

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**EFEITOS DA CONCENTRAÇÃO DE *BLACK CARBON* NA
RADIAÇÃO E EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO PANTANAL MATO-
GROSSENSE**

THAMIRIS AMORIM DOS SANTOS

Cuiabá, MT
Março 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**EFEITOS DA CONCENTRAÇÃO DE *BLACK CARBON* NA
RADIAÇÃO E EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO PANTANAL MATO-
GROSSENSE**

THAMIRIS AMORIM DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

PROF. DR. SERGIO ROBERTO DE PAULO
ORIENTADOR

Cuiabá, MT
Março 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D722e dos Santos, Thamiris Amorim.

Efeitos da concentração de Black Carbon Na Radiação e Emissividade Atmosférica do Pantanal Mato-Grossense [recurso eletrônico] / Thamiris Amorim dos Santos. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 62 f., pdf). -- 2024.

Orientador: Sérgio Roberto de Paulo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. sazonalidade. 2. aerossóis. 3. mudanças climáticas. 4. variáveis micrometeorológicas. I. de Paulo, Sérgio Roberto, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITOS DA CONCENTRAÇÃO DE BLACK CARBON NA RADIAÇÃO E EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE

AUTORA: MESTRANDA THAMIRIS AMORIM DOS SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em **31 de JANEIRO de 2024.**

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO (Presidente Banca / **ORIENTADOR**)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

2. Prof. Dr. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal do Pará

3. Prof. Dr. GEISON JADER MELLO (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de Mato Grosso

Cuiabá, 31/01/2024.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 02/02/2024, às 12:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEISON JADER MELLO**, **Usuário Externo**, em 02/02/2024, às 12:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/02/2024, às 14:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael da Silva Palácios**, **Usuário Externo**, em 05/02/2024, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6574286** e o código CRC **2F601BEC**.

DEDICATÓRIA

**A Deus.
A minha família,
e meus amigos
Dedico com muito amor
e carinho**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e sabedoria para realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Roberto de Paulo, pela dedicação, disponibilidade e orientação na execução deste trabalho, pela amizade, apoio e por acreditar em mim.

Agradeço à Professora Iramaia por ser uma pessoa incrível, que me ajudou muito ao longo deste caminho

À minha mãe Edézia minha fortaleza, obrigada pela dedicação em me manter na graduação, mesmo nos momentos difíceis, sempre me encorajou a continuar.

Ao meu querido tio Leone, por me incentivar a entrar na pós-graduação, por sempre estar ao meu lado, me dando atenção e confiança de que eu iria conseguir.

Aos meus irmãos Thomáz, Thaciana e João Gabriel pelo incentivo e carinho desde o início do curso.

À todos da minha família pelas palavras, pelo carinho e todo amor que sempre me passaram.

Ao meu namorado Leonardo, pelo apoio, carinho e paciência, por ter estado sempre ao meu lado, principalmente nas horas difíceis.

À minha amiga Andréa por todo apoio, pelos momentos difíceis que passamos juntas, por ter sempre me impulsionado a crescer na a pós-graduação, quanto na minha vida pessoal.

As minhas amigas Ariany, Jackeline e Carol pelos incentivos, pelas inúmeras ajudas e principalmente pelos ótimos momentos que vivenciamos juntas, sem vocês não teria dias alegres.

Às minhas amigas do mestrado, Amanda, Nivalda, Haline e Rafaelly, agradeço por me incentivarem e inspirarem com suas palavras e apoio diariamente.

Aos amigos André, Fernando, Ian e, principalmente, Luiz Octávio, agradeço por estarem sempre ao meu lado, pelas conversas, parceria e ajuda.

Aos Professores Doutores Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira e José de Souza Nogueira (Paraná) *in memoriam* que me orientaram no Programa Institucional de Bolsas Iniciação Científica, por acreditarem em mim e me darem essa oportunidade única de ingressar no mundo acadêmico.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental por proporcionar o ambiente acadêmico e as condições necessárias para a realização deste estudo.

Minha gratidão ao CNPq e à CAPES pelo financiamento das bolsas e pelo suporte à pesquisa durante o período do mestrado. Seu apoio foi fundamental para o sucesso desta jornada acadêmica.

À Universidade Federal de Mato Grosso e à Faculdade de Engenharia Florestal pela oportunidade da realização da minha graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, meu muito obrigada!

Epígrafes, Frases ou Pensamentos

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Porém o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problemática	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Balanço de Energia	4
2.1.1 Radiação de Ondas Curtas e Radiação de Ondas Longas	6
2.2 Emissividade Atmosférica	7
2.3 Aerossóis.....	8
2.3.1 <i>Black Carbon</i>	11
2.4 Monitoramento de Dados Ambientais	13
2.5 O Pantanal	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área de Estudo	16
3.2 Dados Meteorológicos	17
3.2.1 Torre Micrometeorológica Do Pantanal	17
3.2.2 Saldo Radiômetro CNR4 (CNR4 Net Radiometer).....	17
3.2.3 Concentração de <i>Black Carbon</i>	18
3.2.5 Medidas do Aetalômetro.....	19
3.3 Determinação da Emissividade Atmosférica através da Lei de Stefan-Boltzmann.....	21
3.4 Metodologia	22
3.4.1 Co-espectro.....	22
3.4.2 Regressão Linear	22

