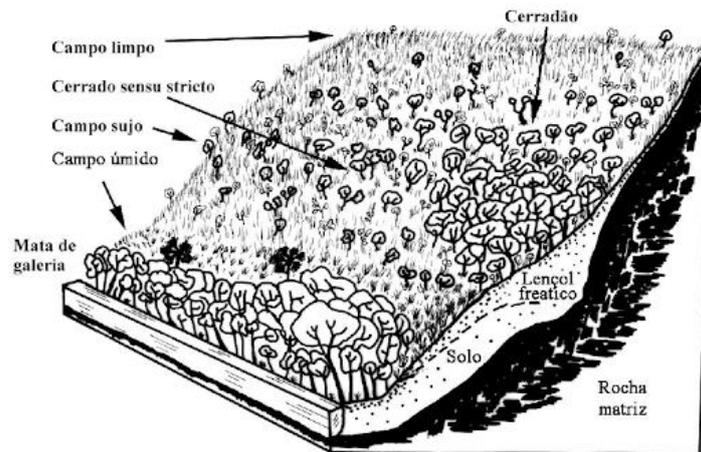


Figura 1.3 - Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado *sensu lato* em relação à profundidade do solo na vertente de um vale (extraído de Henriques 2005).

1.3 INTERAÇÃO DO FOGO E O CERRADO

O fogo é um agente importante no ecossistema do Cerrado desempenhando uma manutenção da biodiversidade do bioma, promovendo uma renovação da vegetação, criando espaço para o crescimento de novas plantas, eliminando acúmulos de matéria orgânica morta e fazendo o controle da disseminação de espécies invasoras (Eiten 1972; Coutinho 1990; Hoffmann *et al.* 1996). Ao longo do século 20 deram início aos estudos pioneiros sobre a relação do fogo com o bioma Cerrado, os questionamentos levantados sobre esta interação era se sua origem se dava a ações antrópicas ou naturais e sua influência na vegetação (Eiten 1972; Coutinho 1990; Hoffmann *et al.* 1996; Salgado-Labouriau 1997). Muitas

espécies de plantas do cerrado desenvolveram adaptações para sobreviver e prosperar, como cascas resistentes ao fogo, sistemas subterrâneos com gemas (tecido que produz células usadas no crescimento da planta) dormentes resultando na rebrota após incêndios, frutos tolerantes às altas temperaturas e sementes que requerem o calor do fogo para germinar e induzir a floração (Coutinho 1978; 1990). Embora o Cerrado demonstre a necessidade do fogo para renovação da vegetação, estudos demonstram que tal agente pode trazer alguns tipos de modificações nas fisionomias do Cerrado, como o trabalho de Coutinho (1990) e Hoffmann (1999) indicando que as fisionomias abertas dos cerrados se protegidas do fogo, aumentam o crescimento de populações de árvores, a densidade e cobertura de lenhosas, permitindo assim o início de um processo de sucessão da vegetação, onde formas fisionômicas mais abertas se tornem mais fechadas como o Cerradão, portanto se pode compreender que o próprio fogo gera a variedade de ambientes encontrados no Cerrado.

O fogo pode ocorrer de forma natural, por relâmpagos por exemplo, embora estes tipos de ocorrência não sejam ainda tão bem documentados, levando a ideia de que todas queimadas são sempre de origem antropogênica. Os indígenas, responsáveis inicialmente pelas queimadas, estabeleceram-se no Cerrado há cerca de 10.000 anos porém pesquisas paleoambientais de sedimentos em lagos, lagoas e veredas, Salgado-Labouriau e Ferraz-Vicentini (1994) concluíram que a ocorrência do fogo no Cerrado existe a mais de 36.000 AP, onde tal bioma apresentava temperaturas e composições vegetais diferente das atuais com árvores de clima mais frio como *Podocarpus*, *Hedyosmum*, *Ilex*, *Symplocos* e Cunoniaceae, a partir do período compreendido entre 1.400 e 1.250 anos AP que as condições climáticas e vegetação se tornaram semelhantes às dos dias atuais com impactos antrópico marcantes apenas nos últimos 200 anos AP. Os focos de queimadas de origem natural se dão de setembro a maio, geralmente ocorrendo nos tipos de fitofisionomias de vegetação mais espaçada, já a vegetação arbórea é mais propensa a incêndios quando se encontra em condições de aridez (Coutinho 1990).

O fogo é uma ferramenta de manejo antiga praticada por grupos indígenas, quilombolas e agricultores familiares, os quais se utilizam das diferentes fitofisionomias do Cerrado (**Figura 1.4**) para o melhor desenvolvimento de suas atividades. Os campos limpos por exemplo são utilizados para pecuária, visto que estes ocorrem em áreas planas e relativamente extensas com vegetação composta majoritariamente de gramíneas que servem de alimento para o gado, na pecuária o manejo do fogo é utilizado para estimular a rebrota do estrato graminóide, que fornecerá alimento para o rebanho de maio a outubro (Lúcio *et al.* 2016). As matas de galeria e os fundos de vale servem para a agricultura, e as florestas e campos para extração de frutos nativos, fibras e madeira, portanto é importante salientar que estas práticas de manejo de fogo são realizadas para a manutenção do ambiente fitofisionômico pré-existente, e não para sua modificação (Lúcio *et al.* 2016).

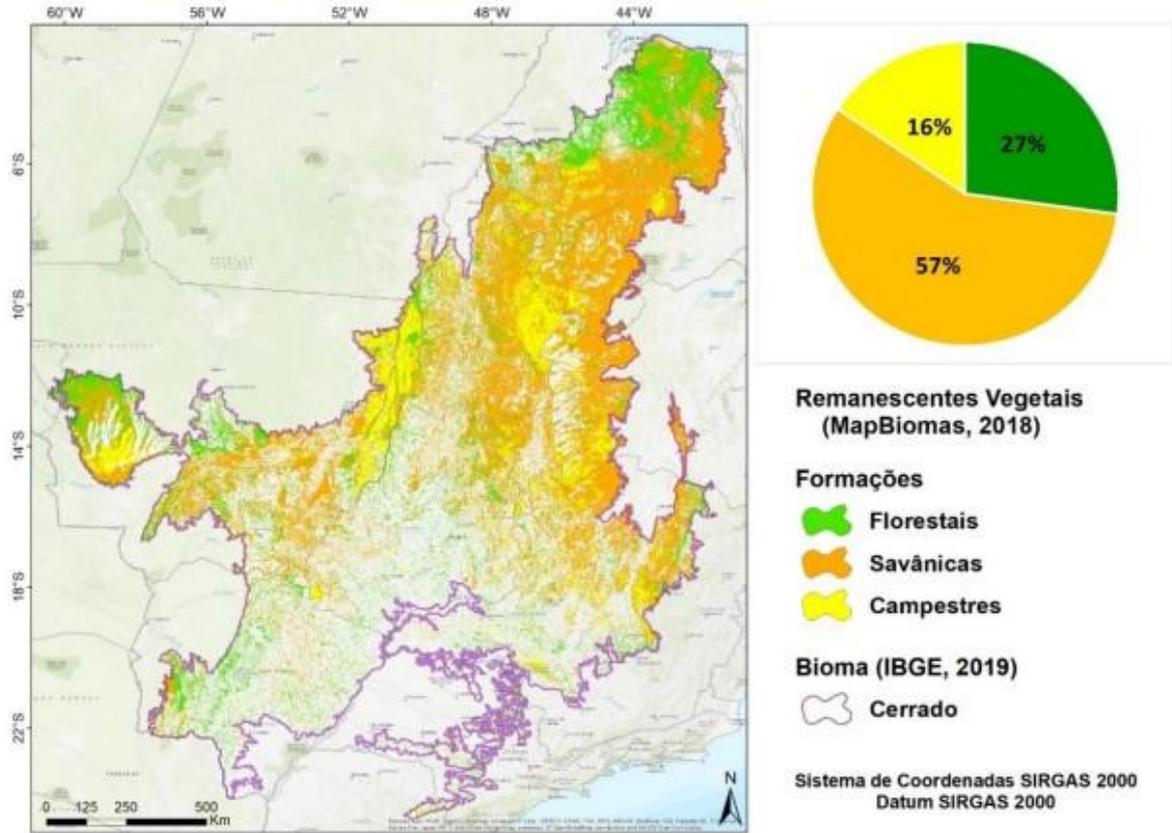


Figura 1.4 - Mapa realizado por Oliveira *et al.* (2020) da cobertura das principais classes naturais remanescentes no bioma Cerrado em 2018 a partir dos dados da coleção 5.0 do MapBiomias.

Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo naturalmente, as queimadas utilizadas para modificação do ambiente sem domínio, a fim de abrir áreas agrícolas extensas causam problemas como perda da biodiversidade, alteração na estrutura dos ecossistemas, perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos e alterações nos próprios regimes naturais do fogo (Miranda 2010). O uso do fogo como ferramenta de manejo ainda é muito discutido na literatura, visto que se tem vários debates sobre os benefícios e malefícios da prática. Há evidências científicas de que as comunidades indígenas e povos tradicionais possuem uma compreensão ancestral de manejo do fogo com resultados benéficos para a proteção da biodiversidade, auxiliando na mitigação das mudanças climáticas e na resiliência ecológica (Coutinho 1990; Eloy 2019). Com os estudos de paleoecologia e de conhecimentos ancestrais a partir das comunidades indígenas e povos tradicionais é possível compreender melhor as interações do fogo com o Cerrado e contribuir com elaborações de políticas para o manejo do fogo, já que este bioma é muito diversificado em seus tipos de fitofisionomias, como por exemplos as veredas e as matas de galeria inundáveis que são classificadas como Áreas de Proteção Permanente pelo Código Florestal Brasileiro o que é importante visto que propiciam uma estabilidade na disponibilidade de água e funcionam como áreas de refúgio para a fauna (Coutinho 1990; Eloy 2019).

1.4 ESTUDO DE FOCOS DE QUEIMADAS NO PASSADO A PARTIR DE REGISTROS DE CARVÃO

Para identificar a ocorrência do fogo no Cerrado no passado, o registro paleoambiental de carvão vegetal é utilizado, a partir da descrição e datação das partículas de carvão, o qual é originado a partir da queima incompleta da vegetação do ambiente, portanto o carvão é um indicador direto da ocorrência de queima de vegetação atual e pretéritas, sendo que o seu estudo tem amplo potencial nas discussões voltadas à evolução dos biomas terrestres (Kauffmann 2009). O carvão vegetal é composto de carbono e tem sua origem a partir da queima de biomassa, resultando em uma substância de coloração negra, sua taxa de acumulação depende da quantidade de biomassa disponível para combustão o que estimula a propagação do fogo e a partir do tamanho das partículas sendo estas microscópicas e/ou macroscópicas se pode saber a magnitude do fogo e se este foi local ou distal, já que as partículas podem percorrer a grandes distâncias e este transporte também interfere na sua morfometria (Clark 1997).

CAPÍTULO 2

LOCALIZAÇÃO

O cerrado se localiza na região central do Brasil, ocupando partes dos estados de Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí (**Figura 2.1**).