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 Focos De queimadas e Uso Consolidado do solo no Pantanal	24
4.2 Variação Temporal da concentração de <i>Black Carbon</i>	25
4.3 Análise do Co-espectro da relação entre <i>Black Carbon</i> e as variáveis micrometeorológicas.....	28
4.4 Relação do <i>Black Carbon</i> com variáveis meteorológicas	29
4.5 Variação da concentração de <i>Black Carbon</i> na Radiação Global, Radiação Líquida e na Emissividade Atmosférica	33
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático do balanço energético global média da Terra. Fonte: Carlesso et al. (2019).....	4
Figura 2: Efeitos climáticos do BC expressos pela forçante radiativa no topo da atmosfera com seus vários impactos climáticos. Temos o efeito direto e indireto do BC, além da alteração do albedo causado pela deposição de BC em áreas com neve e gelo. Fonte: Bond et al., (2013).....	6
Figura 3: Distribuição de tamanho das partículas de aerossol e processos associados à produção e transformação de partículas. Fonte: Seinfelds e Pandis (2006).....	9
Figura 4: Readaptação do diagrama esquemático mostrando os efeitos radiativos dos aerossóis e nos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens. Fonte: IPCC (2007).....	11
Figura 5: Esquema das fontes primárias de emissão de <i>Black carbon</i> . Fonte: Argonne National Laboratory (2014).	12
Figura 6: Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub-Regiões. Fonte: SILVA, J. SANTOS, V. ABDON, M. M, 1998).....	14
Figura 7: Localização Torre Micrometeorológica na Fazenda Baia das Pedras, município de Poconé-MT Fonte: Elaborado pela autora.....	16
Figura 8: Torre Micrometeorológica - Fazenda Baia das Pedras, município de Poconé-MT Fonte: Elaborado pela autora.....	17
Figura 9: Datalogger modelo CR1000 fabricado pela Campbell e Saldo Radiômetro do tipo CNR4 fabricado pela Omni Instruments.Fonte: Omni Instruments (2018).....	18
Figura 10: Base de Pesquisas Avançadas do Pantanal. Fonte: Elaborado pela autora.....	19
Figura 11: Princípio de funcionamento do Aetalômetro modelo AE33, adaptado Magee Scientific (2017).....	20
Figura 12: : Classificação de Uso Consolidado do solo no Pantanal MatoGrossense. Fonte: Elaborado pela autora.....	25
Figura 13: Focos de queimadas na região do Pantanal no território brasileiro no período de 2017 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora.....	25
Figura 14: Variação sazonal da concentração de <i>Black Carbon</i> em relação aos meses e horários nos anos entre 2017 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora.....	26
Figura 15: Médias mensais da concentração do <i>Black Carbon</i> nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora.....	28

Figura 16: Aplicação do Co-espectro na relação das variáveis estudadas: <i>Black Carbon</i> , Radiação Global, Radiação Líquida e Emissividade. Fonte: Elaborado pela autora.....	29
Figura 17: Relação entre a concentração de <i>Black Carbon</i> e R_g para todo o período estudado. Fonte: Elaborado pela autora.....	30
Figura 18: Relação entre a concentração de <i>Black Carbon</i> Emissividade para todo o período estudado. Fonte: Elaborado pela autora.....	32
Figura 19: Relação entre a concentração de <i>Black Carbon</i> e a emissividade atmosférica no mês de setembro/2017 e março/2018. Fonte: Elaborado pela autora.....	33
Figura 20: Variação da concentração de <i>Black Carbon</i> em relação a R_g nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborada pela autora.....	34
Figura 21: Variação da concentração de <i>Black Carbon</i> C em relação a R_n nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborada pela autora.....	35
Figura 22: Variação da concentração de <i>Black Carbon</i> em relação a Emissividade Atmosférica nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborada pela autora.....	35

RESUMO

SANTOS, T. A **EFEITOS DA CONCENTRAÇÃO DE *BLACK CARBON* NA RADIAÇÃO E EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE**. Cuiabá, 2023, 00f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O Pantanal é um dos maiores sistemas alagados do mundo e desempenha um papel significativo na biodiversidade e no ecossistema local. No entanto, o aumento do desmatamento e dos incêndios florestais na região tornou-se uma das principais fontes de emissão de aerossóis atmosféricos na região. O *Black Carbon* é um aerossol que tem a capacidade de absorver a luz solar, contribuindo para o aquecimento da atmosfera e alterando o balanço de radiação Terra-atmosfera. O objetivo da pesquisa foi analisar os efeitos das concentrações do *Black Carbon* (BC) na capacidade de espalhamento e absorção da Radiação Global (Rg), Radiação Líquida (Rn), e Emissividade Atmosférica (E) na região do Pantanal Mato-Grossense. Foram coletados dados de uma torre micrometeorológica, localizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal (BAPP) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), na Fazenda Bahia das Pedras, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) SESC no município de Poconé - MT entre os anos 2017 à 2019. A análise estatística dos dados envolveu a aplicação de regressão linear e o método Co-espectro utilizado para analisar eventos específicos e padrões sazonais. Os resultados apontam para uma influência significativa do *Black Carbon* com concentrações acima de $0,10 \mu\text{m}^3$ sobre as variáveis meteorológicas. Durante o período abordado foi observada uma redução na Rg e Rn, isto tendo como consequência o aquecimento de camadas atmosféricas, também foi verificado que, em altas concentrações o BC faz com que a Emissividade Atmosférica diminua. Na análise do Co-espectro, ocorreu um aumento na influência ou interdependência entre as variáveis no período de 1 ano. A pesquisa mostra a importância de considerar o BC como um componente relevante nas discussões sobre mudanças climáticas e interações entre aerossóis e variáveis micrometeorológicas no Pantanal.

Palavras-chave: sazonalidade, aerossóis, mudanças climáticas, variáveis micrometeorológicas .

ABSTRACT

SANTOS, T. A. **EFFECTS OF *BLACK CARBON* CONCENTRATION ON RADIATION AND ATMOSPHERIC EMISSIVITY IN THE PANTANAL MATO-GROSSENSE.** Cuiabá, 2017, 49f. Dissertation (Masters in Environmental Physics) Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

The Pantanal is one of the largest wetland systems in the world and plays a significant role in local biodiversity and ecosystem. However, the increasing deforestation and wildfires in the region have become one of the main sources of atmospheric aerosol emissions in the area. *Black Carbon* is an aerosol that has the ability to absorb sunlight, contributing to atmospheric warming and altering the Earth-atmosphere radiation balance. The research aimed to analyze the effects of *Black Carbon* (BC) concentrations on the scattering and absorption capacity of Global Radiation (R_g), Net Radiation (R_n), and Atmospheric Emissivity (E) in the Pantanal region of Mato Grosso. Data were collected from a micrometeorological tower located at the Pantanal Research Advanced Base (BAPP) of the Federal University of Mato Grosso (UFMT), on Bahia das Pedras Farm, in the Private Natural Heritage Reserve (RPPN) SESC in the municipality of Poconé - MT between the years 2017 and 2019. Statistical analysis of the data involved the application of linear regression and the Co-spectrum method used to analyze specific events and seasonal patterns. The results indicate a significant influence of *Black Carbon* with concentrations above 0.10 μm^3 on meteorological variables. During the period covered, a reduction in R_g and R_n was observed, resulting in the heating of atmospheric layers. It was also found that at high concentrations, BC causes Atmospheric Emissivity to decrease. In the Co-spectrum analysis, there was an increase in the influence or interdependence between variables over a 1-year period. The research highlights the importance of considering BC as a relevant component in discussions about climate change and interactions between aerosols and micrometeorological variables in the Pantanal.