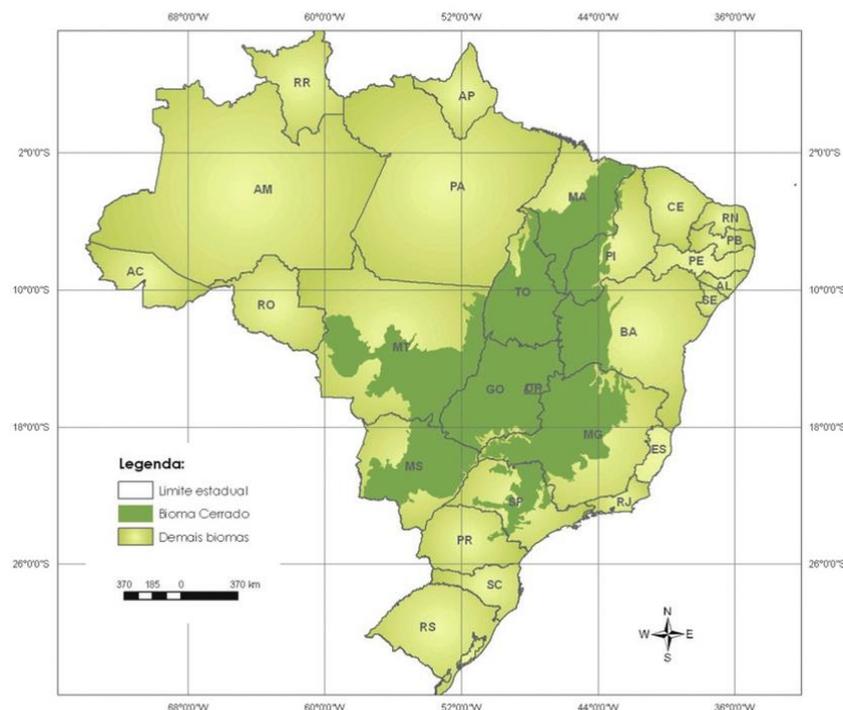


Figura 2.1 - Mapa de localização do Cerrado e demais biomas do Brasil (extraído do Ministério do Meio Ambiente e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2005).

O testemunho coletado para estudo se localiza no Parque Nacional de Brasília (PNB), o qual está situado no Distrito Federal, com uma área de aproximadamente 40.000 hectares (**Figura 2.2**). A área do PNB pertence ao Grupo Paranoá de idade mesoproterozoica, com sequência deposicional de 1.600 m de espessura, com superfície de discordância que o separa do Grupo Araí na base e do Grupo Bambuí no topo (Faria 1995). O Grupo Paranoá apresenta litofácies constituídas principalmente por ardósia na base e metarritmito no topo com intercalações de materiais argilosos, siltosos e arenosos (Freitas-Silva & Campos 1995; 1998). A área de pesquisa é um local de preservação fazendo com que se tenha várias fitofisionomias do bioma Cerrado representadas, sendo estas (**Figura 2.3**): Formação campestre (Campo Limpo, Campo Limpo Úmido, Campo Limpo com Morudum, Campo Sujo e Campo Sujo com Campo Rupestre); Formação savânica (Campo Cerrado, Campo Cerrado com Trembléias e Cerrado sensu-stricto) e Formação florestal (Mata de Galeria e Mata de Interflúvios) (Ferreira 2003), sendo que a vegetação predominante é de Cerrado sensu stricto

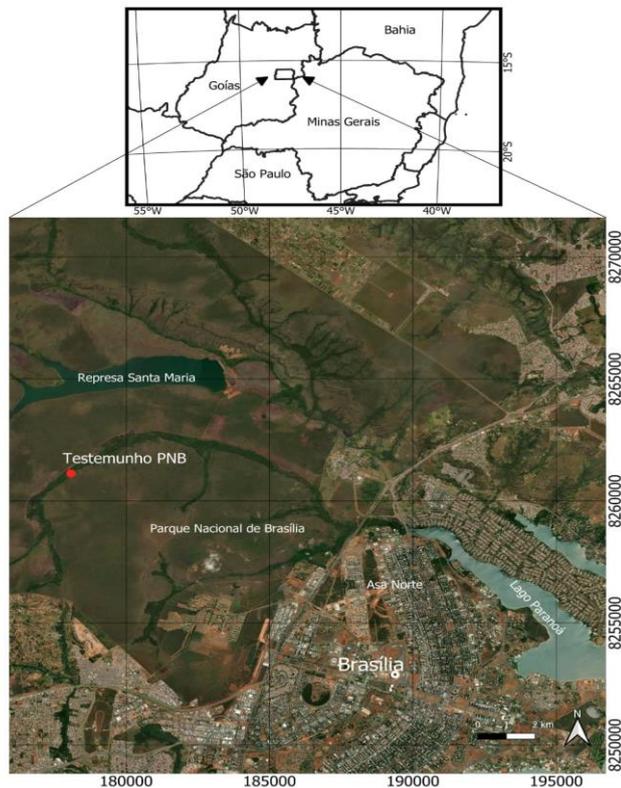


Figura 2.2 - Localização da coleta do testemunho utilizado no estudo a partir de imagem de satélite (Fonte: Google Earth, 2023).

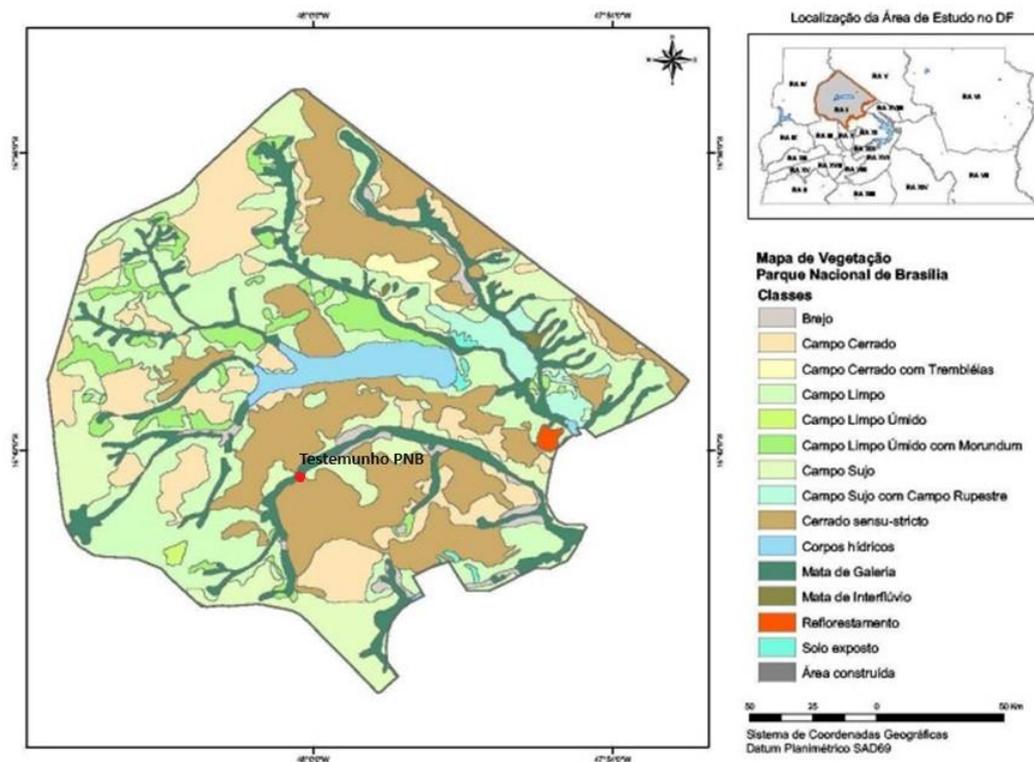


Figura 2.3 - Mapas das fitofisionomias presentes no Parque Nacional de Brasília com o ponto de coleta do testemunho PNB representado no mapa (extraído de Ferreira 2003).

O PNB possui cursos d'água pertencentes às sub-bacias dos Ribeirões do Bananal e do Torto, os quais compõem a Bacia do Rio São Bartolomeu (**Figura 2.3**). Os tipos de solo presentes no parque são latossolos, cambissolos, planossolos, plintossolos e areias quartzosas (Farias *et al.* 2008). O relevo do parque influencia tanto os aspectos do clima quanto os pluviométricos. O PNB apresenta níveis altimétricos que influenciam na pluviosidade (níveis mais altos nas regiões de relevo acentuado) e nas temperaturas, possui caráter seco do ar em consequência da baixa umidade relativa (Farias *et al.* 2008).

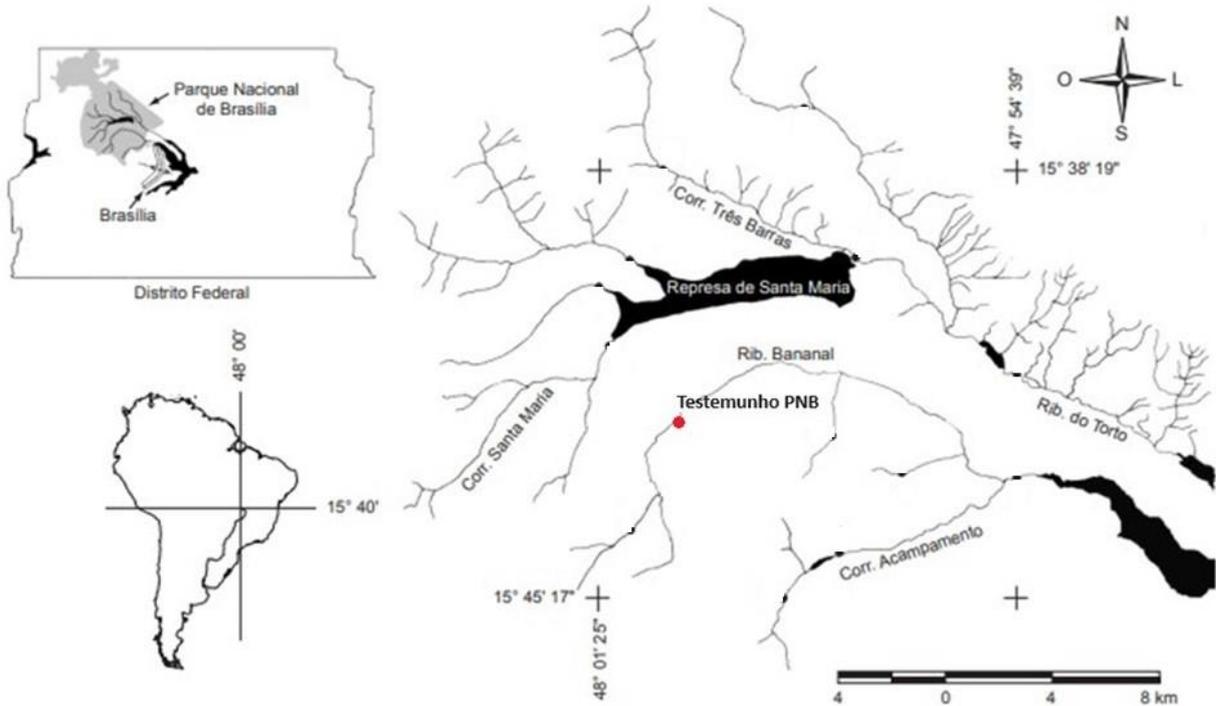


Figura 2.4 - Mapas das sub-bacias do Bananal e Santa Maria/ Tortodo do Parque Nacional de Brasília com amostragens com o ponto de coleta do testemunho PNB representado no mapa (extraído de Aquino *et al.* 2009).

CAPÍTULO 3

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal detectar a ocorrência de fogo no Cerrado ao longo do Holoceno. Por meio da quantificação das partículas de carvão presentes no testemunho do PNB e tratamento estatístico dos dados, determinar a variabilidade de fogos na área de estudo e analisar dados paleoclimáticos com a finalidade de realizar interpretações das interações do clima com as queimadas ao longo Holoceno.

3.1 RELEVÂNCIA

As queimadas na natureza são muitas vezes ligadas a catástrofes, porém no caso do Cerrado, o próprio fogo pode ser um sinônimo de regeneração do ecossistema, trazendo uma renovação da vegetação. Como visto, na literatura ainda há muitas discussões dos benefícios do fogo no Cerrado, como ele age nos diferentes ambientes e na sua vegetação, além da origem das queimadas que também é um tema muito debatido no Brasil, visto que esta pode ser de origem natural ou provocada pelo ser humano. Um dos tópicos mais debatidos é os impactos gerados nesse bioma, sendo vistos pelos órgãos ambientais e florestais do país negativamente, os quais desenvolvem Campanhas de Prevenção e Combate a Incêndios anuais, com o tema Fogo Zero, o que é um equívoco em relação ao Cerrado. É sempre importante a conscientização da sociedade sobre as queimadas nos biomas brasileiros, e até mesmo no Cerrado que necessita do fogo para sua manutenção, porém nesse tipo de bioma a conscientização tem que ser voltada à gestão e o manejo responsável do fogo a fim de que o fogo provocado pelo homem não modifique as características paisagísticas das fitofisionomias representativas do bioma. Compreender melhor esta interação entre o fogo e o Cerrado auxilia no desenvolvimento de melhores estratégias de conservação, manejo sustentável, desenvolvimento agrícola e compreensão das mudanças ambientais nesse bioma importante e diversificado.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um levantamento bibliográfico a partir de assuntos centrais relacionados a origem e evolução das formações savânicas, especificamente o bioma Cerrado, além da interação do fogo com este, a fim de fornecer um embasamento a pesquisa e compreensão das características básicas do ecossistema e a importância do fogo no ciclo de vida e na manutenção do equilíbrio do bioma.

4.2 TRABALHO DE CAMPO

Um testemunho sedimentar de 120 cm de profundidade (**Figura 4.1**) foi coletado, com um testemunhador tipo Russo (**Figura 4.2**), em uma mata de galeria de um pequeno córrego que corta o Parque Nacional de Brasília, localizado no Distrito Federal.

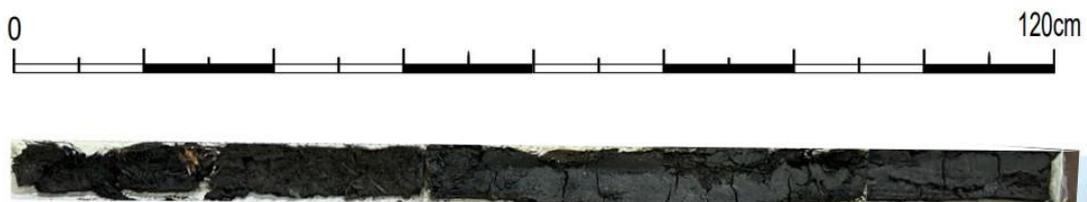


Figura 4.1 - Testemunho com 120 cm de profundidade coletado no Parque Nacional de Brasília

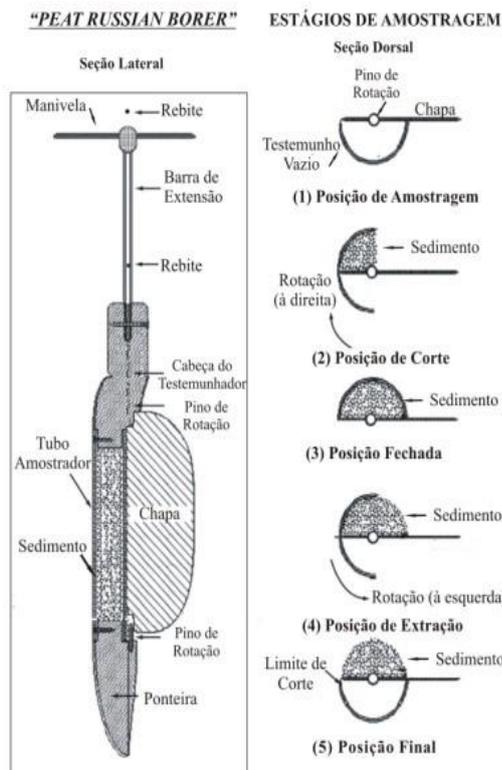


Figura 4.2 - Estrutura do testemunhador e estágios operacionais de amostragem sedimentológica (Adaptado por Souza 2008).

4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

O testemunho sedimentar foi dividido em 120 amostras de 1cm de espessura que foram embaladas e armazenadas sob refrigeração no DEGEO/UFOP. Foram coletados com uma seringa, 1cm³ de sedimento de 100 (1 a 100) das 120 amostras, os quais foram transferidos para frascos plásticos identificados de acordo com o intervalo do testemunho. Em cada frasco, foi adicionado o reagente, composto por aproximadamente 100ml de hipoclorito de sódio (água sanitária) e aproximadamente 10g de hidróxido de potássio (KOH) e as amostras foram deixadas na solução (**Figura 4.3**) por no mínimo 24 horas a fim de descolorir as partículas vegetais não carbonizadas.

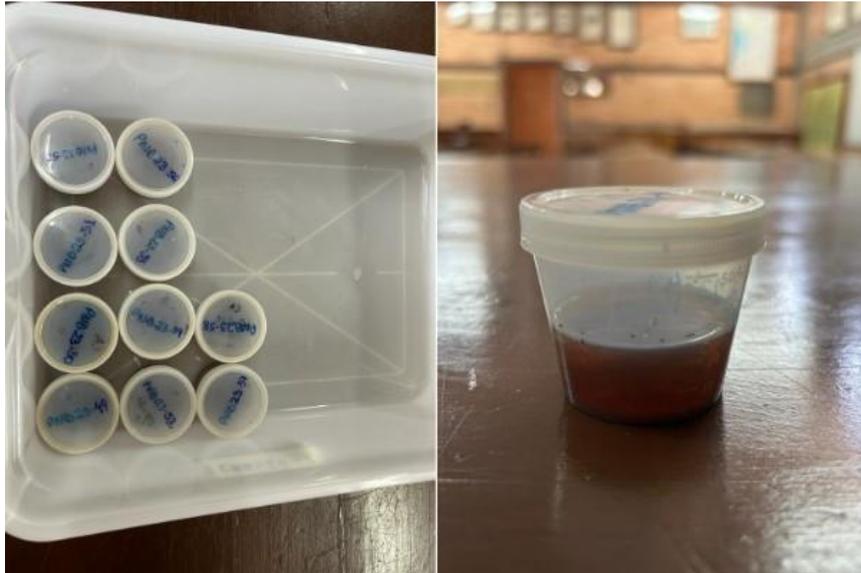


Figura 4.3 - Preparação de amostras com hipoclorito de sódio (água sanitária) e hidróxido de potássio para clareamento da matéria orgânica não carbonizada.

Após esse processo as amostras foram filtradas em uma peneira com malha de $100\mu\text{m}$ (**Figura 4.4**) e secadas delicadamente com a ajuda de um papel toalha. O material retido na peneira foi então levado ao microscópio estereoscópico com aumento de 15X (**Figura 4.5**) para identificação e agrupamento das partículas de carvão para posterior registro fotográfico (**Figura 4.6**).



Figura 4.4 - Filtragem das partículas de carvão.



Figura 4.5 - Microscópio estereoscópico com aumento de 15X para identificação de partículas de carvão.



Figura 4.6 - Registro fotográfico de partículas de carvão identificadas e agrupadas.

4.4 ANÁLISE DAS PARTÍCULAS DE CARVÃO

A análise das partículas de carvão foi realizada através da ferramenta ImageJ (Abràmoff *et al.* 2004). Para cada amostra, foram determinados os seguintes parâmetros: o número de partículas, a área de cada partícula (em cm^2), a área total de carvão na amostra, a razão entre o comprimento e a largura de cada partícula (C/L) e o C/L médio para cada amostra. A partir dos dados obtidos para cada amostra foram calculados: a concentração de carvão (número de partículas de carvão/ cm^2/ano e área de carvão/ cm^2/ano) para todo o perfil, o tamanho médio das partículas, e o C/L médio para todo o perfil.

4.5 RECONSTRUÇÃO DA FREQUÊNCIA DE INCÊNDIOS

Na ausência de datações radiocarbônicas para o testemunhado estudado, a cronologia do perfil foi estimada por meio da análise de dados de datação obtidos de um testemunho de sequência estratigráfica correspondente (Viana 2022) sendo este também coletado no PNB. O furo foi datado por meio de três datações C14 e a partir das datações obtidas por Viana (2022) e considerando uma taxa de sedimentação semelhante para o testemunho estudo neste trabalho, foi estimada uma idade de em 11.500 anos cal AP (antes do presente) para a base do perfil PNB-23, de forma que este testemunho engloba praticamente todo o Holoceno. Na pesquisa consultada para datação do perfil, as amostras foram coletadas em uma região de características semelhantes à deste projeto, além de possuir proximidade geográfica como mostra a **Figura 4.7** (o testemunho de Viana (2022) foi coletado em uma mata de galeria adjacente àquela onde o testemunho PNB-23 foi coletado).

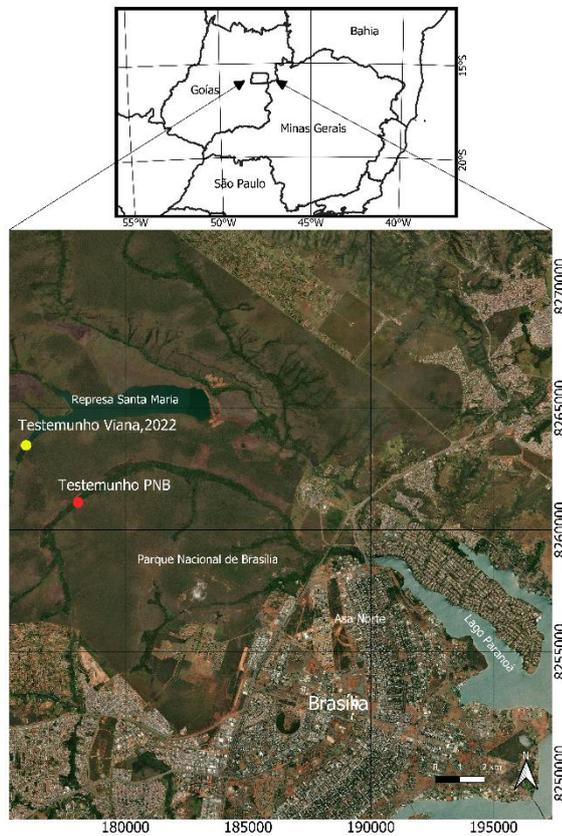


Figura 4.7 - Mapa de localização do testemunho datado de Viana, 2022 e do testemunho PNB23 referente ao presente trabalho

Para analisar a relação entre os dados de influxo de carvão obtidos na amostra coletada no PNB com o clima no período de 12.000 anos foram obtidos dados paleoclimáticos para a região estudada, os quais foram coletados em bancos de dados de trabalhos de outros pesquisadores. Os dados utilizados

para comparação foram provenientes dos seguintes trabalhos: dados de espeleotemas de Lapa Grande (Strikis *et al.* 2011) para analisar o nível de precipitação ao longo do Holoceno, testemunhos de gelo da Antártica também proporcionaram informações sobre a quantidade de CO₂ disposta na atmosfera (Luthi *et al.* 2008) e a temperatura no hemisfério sul (Jouzel *et al.* 2007) e soluções numéricas indicaram a quantidade de insolação de verão da Terra (Laskar *et al.* 2004). A partir do compilado de informações obtidas, estas foram comparadas com os dados adquiridos na análise de carvão do PNB para a interpretação das interações entre fogos, clima e vegetação.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

A partir das datações radiocarbônicas do trabalho de Viana (2022) foi aferida uma idade de 11.500 anos cal AP para a base do testemunho, considerando-se taxas de sedimentação constantes, com média de 0,0078 cm/ano. Foram gerados quatro gráficos (**Figura 5.1**) a partir dos dados coletados ao longo da pesquisa, sendo esses: Número de partículas/cm³, Área total (mm²)/cm³, Tamanho médio das partículas e C/L médio (forma das partículas).