Keywords: seasonality, aerosols, climate change, micrometeorological variables.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problemática

A atmosfera sofre constantes transformações devido às influências das atividades humanas, e com isso a poluição do ar se torna um desafio. Os aerossóis de origem antropogênica, como o *Black Carbon* (BC), gerados a partir da queima incompleta de combustíveis fósseis, biomassa e biocombustíveis, têm despertado um amplo interesse na comunidade científica e se destacam como uma das áreas de pesquisa ambiental mais proeminentes. Isso se deve aos impactos significativos que o BC tem tanto no clima quanto na saúde humana, embora ainda haja incertezas na quantificação de seus efeitos. Após o dióxido de carbono (CO₂), o BC se destaca como o segundo maior contribuinte para o aquecimento global. Devido à sua capacidade de absorver intensamente a radiação solar, ele aquece a atmosfera e, ao mesmo tempo, reduz a quantidade de radiação solar que atinge o solo, resultando em alterações no balanço de radiação do sistema terra-atmosfera.

A interação dos aerossóis com a radiação solar causa uma forçante climática negativa, conhecida como Efeito Direto dos Aerossóis. Isso resulta em uma atmosfera mais estável e seca, com o aquecimento das camadas atmosféricas como consequência.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), estima-se que as emissões globais anuais de BC, são de aproximadamente 8 Tg ano⁻¹ e contribuiu com 0,2-0,4 Wm⁻² para o forçamento radiativo. Por ter um tempo de vida atmosférico relativamente curto (cerca de 7 dias), as variações espaço-temporais das concentrações das partículas de BC dependem consideravelmente das fontes de emissão e das condições meteorológicas do local, e esses dois processos variam muito dependendo da região.

No Brasil, a principal origem dos aerossóis de origem humana está relacionada às emissões resultantes da prática agrícola amplamente adotada, com a queima da biomassa. No Pantanal durante os meses da estação seca, especialmente entre agosto e outubro, a ocorrência de queimadas se intensifica. Isso resulta na formação de extensas áreas de fumaça que se estendem por milhões de quilômetros quadrados, cobrindo grande parte do território brasileiro e da América do Sul.

As emissões no Pantanal devido à queima de biomassa podem impactar os fluxos radiativos, modificando a dinâmica do ecossistema. Dependendo da carga de aerossóis na atmosfera e das propriedades ópticas dessas partículas, a quantidade de radiação solar difusa pode aumentar, resultando em maior eficiência no processo de fotossíntese e maior fixação de carbono. Porém, se a emissão apresentar fortes propriedades absorptivas a ponto de impedir que

a radiação chegue à superfície, o processo de fotossíntese pode ser interrompido, gerando um déficit na fixação de carbono.

1.2 Justificativa

O Pantanal localiza-se no centro da América do Sul, conhecido como a maior floresta alagável do mundo, possui uma rica biodiversidade de fauna e flora, é uma região de enorme importância ecológica e socioeconômica, que se destaca pela sua biodiversidade e pelo seu regime hidrológico peculiar (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007). Ele foi reconhecido como patrimônio nacional pela Constituição Federal Brasileira de 1988 e patrimônio mundial pela Unesco em 2000.

Atualmente, o bioma vive uma das fases mais críticas de degradação ambiental. A expansão do agronegócio e a mudança de uso da terra para produção agrícola e pecuária trouxeram como consequência o aumento do desmatamento em decorrência aos incêndios florestais. Essa degradação é diretamente responsável pelo aumento das concentrações de aerossóis de origem humana. Isto tem o potencial de provocar mudanças na composição atmosférica, resultando em um desequilíbrio no balanço de radiação. Essa alteração contribui para modificações na temperatura, no ciclo hidrológico, nas interações entre a biosfera e a atmosfera na região. na estabilidade atmosférica e, conseqüentemente, tem o potencial de afetar o clima regional.

O Pantanal é alvo de diversas pesquisas devido à sua importância biológica, ecológica e climática. No entanto, é necessário analisar a interação dos aerossóis atmosféricos com a radiação solar nessa região. Durante as queimadas, de maio a outubro, a concentração BC aumenta, o que é essencial para entender a dinâmica atmosférica local.

Nesta pesquisa, buscamos analisar as interações entre o *Black Carbon* atmosférico, a Radiação Global, a Radiação Líquida e a Emissividade Atmosférica do Pantanal Mato-Grossense.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos do *Black Carbon* na Radiação Global (R_g), Radiação Líquida (R_n) e Emissividade Atmosférica do Pantanal Mato-Grossense.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar se o BC diminui a radiação global e radiação líquida devido a absorção e espalhamento;
- Examinar os impactos do BC na emissividade atmosférica quando há grandes concentrações do aerossol no Pantanal Mato-Grossense;
- Identificar a escala temporal em que as concentrações de BC apresentam correlações significativas com variáveis específicas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Balanço de Energia

A atmosfera desempenha um papel muito importante nesse processo, controlando a entrada e a saída da radiação (Figura 1). Quando a radiação solar atravessa a atmosfera terrestre e interage com seus constituintes, sofre mudanças na quantidade, na qualidade e na direção dos raios solares (CETESB, 2022). A quantidade de energia solar média incidente sobre o planeta Terra por segundo é de aproximadamente 340 Wm^{-2} por unidade de área, com uma incerteza de Wm^{-2} .

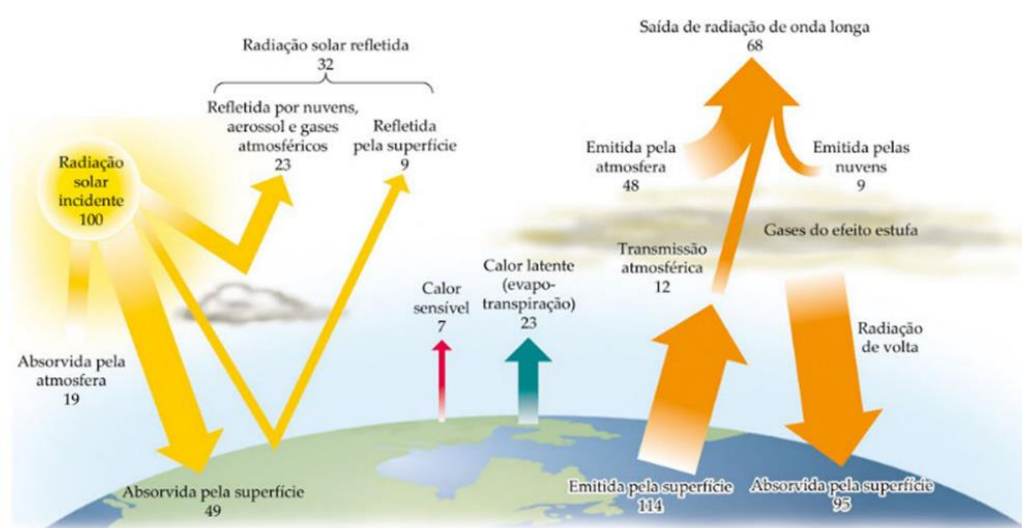


Figura 1: Diagrama esquemático do balanço energético global média da Terra. Fonte: Carlesso et al. (2019).

Ao atingir a superfície do solo, parte desta radiação é absorvida e parte é refletida, constituindo assim o “balanço de ondas curtas”. Ao receber a radiação solar, a superfície do solo irá se aquecer, portanto, emitirá radiação à atmosfera, obedecendo a lei de Stefan-Boltzmann, a qual por sua vez também emitirá radiação, constituindo assim o “balanço de ondas longas” (SILVA, 2021). Segundo Seinfeld e Pandis 2006, a irradiância solar incidente no topo da atmosfera é de aproximadamente 342 Wm^{-2} , desse total, uma fração (cerca de 30%) é refletida de volta para o espaço e o restante é absorvida pelo sistema terra-atmosfera.

A superfície terrestre transfere a maior parte desta radiação incidente para atmosfera pelo fluxo de calor latente e sensível, e pela emissão de ondas longas (comprimentos de onda no infravermelho próximo). Essa energia é irradiada para a superfície e para o espaço por

nuvens, gases e partículas presentes na atmosfera de forma a que se mantenha o equilíbrio do balanço radiativo terrestre (TRENBERTH et al., 2009).

Os fatores antrópicos resultam no aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, que é responsável pela diminuição na quantidade de radiação térmica que é reemitida de volta para o espaço para o fator antrópico (FORSTER et al., 2007). As elevadas concentrações de aerossóis também possuem impacto fundamental no balanço radiativo terrestre. Pode ser avaliada em termos de uma grandeza que é medida em relação ao balanço radiativo do sistema Terra-Atmosfera em que é influenciado por perturbações externas denominada de forçante radiativa (FORSTER et al., 2007). Segundo o relatório do IPCC é definido o conceito de forçante radiativa como a diferença na irradiância líquida no topo da atmosfera entre um estado perturbado e de referência, em que o estado de referência pode ser o impacto em uma dada época ou situação como exemplo, a Revolução Industrial em 1750 que foi o adotado pelo IPCC ou ausência de agente climático (SAMSET et al., 2013).

A Figura 2 apresenta as estimativas das forçantes radiativas para o ano de 2011 em comparação com 1750, conforme indicado no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) de 2013. Destaca-se que as forçantes radiativas dos aerossóis (com exceção do BC) são negativas, ou seja, tem efeito de resfriamento do planeta. Vale notar que os efeitos locais dessas partículas podem atingir valores substanciais, alcançando até centenas de Wm^{-2} , especialmente em áreas próximas às fontes de emissão de partículas. A alteração do albedo da superfície também desempenha um papel crucial, contribuindo para o resfriamento do sistema. Em contraste, os gases de efeito estufa, de modo geral, promovem o aquecimento (GARCÍA et al., 2012).

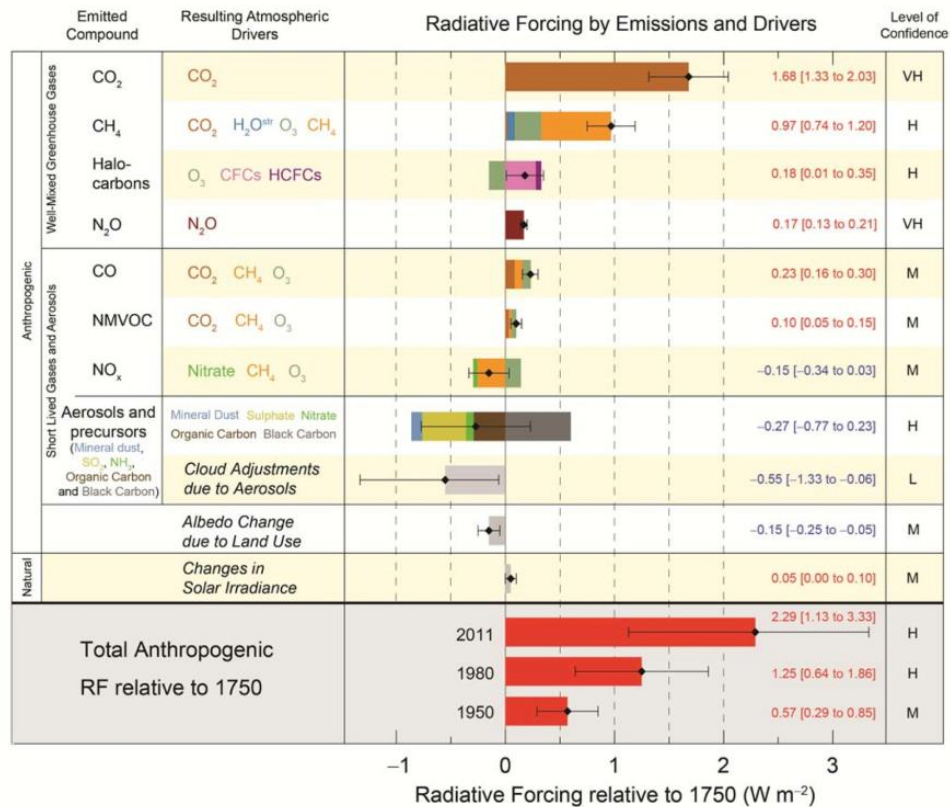


Figura 2: Efeitos climáticos do BC expressos pela forçante radiativa no topo da atmosfera com seus vários impactos climáticos. Temos o efeito direto e indireto do BC, além da alteração do albedo causado pela deposição de BC em áreas com neve e gelo. Fonte: Bond et al., (2013).