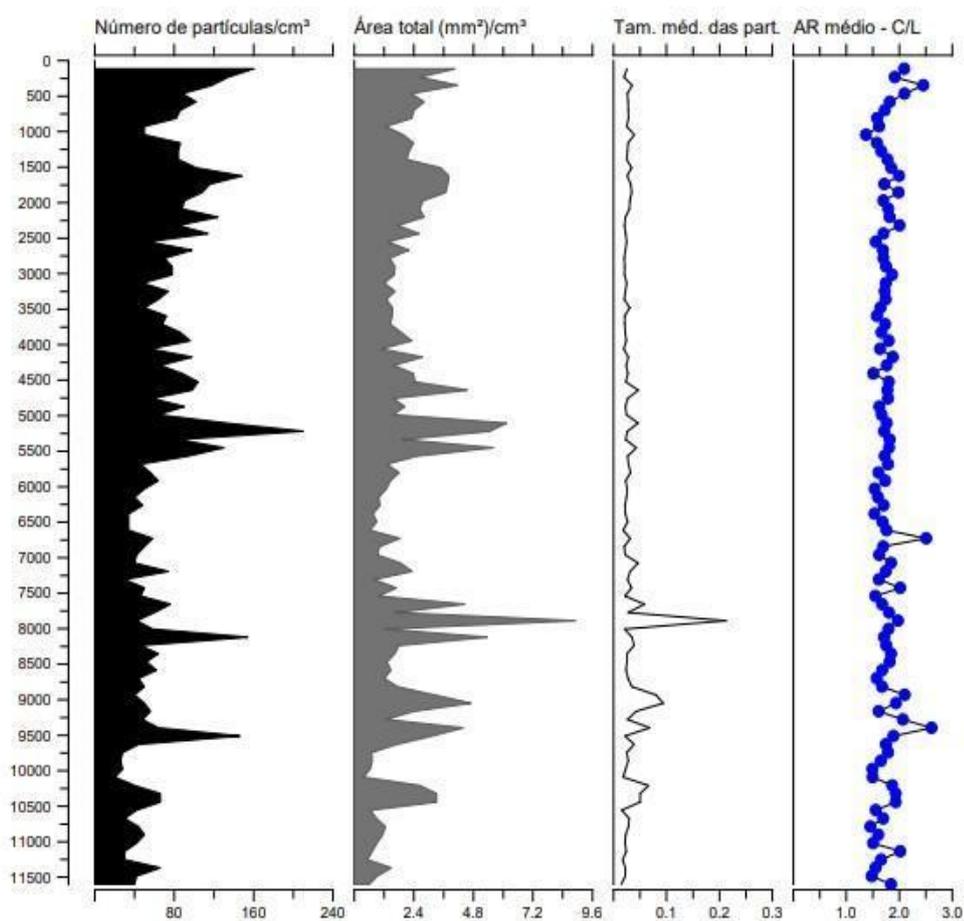


Figura 5.1 - Gráficos gerados no programa C2, sendo o primeiro de Número de partículas/cm³, o segundo de Área total (mm³)/cm³, o terceiro de Tamanho médio das partículas e o último AR médio (forma das partículas), todos eles em relação a idade.

Analisando o primeiro gráfico de Número de partículas/cm³ podemos ver altas quantidades de queimadas área de estudo, sendo evidenciados a partir da grande quantidade de partículas de carvão, estas foram separadas em cinco fases como mostra a **Tabela 5.1**.

Tabela 5.1 - Fases de grandes queimas na área de estudo.

| Fases | Idade | Amostras / Profundidade |
|--------|-------------------------|--|
| Fase 1 | 320-430 anos cal AP | PNB23-3 / 3 cm |
| Fase 2 | 1508-1856 anos cal AP | PNB23-13 / 13 cm PNB23-14 / 14 cm PNB23-15 / 15 cm PNB23-16 / 16 cm |
| Fase 3 | 5104-5568 anos cal AP | PNB23-44 / 44 cm PNB23-45 / 45 cm PNB23-47 / 47 cm |
| Fase 4 | 7900-8200 anos cal AP | PNB23-70 / 70 cm |
| Fase 5 | 10210-10560 anos cal AP | PNB23-88 / 88 cm PNB23-89 / 89 cm PNB23-90 / 90 cm PNB23-91 / 91cm |

A partir dessas fases de queima e o gráfico de Área total de partículas e Tamanho médio das partículas (**Figura 5.2**) identifica-se que nas fases 1, 2, 3 e 4 houve uma queima distante da área de deposição dessas partículas, visto que estas possuem tamanhos muito pequenos com cerca de 0,03 mm, indicando assim um transporte mais longo dessas partículas em relação a sua área fonte até o local de deposição. Na fase 5 já se é possível observar que os fragmentos de carvão são maiores, com cerca de 0,07 mm, indicando pouco transporte das partículas de carvão, ou seja, a queima ocorreu próximo ao local de coleta do testemunho, que no caso é uma mata de galeria. No intervalo da fase 3 há uma queda dos focos de queimadas em torno 5336 anos cal AP já que o número de partículas diminui consideravelmente como se pode observar na **Figura 4.2**, e conseqüentemente a área total e o tamanho médio das partículas também sofrem uma baixa de resultados nesse intervalo. Na idade de 7888 anos Cal AP (**Figura 5.3**), correspondente a amostra PNB23-68 se pode notar um ponto interessante, onde se tem pouquíssimas partículas, porém com uma área muito grande e com tamanho médio das partículas muito mais alto que as demais amostras, e como demonstra a **Figura 5.4**, a amostra possui duas partículas muito grandes em relação às outras, enquanto as partículas de todas as outras amostras variam em torno de 0,02 a 0,03 mm as dessa possuem 1,538 mm e 2,473 mm, os quais são muito destoantes das demais.

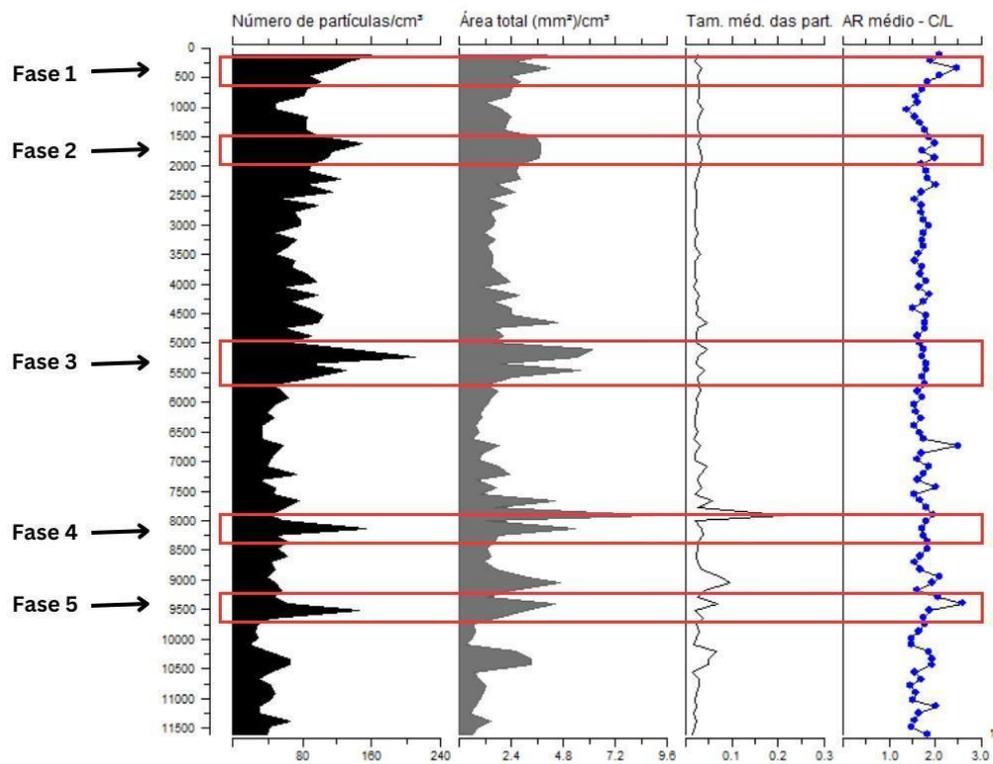


Figura 5.2 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado.

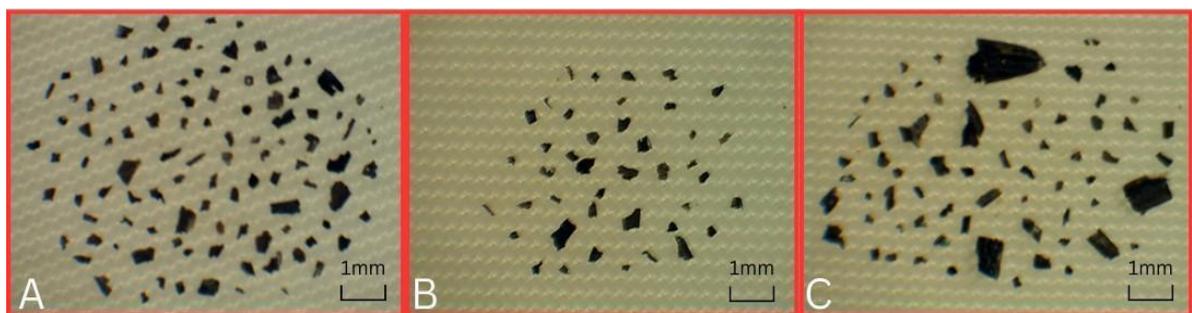


Figura 5.3 - Fotos das amostras de carvão demonstrando uma baixa de acúmulo de partículas da amostra PNB23-46 em relação as amostras PNB23-45 e PNB23-47. A- amostra PNB23-45, B- amostra PNB23-46, C- amostra PNB23-47.



Figura 5.4 - Amostra PNB23-68 com as maiores partículas encontradas entre as 100 amostras analisadas.

No quarto gráfico evidenciado na **Figura 5.5**, a forma das partículas é apresentada com base na relação comprimento/largura (C/L). Nessa métrica, um valor superior a 3,5 (partículas mais alongadas) indica que essas partículas tiveram sua origem pela combustão de agentes não lenhosos, como vegetações herbáceas, por exemplo. Por outro lado, valores inferiores a 2,5 sugerem que o carvão provavelmente teve origem da queima de madeira (Vachula 2021). Os valores de C/L observados ao longo do gráfico (**Figura 5.5**) estão em torno de 2,5 indicando que houve em sua maioria a queima de material lenhoso, porém ao analisar o gráfico de dispersão de C/L por partículas (**Figura 5.6**) é possível identificar alguma queima de vegetação herbácea também, o que é interessante pois correlacionando as informações dos outros gráficos, as quatro primeiras fases apontam que as partículas passaram por um processo de transporte da sua área de deposição. A partir dessa observação é possível dizer que a queima se deu em uma formação florestal por possuir uma maior quantidade de partículas de carvão advindas de material lenhoso, podendo ser uma mata ciliar, mata de galeria, mata seca ou cerradão e pode ter se espalhado para uma formação campestre próxima, por isso a presença de partículas de carvão de origem herbácea. Outra hipótese é de que a ocorrência do fogo pode ter se dado em um cerrado denso o qual faz parte da formação savânica e é composto por uma grande quantidade de vegetação arbórea e o estrato arbustivo-herbáceo é menos adensado.