2.1.1 Radiação de Ondas Curtas e Radiação de Ondas Longas

A radiação de ondas longas é o fluxo de energia radiante emitida pela atmosfera em direção à superfície terrestre e pela superfície em direção à atmosfera. A faixa de emissão fica em torno de 4,0-100,0 μm . A radiação de ondas longas é uma componente chave no balanço de energia que depende criticamente de boas estimativas dessa componente (SILVA, 2021). Segundo Silva (2021) esses modelos variam em sofisticação, sendo alguns deles baseados na teoria de transferência radiativa de propagação de ondas longas e a maioria formulações empíricas simples, tanto para céu claro quanto para céu nublado. Os modelos empíricos, no entanto, tendem a ser menos aplicáveis ao passo que os baseados fisicamente são mais facilmente adaptáveis às características locais (Ångström (1915), Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert, 1975, Prata, 1996, Crawford e Duchon (1999)).

De acordo com MARTINS (2012) a Radiação Global (R_g) ($K\downarrow$) (Equação 2), a qual consiste principalmente em radiação de onda curta, R_g normalmente refere-se à radiação solar que atinge a superfície da Terra, e essa radiação é principalmente de onda curta, o que significa

que possui um comprimento de onda mais curto, tem parte do seu fluxo difundido pela atmosfera e atinge a superfície na forma de radiação difusa ou de céu (R_c). Outra parte do seu fluxo chega diretamente à superfície e é denominada de radiação direta (R_d). A $K_{\downarrow}$ pode ser medida por meio de um piranômetro.

$$K_{\downarrow} = R_d + R_c \quad (\text{Equação 1})$$

Para a contabilização do balanço de ondas curtas (Equação 3) tem-se então a diferença entre a radiação global incidente na superfície e a parte refletida pela superfície ($K_{\uparrow}$) que é igual ao produto de $K_{\downarrow}$ pelo α .

$$B_{oc} = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} \quad (\text{Equação 2})$$

2.2 Emissividade Atmosférica

A emissividade é uma propriedade fundamental que descreve a capacidade de uma superfície em emitir energia radiante. Pode ser definida como a razão entre a energia radiante emitida por uma superfície real e a energia radiante emitida por um corpo negro, que é um objeto ideal que emite a máxima quantidade de radiação possível em função de sua temperatura (PERIN, 2009).

A fórmula que descreve a emissividade (E_s) é a seguinte:

$$\text{Emissividade (E)} = \frac{\text{Energia emitida pela superfície real}}{\text{Energia emitida pelo corpo negro}}$$

A emissividade varia de 0 a 1, sendo 0 indicativo de uma superfície perfeitamente refletora que não emite radiação e 1 indicativo de uma superfície perfeitamente emissora que emite toda a radiação que seria emitida por um corpo negro à mesma temperatura.

É importante notar que a emissividade pode depender de vários fatores, incluindo a temperatura da superfície, o comprimento de onda da energia emitida e o ângulo de emissão. Normalmente, a emissividade é medida experimentalmente na direção normal da superfície (ângulo de emissão de 0 graus) e como função do comprimento de onda, uma vez que diferentes superfícies podem ter emissividades diferentes em relação ao comprimento de onda. Para calcular a potência total radiante emitida por uma superfície, é necessário considerar todas as direções e comprimentos de onda. Isso envolve integrar a emissividade em relação ao ângulo de emissão e ao comprimento de onda para obter a radiação total emitida. A emissividade é uma consideração importante em diversas aplicações, como a análise de transferência de calor,

design de sistemas de aquecimento e resfriamento, e muitos outros campos relacionados à emissão de radiação térmica (PERIN, 2009).

Para Curado (2011) a Lei de Stefan-Boltzmann a energia emitida por uma superfície natural depende da sua temperatura e de sua emissividade, sendo essa última, um índice que define a capacidade de emissão de uma superfície, que é calculada pela razão entre a energia emitida pela superfície e a energia absorvida por ela. O valor da emissividade varia de 0 a 1, sendo o valor zero um indicador que a superfície não emite radiação, e o valor 1 indicando que toda energia absorvida é reemitida (Corpo Negro).

$$R = \epsilon_c \sigma T^4 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

R: energia emitida por unidade de área e unidade de tempo (W.m^{-2})

ϵ_c : emissividade do corpo que emite a radiação (adimensional)

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($\text{Wm}^{-2} \text{K}_4$)

T: temperatura da superfície emissora (K)

A equação 4 é muito importante por ser a primeira formulação que descreve o comportamento da emissão dos corpos e nos chama atenção para a relação entre absorção e emissão de radiação. Fazendo a razão entre a energia emitida pela superfície e a energia emitida por um corpo negro tem-se a emissividade da superfície, conforme

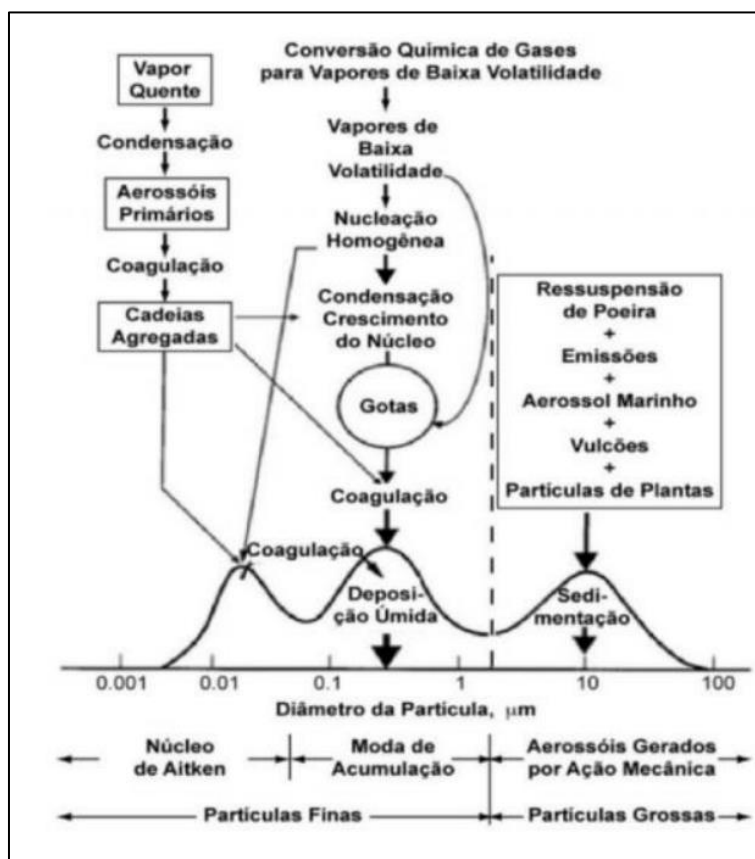
$$\epsilon_c = \frac{R}{\sigma T^4} \quad (\text{Equação 4})$$