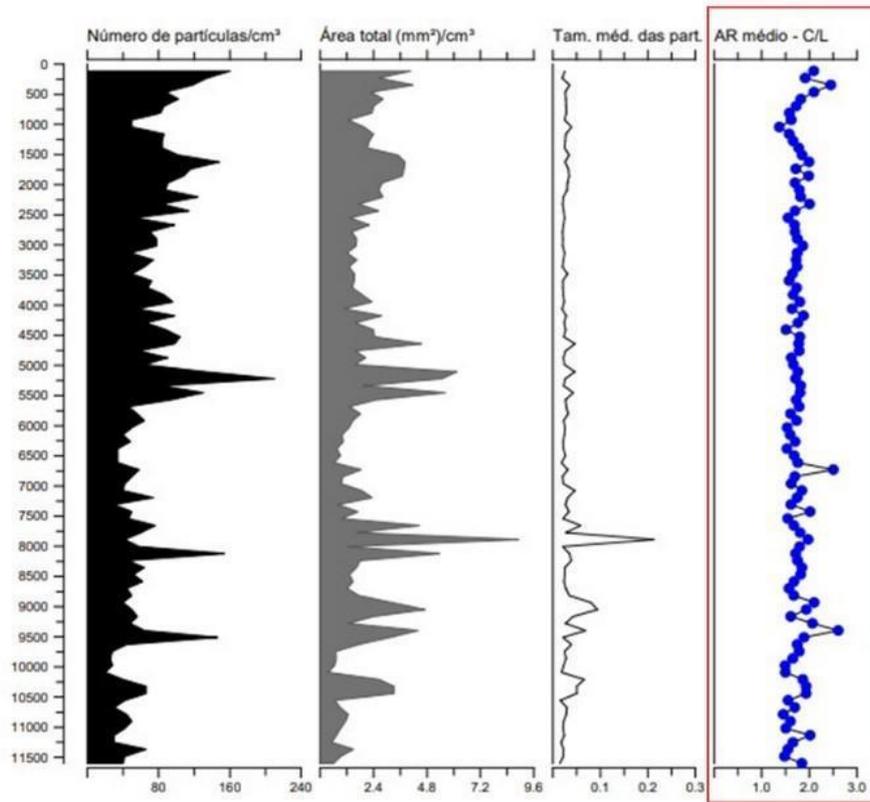


Figura 5.5 - Gráfico com valores médios das formas das partículas (AR médio) em evidência.

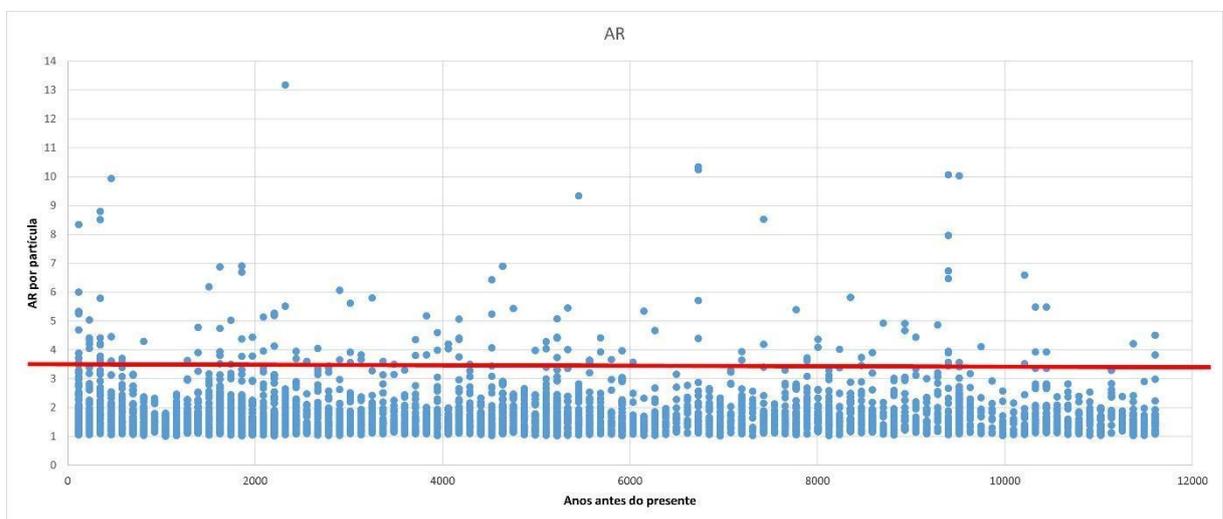


Figura 5.6 - Gráfico de dispersão de AR por partículas, sendo destacado em linha vermelha o valor de a 2,5 que indica o valor limite para origem da queima de madeira.

Por meio de registros de gelo na Antártica é possível extrair informações sobre a concentração de CO₂ na atmosfera, conforme documentado por Luthi *et al.* (2008), assim como informações sobre a temperatura no hemisfério sul, conforme indicado por Jouzel *et al.* (2007). As informações gráficas desses trabalhos foram correlacionadas com os gráficos adquiridos na análise de carvão do PNB (**Figura 6.1**). É possível notar que o nível de CO₂ na atmosfera sofreu um aumento gradativo durante o Holoceno, assim como a temperatura, porém com oscilações. Em torno de 5750 e 9700 anos AP nota-se uma suave queda do nível de CO₂ na atmosfera e da temperatura (**Figura 6.2**) o qual se correlaciona com um intervalo com baixa quantidade de partículas, em torno de 40 partículas/cm³, classificada em Zona 2 (**Figura 6.1**) a qual ultrapassa a quantidade de 80 partículas apenas nas fases 4 e 5 que se destoam nesse extenso intervalo onde se parece que não houve uma grande área de queima em relação a Zona 1 (**Figura 6.1**) na qual se observa o aumento de CO₂ e temperatura no intervalo de 5500 anos AP até o presente demonstrando um aumento de extensão de área queimada, visto que aumenta a quantidade de partículas sendo em torno de 60 partículas/cm³ com focos maiores indicados nas fases 1, 2 e 3 (**Figura 6.1**)

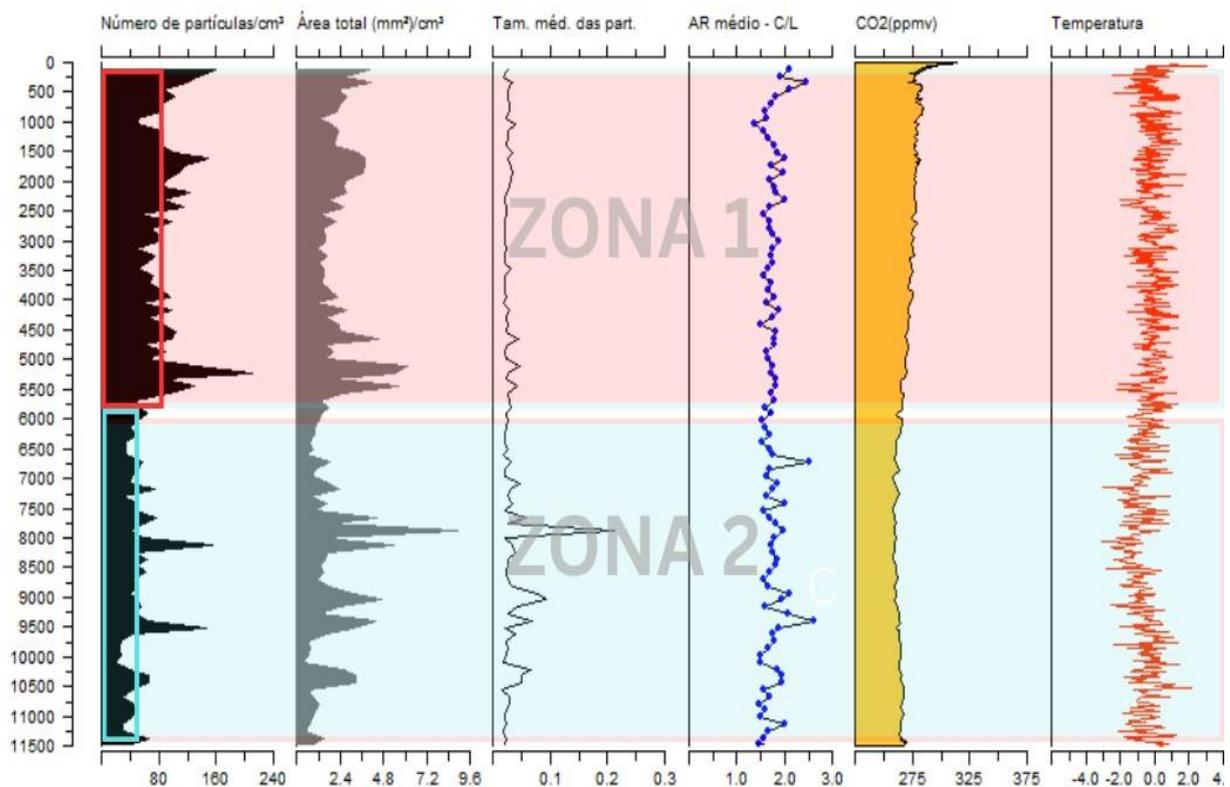


Figura 6.1 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando queimadas no Cerrado correlacionados com gráficos de concentração de CO₂ e temperatura ao longo do Holoceno, sendo o primeiro extraído de Luthi *et al.* (2008) e o segundo de Jouzel *et al.* (2007) demonstrando um aumento de queimadas de acordo com o aumento de concentração de CO₂ e temperatura.

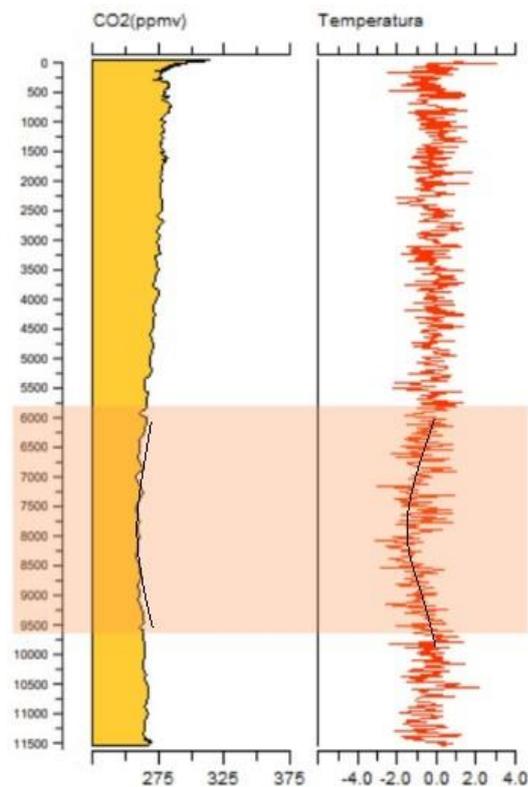


Figura 6.2 - Gráfico de concentração de CO₂ (Luthi *et al.* 2008) e gráfico de temperatura (Jouzel *et al.* 2007) ao longo do Holoceno, sendo evidenciado uma suave queda de nível de CO₂ e de temperatura.

As variações na composição química das estalactites, como a presença de diferentes isótopos ou elementos, podem ser analisadas para inferir informações sobre a quantidade de chuva ou a origem da água que se infiltrou em uma caverna. A proporção dos isótopos ¹⁶O e ¹⁸O é uma ferramenta valiosa para reconstruir informações sobre o clima passado, indicando condições climáticas durante a formação de estalactites nas cavernas. A partir de dados de espeleotemas de Lapa Grande Strikis *et al.* (2011), formulou um gráfico de nível de precipitação ao durante o Holoceno, o qual foi comparado com os dados de carvão do PNB (**Figura 6.3**).

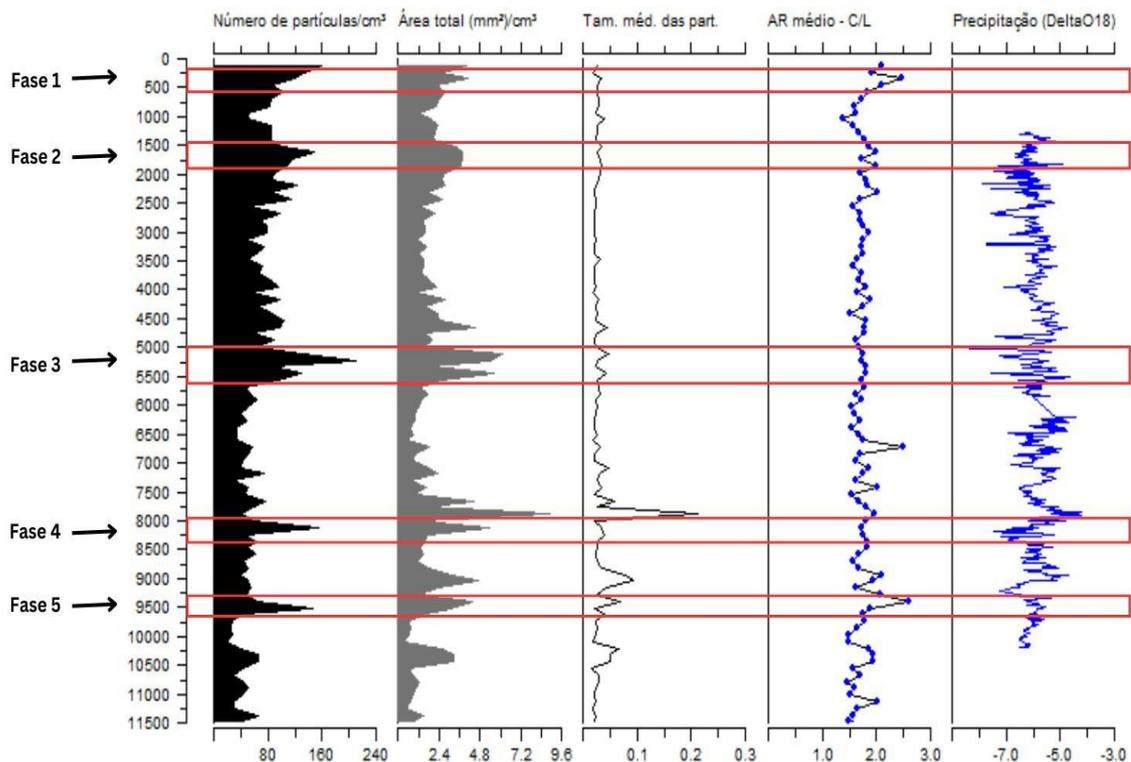


Figura 6.3 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com o gráfico de nível de precipitação ao longo do Holoceno. (Extraído de Strikis *et al.* 2011).

Ao realizar uma análise dos gráficos presentes na **Figura 6.3**, é possível notar que durante as fases 3 e 4 ocorreu um aumento no volume de precipitação. No entanto, mesmo nesses períodos de maior pluviosidade, há evidências de focos de queimadas nas áreas correspondentes as fases 3 e 4 dos gráficos que representam o número e a área de partículas de carvão. Em contraste, nas fases 2 e 5, é perceptível uma redução significativa nos índices pluviométricos, indicando uma diminuição no nível de chuvas nessas etapas específicas das fases analisadas.

Comparando os dados de carvão e as informações sobre a incidência de luz solar na Terra, conforme apresentado na pesquisa de Laskar *et al.* 2004, a análise desses dados resultou na determinação de duas áreas específicas de interesse classificadas em Zona 1 e Zona 2 (**Figura 6.4**) assim como na **Figura 6.1**, na Zona 2 não parece ter ocorrido uma extensa área de queima e a incidência de luz solar na Terra não era alta ao contrário da Zona 1 um aumento significativo de insolação e um aumento na extensão da área queimada com focos mais expressivos nas fases 1, 2 e 3 (**Figura 6.4**).

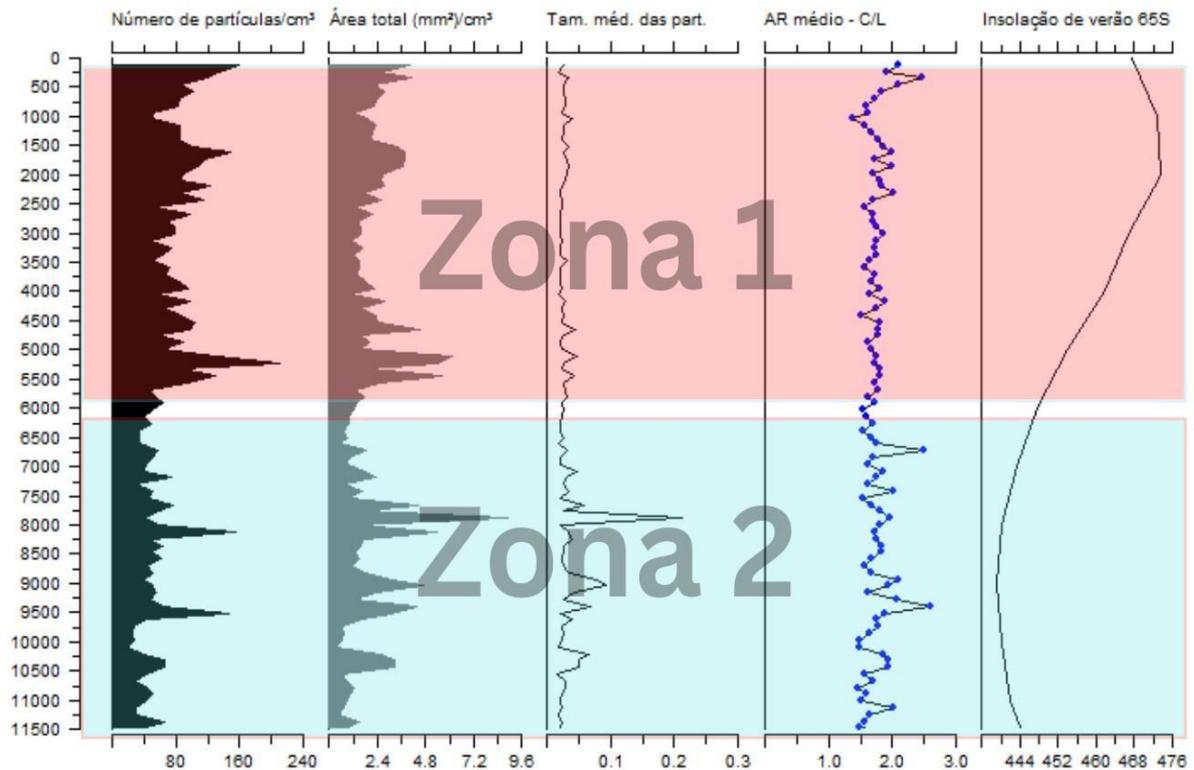


Figura 6.4 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com o gráfico insolação ao longo do Holoceno. (Extraído de Laskar *et al.* 2004).

A partir de dois períodos de interesse (**Figura 5.5**), sendo um deles em torno 5336 anos cal AP o número de partículas e a área total diminui consideravelmente, portanto há uma queda dos focos de queimadas como se pode observar na **Figura 4.2**. Outro período de interesse é em torno da idade de 7888 anos Cal AP correspondente a amostra PNB23-68, nesse pode-se notar que as partículas de carvão possuem grandes dimensões (**Figuras 4.3**), indicando uma deposição muito rápida, portanto que a queima ocorreu na própria área onde as partículas foram depositadas. Porém, o local de deposição é uma mata de galeria, portanto um lugar normalmente úmido, devido à proximidade de corpos d'água. Mas fatores como baixa umidade por conta do baixo nível de precipitação, altas temperaturas e a presença de materiais inflamáveis como material vegetal seco devido a períodos prolongados de seca podem ter tornado as matas de galeria mais suscetíveis a incêndios. Como indicado na **Figura 6.5**, nos períodos 1 e 2 é possível identificar baixo nível pluviométrico e temperaturas mais altas corroborando com a teoria de que o corpo d'água presente na mata de galeria pode ter secado ou diminuído consideravelmente resultando na diminuição da umidade no ambiente.