2.3 Aerossóis

No Brasil, a principal fonte de gases de efeito estufa e aerossóis antrópicos é a queima de biomassa, utilizada como prática agrícola ou na mudança da cobertura do solo (CORREIA et al., 2021). Como técnica agrícola, as queimadas são empregadas no combate de pragas e na limpeza de lavouras com objetivo de facilitar a colheita, como no caso do cultivo da cana de açúcar. O uso de queimadas para alteração do uso do solo é observado especialmente na região amazônica (COSTA et al., 2014). Os aerossóis podem ser definidos como colóides compostos

por finas partículas sólidas e gotículas de líquidos suspensas na atmosfera. São de diferentes tamanhos, formas, composições químicas e propriedades físicas, provenientes de fontes naturais, como poeira transportada pelo vento, pulverização do mar, emissões vulcânicas e biogênicas, e de atividades antropogênicas como a combustão de combustíveis e a emissão de queimadas (SEINFELD e PANDIS, 2006). Os aerossóis podem ser denominados como primários, pois são emitidos diretamente como partículas, podendo também ser produzidos na atmosfera livre pelo processo de conversão de partículas topográficas de gases, sendo assim denominados como aerossóis secundários (POSCHL et al., 2010; MARTIN et al., 2010).

O tamanho das partículas de aerossóis varia de algumas dezenas de angstroms a várias centenas de micrometros e são classificadas de acordo com o seu diâmetro (D_p). As partículas com diâmetro menor que $2,5\ \mu\text{m}$ são classificadas como “moda fina” já aquelas com diâmetro entre $2,5\ \mu\text{m}$ e $10\ \mu\text{m}$ são referidas como “moda grossa” (Figura 3). As partículas de aerossóis podem ser removidas da atmosfera por dois mecanismos: a deposição seca e a deposição úmida. Na deposição seca, são removidas por absorção na superfície do solo, água ou vegetação, sem a presença de precipitação, na deposição úmida ocorre a incorporação das partículas em gotículas de nuvens durante a formação da precipitação (SEINFELD e PANDIS, 2006).



Os aerossóis atmosféricos influenciam fortemente o clima global, assim, diretamente alteram o balanço de radiação do sistema terra-atmosfera absorvendo e espalhando tanto a radiação solar quanto a terrestre (COSTA et al., 2014). De forma indireta agem como núcleo de condensação de nuvens (NCN), alterando o seu tempo de residência, suas propriedades físicas e radioativas, assim como a taxa de precipitação (GULERIA e KUNIAL, 2019). As mudanças no balanço energético global são denominadas de forçantes radiativas, em unidades de Wm^{-2} , que é a diferença em irradiância líquida na tropopausa entre um estado perturbado e um estado de referência. Essas perturbações podem ser causadas por influências naturais: por exemplo, a intensidade das atividades solares, a órbita terrestre, vulcões, etc.; e pelas atividades humanas: como a queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso do solo (PBMC, 2014). O estado de referência pode ser definido como a ausência ou o impacto do agente forçante. Alguns autores adotam a era pré-industrial, como tal estado (FORSTER et al., 2007). A forçante é considerada positiva quando promove o aquecimento do planeta, enquanto uma forçante negativa indica um efeito de resfriamento no clima.

De acordo com Correia et al., (2021) aerossóis antrópicos, emitidos principalmente em queimadas, podem absorver e refletir a radiação solar. Essa interação direta entre aerossóis e a radiação solar define a forçante radiativa direta de aerossóis. Vários estudos quantificaram essa forçante de aerossóis antrópicos, sobretudo na Amazônia. Uma média ponderada de alguns dos resultados compilados neste capítulo resultou em uma forçante radiativa de $-8,0 \pm 0,5 \text{ Wm}^{-2}$, indicando que, em média, a fumaça emitida em queimadas contribui para resfriar o planeta, contrapondo-se parcialmente ao aquecimento causado por gases de efeito estufa antrópicos. É muito importante, no entanto, ressaltar que aerossóis e gases de efeito estufa têm escalas de tempo e espaço muito diferentes: enquanto gases de efeito estufa tendem a se espalhar aproximadamente de modo uniforme sobre o planeta, e têm tipicamente vida média de centenas de anos, segundo o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional 241, aerossóis emitidos em queimadas na Amazônia espalham-se sobre grande parte do continente da América do Sul, e têm vida média de dias (são removidos da atmosfera e depositam-se sobre a superfície). Assim, a comparação das forçantes de aerossóis e gases de efeito estufa não pode ser feita diretamente.

Em geral, forçantes radiativas positivas indicam um efeito líquido de aquecimento e forçantes negativas indicam efeitos de resfriamento no sistema Terra-atmosfera. Os gases do efeito estufa causam o aquecimento do sistema, enquanto que o aerossol atmosférico, com exceção do BC, contribui para o resfriamento do sistema. Em conjunto, os aerossóis de origem antrópica produzem um efeito direto de resfriamento. Os aerossóis ainda são responsáveis por

um efeito indireto associado às alterações no albedo de nuvens. Os efeitos locais dessas partículas podem ser muito maiores e chegar a centenas de Wm^{-2} principalmente em regiões próximas as fontes emissoras (GARCÍA et al., 2012).