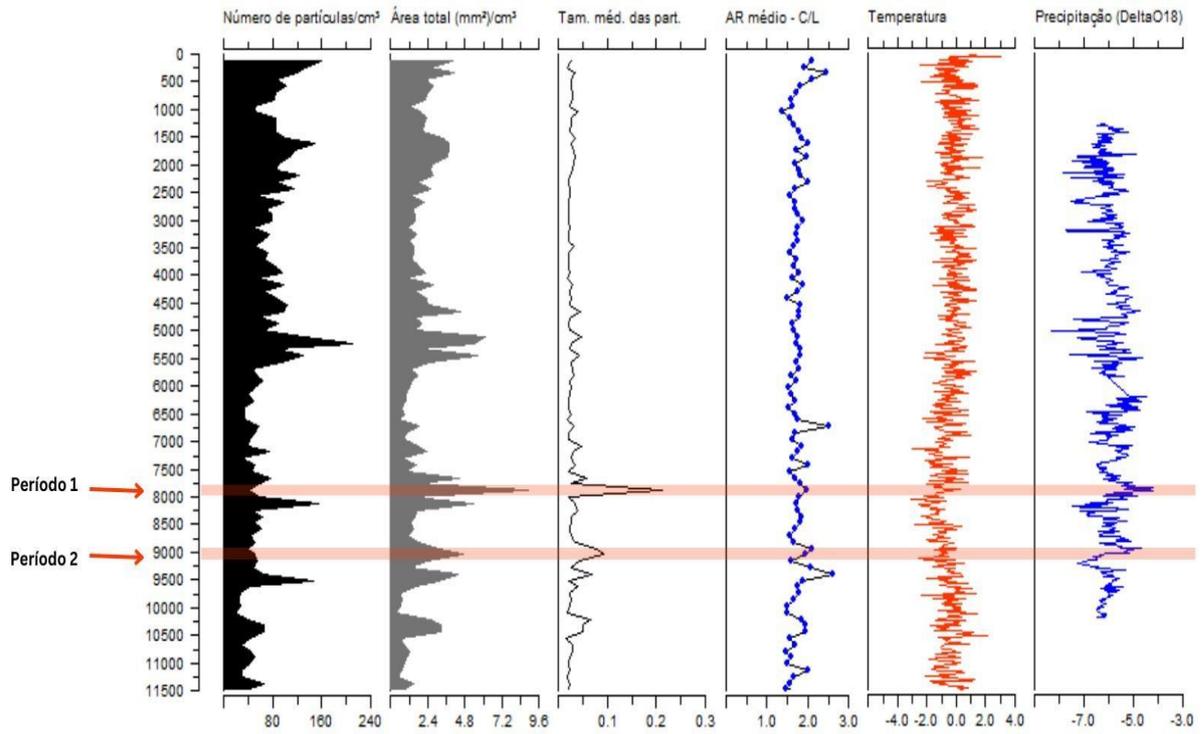


Figura 6.5 - Gráficos gerados no programa C2 de acumulação de carvão indicando pontos focais de queimadas no Cerrado correlacionados com gráficos de temperatura e precipitação ao longo do Holoceno, sendo o primeiro extraído de Jouzel *et al.* (2007) e o segundo de Strikis *et al.* (2011).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Os quatro gráficos gerados no programa C2, abordando Número de partículas/cm³, Área total (mm³) /cm³, Tamanho médio das partículas e Comprimento/Largura médio (forma das partículas), proporcionaram uma visão cronológica detalhada das queimadas na área de estudo ao longo do Holoceno. A análise dos gráficos revelou altos índices de queimadas classificadas em cinco fases distintas ao longo do Holoceno sendo as fontes combustíveis das queimadas majoritariamente de origem lenhosa. Em conjunto com informações de outros trabalhos, observaram-se padrões interessantes para a interpretação das interações das queimadas no Cerrado com fatores paleoclimáticos, como o nível de CO₂ na atmosfera, a temperatura e incidência de luz solar na atmosfera que demonstraram relação com o aumento das queimadas no PNB. Na região onde as partículas foram depositadas, uma mata de galeria, há indícios de queimadas, sendo destacados dois períodos, devido a presença de partículas significativamente grandes, temperaturas elevadas e baixo índice de precipitação (**Figura 6.5**). Esses elementos sugerem a possibilidade de uma estiagem no rio ou uma diminuição em seu volume, resultando em um ambiente mais seco e suscetível à queima. Em resumo, a combinação dos dados paleoclimáticos e ambientais proporcionou uma compreensão abrangente das queimadas na área de estudo ao longo do Holoceno, contribuindo para o entendimento histórico das queimadas e das suas interações com fatores climáticos na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abràmoff, M. D., Magalhães, P. J., Ram, S. J. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics international*, **11 (7)**: 36-42.
- Aquino, P. D. P. U. D., Schneider, M., Silva, M. J. M., Fonseca, C. P., Arakawa, H. B., Cavalcanti, D. R. 2009. Ictiofauna dos córregos do Parque Nacional de Brasília, bacia do Alto Rio Paraná, Distrito Federal, Brasil Central. *Biota Neotropica*, **9**: 218-230.
- Clark, J. S., Patterson III, W. A. 1997. Background and local charcoal in sediments: scales of fire evidence in the paleorecord. In: Clark, J. S., Cachier, H., Goldammer, J. G., Patterson III, W. A. *Sediment records of biomass burning and global change*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 492 p.
- Clark, J. S., Patterson, W.A. 1997. Background and Local Charcoal in Sediments: Scales of Fire Evidence in the Paleorecord. In: Clark, J.S., Cachier, H., Goldammer, J.G., Stocks, B. (eds) *Sediment Records of Biomass Burning and Global Change*. NATO ASI Series, vol 51. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 23-48.
- Coutinho, L. M. 1978. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: I. A temperatura do solo durante as queimadas. *Revista Brasileira de Botânica*, **1**: 93-96.
- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer, J. G. (Ed.). *Fire in the tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. *Ecological Studies*, Berlin: Springer Verlag, **84**: 82-105.
- Da Silva, F. A. M., Assad, E. D., Steinke, E. T., & Müller, A. G. 2008. Clima do bioma Cerrado. *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. Albuquerque, ACS, p. 93-148.
- Eloy, L., Schmidt, I. B., Borges, S. L., Ferreira, M. C., & Dos Santos, T. A. 2019. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. *Ambio*, **48**: 890-899.
- Faria, A. D. 1995. *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás*. Unpublished PhD thesis, Universidade de Brasília, 199 p.
- Farias, M. F. R., Carvalho, A. P. F. D., Martins, E. D. S., Carvalho Júnior, O. A. D., Reatto, A., & Gomes, R. A. T. 2008. *Levantamento de solos do Parque Nacional de Brasília*. EMBRAPA. Escala 1:50.000.

Felfili, J. M., Sousa-Silva, J. C., Scariot, A. 2005. Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado: avanços no conhecimento. *In: Felfili, J. M., Sousa-Silva, J. C., Scariot, A. (ed.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p. 25-44.*

Ferreira, M. E., Sano, E. E., Ferreira, L. G. 2003. Atualização do mapa de vegetação do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado) por meio de imagens orbitais com alta resolução espacial. *X Simpósio Brasileiro de Geografia Física aplicada*, INPE, Rio de Janeiro. **72**: 1250-1274.

Freitas-Silva, F. H., Campos, J. E. G. 1995. Geologia do parque nacional de Brasília-DF. *Boletim de Geociências do Centro-Oeste*, **18 (1/2)**: 32-43.

Henriques, R. P. 2005. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. *In: Felfili, J. M., Sousa-Silva, J. C., Scariot, A. (ed.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p. 73-92.*

Hidrografia. 2006. Banco de dados. Disponível em:

<http://cerrado.museuvirtual.unb.br/index.php/meios/hidrografia>. Acesso em: 15 de set. de 2023.

Hoffmann, W. A. 1999. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology*, **80 (4)**: 1354-1369.

Hoffmann, W. A. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. *Journal of applied ecology*, **35 (3)**: 422-433.

Hoffmann, W. A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of ecology*, **84 (3)**: 383-393.

Jouzel, J., Masson-Delmotte, V., Cattani, O., Dreyfus, G., Falourd, S., Hoffmann, G., ... & Wolff, E. W. 2007. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *science*, **317 (5839)**: 793-796.

Kauffmann, M. 2009. *Fragmentos de carvão (charcoal) como indicativo da ocorrência de incêndios vegetacionais durante o Quaternário do Planalto das Araucárias, Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de mestrado. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, Rio Grande do Sul. 56 p.

Klink, C. A., & Machado, R. B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, **1 (1)**: 147-155.

Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A. C., & Levrard, B. 2004. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy & Astrophysics*, **428 (1)**: 261-285.

- Lúcio, S. L. B., Eloy, L., & Sena, A. C. 2016. As áreas protegidas e o manejo do fogo em sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão (Brasil). *In: Proceedings from the COMBIOSEERVE Conference Community Conservation in Latin America: innovations in research and practice. Conference Proceedings*, v. 1, p. 89-102.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., ... & Stocker, T. F. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *nature*, **453 (7193)**: 379-382.
- Miranda, H. S. 2010. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do projeto Fogo. Brasília-DF, *Ibama*. 144 p.
- Pinheiro, M. H. O. 2010. Formações savânicas mundiais: uma breve descrição fitogeográfica. *Brazilian Geographical Journal*, **1 (2)**: 306-313.
- Ratter, J. A., Ribeiro, J. F. 1996. Biodiversity of the flora of the cerrado. *In: Pereira R.C., Nasser L.C.B. (eds.). Proceedings of the VIII Simpósio sobre o cerrado. 1st International Symposium on Tropical Savannas. EMBRAPA/CPAC. Planaltina, Distrito Federal. Anais*. p. 3-6.
- Reatto, A., Martins, E. D. S. 2005. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. *In: Felfili, J. M., Sousa-Silva, J. C., Scariot, A. (ed.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Ministério do Meio Ambiente*, p. 47-59
- Ribeiro, J. F., Walter, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: Sano, S. M., Almeida, S. P. Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, Distrito Federal*. p. 89-166.
- Silva, G. B. S. D., Betiol, G. M., Sano, E. E. 2008. Análise comparativa de quatro métodos de classificação supervisionada para a discriminação de fitofisionomias de Cerrado. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, **12 (1)**: 3935-3947.
- Souza, S. R., Oliveira, A. D. O. D., Hartmann, C. 2008. Utilização do testemunhador Russian Peat Borer no Saco do Martins e Arraial, estuário da laguna dos Patos: RS, Brasil. *Gravel*, **6 (1)**: 1-13.
- Stríkis, N. M., Cruz, F. W., Cheng, H., Karmann, I., Edwards, R. L., Vuille, M., Auler, A. S. 2011. Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. *Geology*, **39 (11)**: 1075-1078.
- Vachula, R. S., Sae-Lim, J., Li, R. 2021. A critical appraisal of charcoal morphometry as a paleofire fuel type proxy. *Quaternary Science Reviews*, **262**: 106979, 2021
- Viana, C. B. D. O. 2022. *Estudo multi-proxy de um registro de vereda do Parque Nacional de Brasília (DF) com fins de reconstituição do paleoambiente e paleoclima do Brasil Central*. Dissertação de

Oliveira, I.C.A, Compreendendo a evolução do regime de incêndios...

mestrado. PPGGEO Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, Minas Gerais. 95 p.

Webambiente Wiki. Banco de dados. Disponível em:

https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/webambiente/wiki/doku.php?id=webambiente:ff_cerrado_fitofisionomiascerrado. Acesso em: 4 de dez. de 2023.

Whittaker, R. H. (ed.). 1975. Communities and Ecosystems. New York, Macmillan Publishing Co. 385 p.

APÊNDICE(S)

| Amostras | Profundidade (cm) | Idade estimada em anos AP | Partículas | Partículas/c m ³ | Área mm ² | Área (mm ²) /cm ³ | Tamanho médio das partículas (mm ²) | AR |
|----------|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-----------|
| PNB23-1 | 1 | 116 | 80 | 160 | 2,025 | 4,05 | 0,0253125 | 2,0928625 |
| PNB23-2 | 2 | 232 | 67 | 134 | 1,325 | 2,65 | 0,019776119 | 1,9149254 |
| PNB23-3 | 3 | 348 | 59 | 118 | 2,083 | 4,166 | 0,035305085 | 2,4561017 |
| PNB23-4 | 4 | 464 | 44 | 88 | 1,145 | 2,29 | 0,026022727 | 2,0995455 |
| PNB23-5 | 5 | 580 | 51 | 102 | 1,41 | 2,82 | 0,027647059 | 1,8236275 |
| PNB23-6 | 6 | 696 | 43 | 86 | 1,202 | 2,404 | 0,027953488 | 1,7255116 |
| PNB23-7 | 7 | 812 | 41 | 82 | 1,154 | 2,308 | 0,028146341 | 1,5835854 |
| PNB23-8 | 8 | 928 | 25 | 50 | 0,627 | 1,254 | 0,02508 | 1,62256 |
| PNB23-9 | 9 | 1044 | 25 | 50 | 0,986 | 1,972 | 0,03944 | 1,37192 |
| PNB23-10 | 10 | 1160 | 43 | 86 | 1,191 | 2,382 | 0,027697674 | 1,576907 |
| PNB23-11 | 11 | 1276 | 42 | 84 | 1,102 | 2,204 | 0,026238095 | 1,6610714 |
| PNB23-12 | 12 | 1392 | 42 | 84 | 1,05 | 2,1 | 0,025 | 1,7772381 |
| PNB23-13 | 13 | 1508 | 51 | 102 | 1,745 | 3,49 | 0,034215686 | 1,8473137 |
| PNB23-14 | 14 | 1624 | 74 | 148 | 1,902 | 3,804 | 0,025702703 | 1,995527 |
| PNB23-15 | 15 | 1740 | 58 | 116 | 1,885 | 3,77 | 0,0325 | 1,7165345 |
| PNB23-16 | 16 | 1856 | 54 | 108 | 1,844 | 3,688 | 0,034148148 | 1,9887963 |
| PNB23-17 | 17 | 1972 | 45 | 90 | 1,39 | 2,78 | 0,030888889 | 1,7009556 |
| PNB23-18 | 18 | 2088 | 44 | 88 | 1,316 | 2,632 | 0,029909091 | 1,7942045 |
| PNB23-19 | 19 | 2204 | 62 | 124 | 1,403 | 2,806 | 0,022629032 | 1,8210484 |
| PNB23-20 | 20 | 2320 | 42 | 84 | 0,875 | 1,75 | 0,020833333 | 2,0057857 |
| PNB23-21 | 21 | 2436 | 57 | 114 | 1,306 | 2,612 | 0,022912281 | 1,7028421 |
| PNB23-22 | 22 | 2552 | 27 | 54 | 0,672 | 1,344 | 0,024888889 | 1,5554074 |