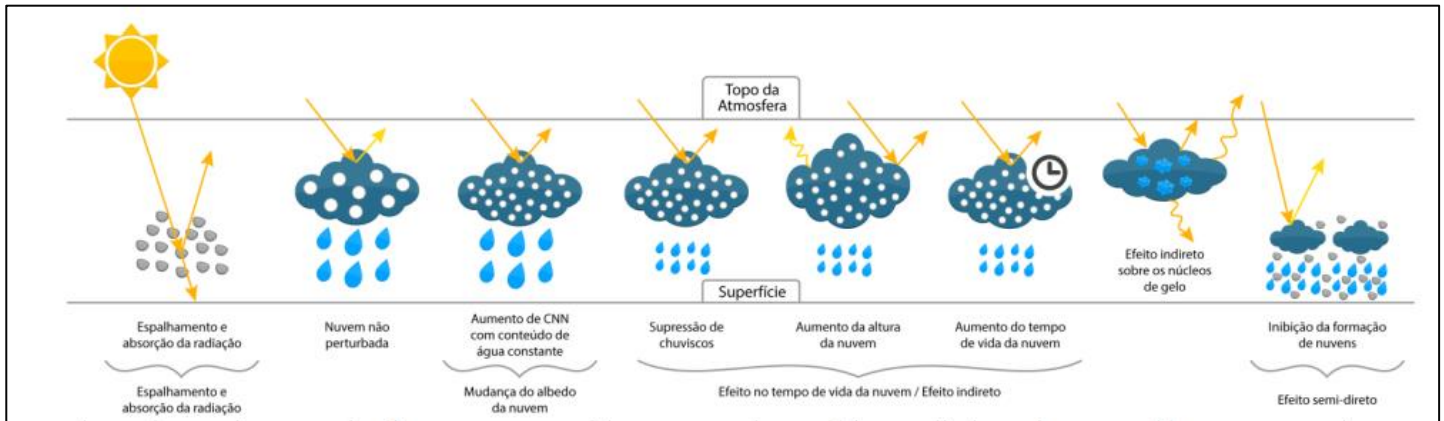


Figura 4: Readaptação do diagrama esquemático mostrando os efeitos radiativos dos aerossóis e nos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens. Fonte: IPCC (2007).

2.3.1 *Black Carbon*

Um dos mais fortes agentes radiativos na atmosfera que contribuem para o aquecimento do sistema climático global são os aerossóis, o BC em português carbono negro (KAHNERT e KANNGIEßER, 2020). De acordo com Conterno (2022) o BC é um aerossol formado majoritariamente por carbono que é liberado após a queima de biomassa (Figura 5), em particular, absorve radiação solar mais próxima do infravermelho, o que resulta em aquecimento do ambiente. A sua vida útil varia de dias a semanas dependendo da meteorologia, sendo passível de transporte de médio e longo alcance.

Segundo a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 1990, que estabelece os padrões de qualidade do ar, as partículas inaláveis não devem ultrapassar a concentração média anual de $50 \mu\text{gm}^{-3}$. O último relatório do IPCC, o AR6 (2021), destaca que o BC é um dos principais contribuintes para o aquecimento global, uma vez que ele absorve a radiação solar e aquece a atmosfera e a superfície da Terra. O valor da forçante radiativa de BC foi estimado em $0,25 \text{ Wm}^{-2}$ com uma incerteza de $\pm 0,2 \text{ Wm}^{-2}$. Isso significa que o BC é responsável por um aquecimento adicional na atmosfera e na superfície da Terra de cerca de $0,25 \text{ Wm}^{-2}$ (IPCC, 2021).



Figura 5: Esquema das fontes primárias de emissão de *Black carbon*. Fonte: Argonne National Laboratory (2014).

O BC tem como principal característica a forte absorção na faixa do visível e infravermelho próximo (BOND et al., 2013). Ele é um agregado de pequenas esferas de carbono, com partículas no tamanho típico de 1000 nm, mas pode variar com o tipo de fonte. Absorve fortemente a luz visível com uma seção de choque de absorção de massa de pelo menos $5 \text{ m}^2 / \text{g}$ ($\lambda = 550 \text{ nm}$). Além disso, é insolúvel em água e em solventes orgânicos e mantém a sua forma básica ao ser submetido a altas temperaturas, com uma temperatura de vaporização próxima a $3700 \text{ }^\circ\text{C}$. Apesar de algumas propriedades físicas e químicas de BC serem bem conhecidas, a densidade de BC não é muito bem estabelecida, pois pode variar consideravelmente dependendo das fontes de emissão, das condições de combustão e da composição química (BOND et al. 2006;).

Uma das características distintas do BC e que têm despertado o interesse em estudos de transferência radiativa atmosférica é a sua eficiente absorção de radiação visível e no infravermelho próximo (PALÁCIOS et al., 2020; RIZZO et al., 2011). Isso ocorre porque nenhuma outra substância presente na atmosfera em quantidades significativas absorve a radiação por unidade de massa de maneira tão eficiente (BOND et al., 2006). Outro fator contribuinte é sua baixa reatividade química na atmosfera que faz com que seu processo de remoção da atmosfera seja por remoção úmida ou deposição seca na superfície (BOND, et al., 2013). O BC é uma partícula que pode se tornar mais higroscópica devido ao rápido

encapsulamento com carbono orgânico e sulfato que se condensam na superfície e modificam sua microfísica e propriedades óticas (BOUCHER, 2015).

2.4 Monitoramento de Dados Ambientais

Segundo a Agência Espacial Brasileira (2018), os dados ambientais são informações fundamentais em diversas áreas de atuação, como previsão meteorológica, agricultura de precisão, monitoramento de recursos hídricos, prevenção de desastres naturais entre outras aplicações. Para a captação de dados ambientais normalmente se utilizam estações ou torres micrometeorológicas equipadas com sensores e equipamentos capazes de medir os dados em campo, viabilizando uma grande resolução temporal. Porém, em termos gerais, o modelo convencional de coleta de dados ambientais é realizado em ambientes distantes de difícil acesso e normalmente é constituído pela amostragem e armazenamento local, para então, após a coleta, ser realizada a análise e estudos possíveis através destes dados (ROTHMUND, 2022).

Os equipamentos comercializados para monitoramento de variáveis meteorológicas também apresentam alguns problemas, sendo equipamentos proprietários de código fechado e possuindo custo muito elevado. Restringindo o usuário a equipamentos de um único fabricante, e com uso restrito a personalizações (HELAL et al, 2020).

Por consequência, a manutenção convencional destes equipamentos instalados em campo se torna dispendiosa apresentando desvantagens, seja pelo custo de 7 reposição de um equipamento comercial, ou pela grande demanda de tempo e necessidade de deslocamento aos locais de estudo (LIMA, 2011). Para facilitar o trabalho de manutenção, melhor organização de viagens a estações de monitoramento e possibilitar a obtenção de dados climáticos em tempo hábil, tem sido cada vez mais urgente a capacidade de monitorar dados e equipamentos remotamente. Para tal, a solução mais comum que tem surgido em diversas áreas tem se dado através do desenvolvimento de instrumentos alternativos, como o sistema de aquisição de dados desenvolvido por Da Silva (2007) ou o sistema de automatização para agricultura de precisão proposto por Ramos (2019). Estas aproximações normalmente buscam o aumento de eficiência e a automaticidade do sistema, fazendo com que a atuação humana não seja necessária.