| Amostras | Profundidade (cm) | Idade estimada em anos AP | Partículas | Partículas/c m ³ | Área mm ² | Área (mm ²) /cm ³ | Tamanho médio das partículas (mm ²) | AR |
|----------|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-----------|
| PNB23-23 | 23 | 2668 | 49 | 98 | 1,098 | 2,196 | 0,022408163 | 1,6918163 |
| PNB23-24 | 24 | 2784 | 35 | 70 | 0,71 | 1,42 | 0,020285714 | 1,7013143 |
| PNB23-25 | 25 | 2900 | 39 | 78 | 0,817 | 1,634 | 0,020948718 | 1,7505128 |
| PNB23-26 | 26 | 3016 | 39 | 78 | 0,804 | 1,608 | 0,020615385 | 1,8677436 |
| PNB23-27 | 27 | 3132 | 24 | 48 | 0,601 | 1,202 | 0,025041667 | 1,7476667 |
| PNB23-28 | 28 | 3248 | 37 | 74 | 0,824 | 1,648 | 0,02227027 | 1,7248378 |
| PNB23-29 | 29 | 3364 | 32 | 64 | 0,646 | 1,292 | 0,0201875 | 1,7437813 |
| PNB23-30 | 30 | 3480 | 25 | 50 | 0,769 | 1,538 | 0,03076 | 1,64436 |
| PNB23-31 | 31 | 3596 | 36 | 72 | 0,765 | 1,53 | 0,02125 | 1,5770278 |
| PNB23-32 | 32 | 3712 | 34 | 68 | 0,724 | 1,448 | 0,021294118 | 1,7335 |
| PNB23-33 | 33 | 3828 | 43 | 86 | 0,946 | 1,892 | 0,022 | 1,6640465 |
| PNB23-34 | 34 | 3944 | 48 | 96 | 1,157 | 2,314 | 0,024104167 | 1,8016458 |
| PNB23-35 | 35 | 4060 | 28 | 56 | 0,542 | 1,084 | 0,019357143 | 1,6360357 |
| PNB23-36 | 36 | 4176 | 49 | 98 | 1,373 | 2,746 | 0,028020408 | 1,8777551 |
| PNB23-37 | 37 | 4292 | 33 | 66 | 0,791 | 1,582 | 0,023969697 | 1,7639091 |
| PNB23-38 | 38 | 4408 | 44 | 88 | 1,19 | 2,38 | 0,027045455 | 1,5086364 |
| PNB23-39 | 39 | 4524 | 52 | 104 | 1,217 | 2,434 | 0,023403846 | 1,8041923 |
| PNB23-40 | 40 | 4640 | 49 | 98 | 2,274 | 4,548 | 0,046408163 | 1,7781633 |
| PNB23-41 | 41 | 4756 | 29 | 58 | 0,791 | 1,582 | 0,027275862 | 1,7887241 |
| PNB23-42 | 42 | 4872 | 45 | 90 | 1,014 | 2,028 | 0,022533333 | 1,6248889 |
| PNB23-43 | 43 | 4988 | 32 | 64 | 0,781 | 1,562 | 0,02440625 | 1,6661875 |
| PNB23-44 | 44 | 5104 | 66 | 132 | 3,068 | 6,136 | 0,046484848 | 1,7627879 |
| PNB23-45 | 45 | 5220 | 105 | 210 | 2,734 | 5,468 | 0,026038095 | 1,7148667 |
| PNB23-46 | 46 | 5336 | 42 | 84 | 0,968 | 1,936 | 0,023047619 | 1,8185238 |
| PNB23-47 | 47 | 5452 | 65 | 130 | 2,805 | 5,61 | 0,043153846 | 1,8050615 |

| Amostras | Profundidade (cm) | Idade estimada em anos AP | Partículas | Partículas/c m ³ | Área mm ² | Área (mm ²) /cm ³ | Tamanho médio das partículas (mm ²) | AR |
|----------|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-----------|
| PNB23-48 | 48 | 5568 | 47 | 94 | 1,254 | 2,508 | 0,026680851 | 1,7245532 |
| PNB23-49 | 49 | 5684 | 23 | 46 | 0,656 | 1,312 | 0,028521739 | 1,7918696 |
| PNB23-50 | 50 | 5800 | 28 | 56 | 0,901 | 1,802 | 0,032178571 | 1,6066786 |
| PNB23-51 | 51 | 5916 | 32 | 64 | 0,728 | 1,456 | 0,02275 | 1,733125 |
| PNB23-52 | 52 | 6032 | 25 | 50 | 0,645 | 1,29 | 0,0258 | 1,5378 |
| PNB23-53 | 53 | 6148 | 20 | 40 | 0,493 | 0,986 | 0,02465 | 1,60045 |
| PNB23-54 | 54 | 6264 | 24 | 48 | 0,513 | 1,026 | 0,021375 | 1,7071667 |
| PNB23-55 | 55 | 6380 | 17 | 34 | 0,378 | 0,756 | 0,02235294 | 1,5301765 |
| PNB23-56 | 56 | 6496 | 17 | 34 | 0,452 | 0,904 | 0,026588235 | 1,6837059 |
| PNB23-57 | 57 | 6612 | 17 | 34 | 0,31 | 0,62 | 0,018235294 | 1,7606471 |
| PNB23-58 | 58 | 6728 | 29 | 58 | 0,921 | 1,842 | 0,031758621 | 2,5074483 |
| PNB23-59 | 59 | 6844 | 25 | 50 | 0,512 | 1,024 | 0,02048 | 1,69592 |
| PNB23-60 | 60 | 6960 | 21 | 42 | 0,463 | 0,926 | 0,022047619 | 1,6191905 |
| PNB23-61 | 61 | 7076 | 20 | 40 | 0,932 | 1,864 | 0,0466 | 1,846 |
| PNB23-62 | 62 | 7192 | 37 | 74 | 1,165 | 2,33 | 0,031486486 | 1,7472432 |
| PNB23-63 | 63 | 7308 | 15 | 30 | 0,397 | 0,794 | 0,026466667 | 1,6144667 |
| PNB23-64 | 64 | 7424 | 25 | 50 | 0,846 | 1,692 | 0,03384 | 2,01748 |
| PNB23-65 | 65 | 7540 | 23 | 46 | 0,493 | 0,986 | 0,021434783 | 1,5489565 |
| PNB23-66 | 66 | 7656 | 38 | 76 | 2,226 | 4,452 | 0,058578947 | 1,6761316 |
| PNB23-67 | 67 | 7772 | 30 | 60 | 0,828 | 1,656 | 0,0276 | 1,8063333 |
| PNB23-68 | 68 | 7888 | 21 | 42 | 4,458 | 8,916 | 0,212285714 | 1,9754286 |
| PNB23-69 | 69 | 8004 | 29 | 58 | 0,619 | 1,238 | 0,021344828 | 1,7997241 |
| PNB23-70 | 70 | 8120 | 77 | 154 | 2,677 | 5,354 | 0,034766234 | 1,7149221 |
| PNB23-71 | 71 | 8236 | 23 | 46 | 0,897 | 1,794 | 0,039 | 1,7565217 |
| PNB23-72 | 72 | 8352 | 32 | 64 | 0,813 | 1,626 | 0,02540625 | 1,8445313 |

| Amostras | Profundidade (cm) | Idade estimada em anos AP | Partículas | Partículas/c m ³ | Área mm ² | Área (mm ²) /cm ³ | Tamanho médio das partículas (mm ²) | AR |
|----------|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-----------|
| PNB23-73 | 73 | 8468 | 26 | 52 | 0,656 | 1,312 | 0,025230769 | 1,8202692 |
| PNB23-74 | 74 | 8584 | 31 | 62 | 0,738 | 1,476 | 0,023806452 | 1,6817742 |
| PNB23-75 | 75 | 8700 | 22 | 44 | 0,604 | 1,208 | 0,027454545 | 1,574 |
| PNB23-76 | 76 | 8816 | 25 | 50 | 0,866 | 1,732 | 0,03464 | 1,675 |
| PNB23-77 | 77 | 8932 | 20 | 40 | 1,6 | 3,2 | 0,08 | 2,1048 |
| PNB23-78 | 78 | 9048 | 25 | 50 | 2,353 | 4,706 | 0,09412 | 1,93912 |
| PNB23-79 | 79 | 9164 | 28 | 56 | 1,193 | 2,386 | 0,042607143 | 1,6102143 |
| PNB23-80 | 80 | 9280 | 24 | 48 | 0,638 | 1,276 | 0,026583333 | 2,0684583 |
| PNB23-81 | 81 | 9396 | 32 | 64 | 2,194 | 4,388 | 0,0685625 | 2,6100938 |
| PNB23-82 | 82 | 9512 | 73 | 146 | 1,564 | 3,128 | 0,021424658 | 1,8929726 |
| PNB23-83 | 83 | 9628 | 22 | 44 | 0,856 | 1,712 | 0,038909091 | 1,7475909 |
| PNB23-84 | 84 | 9744 | 14 | 28 | 0,347 | 0,694 | 0,024785714 | 1,7917143 |
| PNB23-85 | 85 | 9860 | 13 | 26 | 0,362 | 0,724 | 0,027846154 | 1,6556923 |
| PNB23-86 | 86 | 9976 | 14 | 28 | 0,322 | 0,644 | 0,023 | 1,4952143 |
| PNB23-87 | 87 | 10092 | 10 | 20 | 0,181 | 0,362 | 0,0181 | 1,4983 |
| PNB23-88 | 88 | 10208 | 20 | 40 | 1,319 | 2,638 | 0,06595 | 1,86445 |
| PNB23-89 | 89 | 10324 | 33 | 66 | 1,658 | 3,316 | 0,050242424 | 1,932697 |
| PNB23-90 | 90 | 10440 | 33 | 66 | 1,658 | 3,316 | 0,050242424 | 1,932697 |
| PNB23-91 | 91 | 10556 | 21 | 42 | 0,331 | 0,662 | 0,015761905 | 1,557 |
| PNB23-92 | 92 | 10672 | 15 | 30 | 0,447 | 0,894 | 0,0298 | 1,6965333 |
| PNB23-93 | 93 | 10788 | 22 | 44 | 0,627 | 1,254 | 0,0285 | 1,4536364 |
| PNB23-94 | 94 | 10904 | 25 | 50 | 0,568 | 1,136 | 0,02272 | 1,605 |
| PNB23-95 | 95 | 11020 | 21 | 42 | 0,454 | 0,908 | 0,021619048 | 1,5060952 |
| PNB23-96 | 96 | 11136 | 15 | 30 | 0,363 | 0,726 | 0,0242 | 2,0171333 |
| PNB23-97 | 97 | 11252 | 15 | 30 | 0,26 | 0,52 | 0,017333333 | 1,6572 |

| Amostras | Profundidade (cm) | Idade estimada em anos AP | Partículas | Partículas/c m ³ | Área mm ² | Área (mm ²) /cm ³ | Tamanho médio das partículas (mm ²) | AR |
|-----------|-------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-----------|
| PNB23-98 | 98 | 11368 | 33 | 66 | 0,747 | 1,494 | 0,022636364 | 1,5535758 |
| PNB23-99 | 99 | 11484 | 21 | 42 | 0,458 | 0,916 | 0,021809524 | 1,4825238 |
| PNB23-100 | 100 | 11600 | 20 | 40 | 0,3 | 0,6 | 0,015 | 1,84305 |