2.5 O Pantanal

Reconhecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (Unesco) por sua importância ecológica, como Reserva da Biosfera Mundial, o Pantanal é considerado a maior planície alagada do mundo. Está localizado na América do Sul, inserido na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. No Brasil, ocupa uma área de 138.183 km², abrange

partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e estende-se pelos países Bolívia e Paraguai¹. Considerando as diferenças nas características como inundação, relevo, solo e vegetação, por conta da influência dos Biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, o Pantanal foi dividido em onze sub-regiões: Porto Murtinho, Poconé, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Nabileque, Miranda, Cáceres, Barão de Melgaço, Aquidauana e Abobral (PENATTI, 2014) (Figura 6).

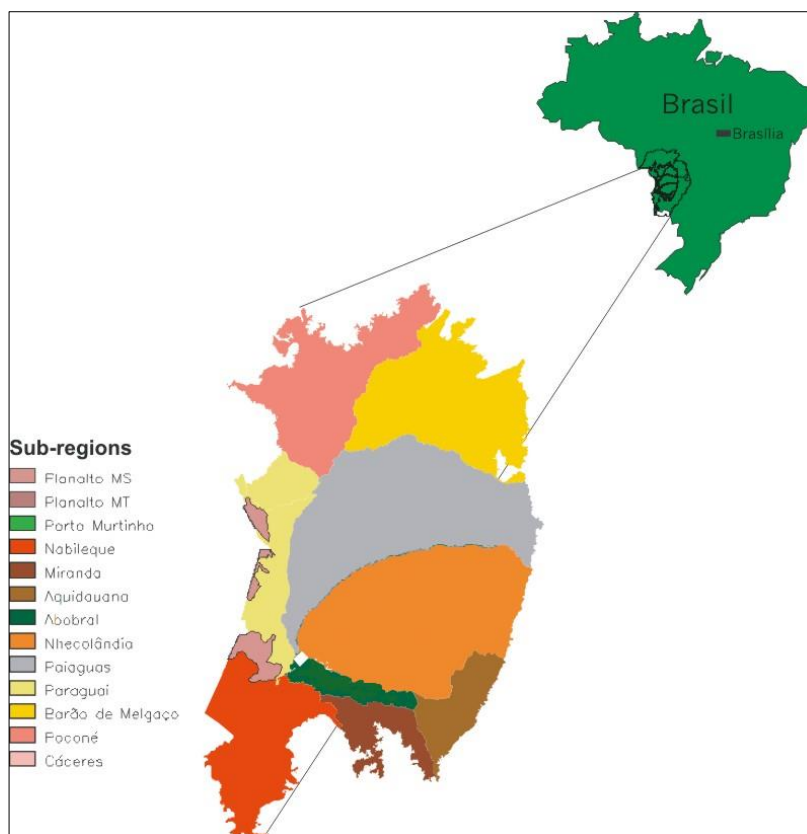


Figura 6: Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub-Regiões. Fonte: SILVA, J. SANTOS, V. ABDON, M. M, 1998).

Sendo influenciado pelos sistemas atmosféricos que atuam na região amazônica e pelos sistemas extratropicais, segundo a classificação climática de Koppen, o clima do pantanal é do tipo AW, ou seja, clima tropical úmido, com estação seca de inverno²(que se estende de maio a setembro) e verão chuvoso. A média da precipitação anual fica em torno de 1400 mm e a temperatura média anual da região é de 26,1 °C (BIUDES et al., 2015). A vegetação do pantanal é bastante diversificada, composta por formações florestais (matas e cerradão) e savânicas (cerrado típico), e também amplas áreas de campo cerrado, campos limpos e campos inundáveis (ricos em gramíneas), incluindo comunidades aquáticas (camalote-da-meia-noite e

¹ Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/unesco-declara-pantanal-reserva-da-biosfera>

² Disponível em: <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Livro-Biomas-e-AgriculturaSite.pdf>

vitória-régia). Conta também com espécies de plantas invasoras como o cambará, o pombeiro e a lixeira (SANTOS et al., 2006). A colonização do Pantanal Mato-Grossense se deu por ribeirinhos que utilizavam a pesca como a atividade extrativista mais importante da região (CURADO, 2011). A pesca tornou-se uma atividade de grande importância social, econômica e ambiental, sendo realizada atualmente como pesca de subsistência, pesca profissional artesanal e pesca amadora ou recreativa. No cenário atual, a pecuária de corte é a principal atividade econômica, responsável por 81,7% de toda produção bruta da região³.

Esse sistema produtivo se desenvolveu graças à existência de extensas áreas de pastagens naturais e estabelece o padrão de ocupação do espaço geográfico e da cultura pantaneira. Entretanto, nas últimas décadas, a atividade do setor vem sofrendo uma grande queda na produtividade, pois a região vem enfrentando problemas cada vez mais graves por conta da degradação de suas pastagens nativas como consequência da exploração empírica, sem bases técnicas, assim como as secas prolongadas que vem ocorrendo na região pantaneira⁴. As principais fontes de ameaça à biodiversidade do Pantanal estão relacionadas às ações antrópicas. Dentre elas se destacam o desmatamento e o uso do fogo que se tornou frequente nas últimas décadas para limpar as pastagens e forçar a rebrota (SILVA, 2021). Além de consumir grandes quantidades de biomassa, as queimadas modificam a qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, e também são responsáveis por emissões significativas de gases traços e aerossóis para a atmosfera. (ARTAXO et al., 2006; PEREIRA et al., 2009).

Devido a importância da conservação do ecossistema pantaneiro, em 04 de julho de 1997, através da portaria nº71/97N do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, foi reconhecida a designada como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal, com extensão de 87.971,44 Hectares. Com o tempo novas áreas foram englobadas a reserva, totalizando 107,996 Hectares, correspondendo a cerca de 1% da extensão total do Pantanal mato-grossense, dando origem a maior RPPN do Brasil (SESC, 2019).

³Disponível em: <http://www.mt.gov.br/-/15832384-governo-de-mt-vai-investir-mais-de-r-430-milhoes-na-recuperacao-da-pecuaria-do-pantanal>

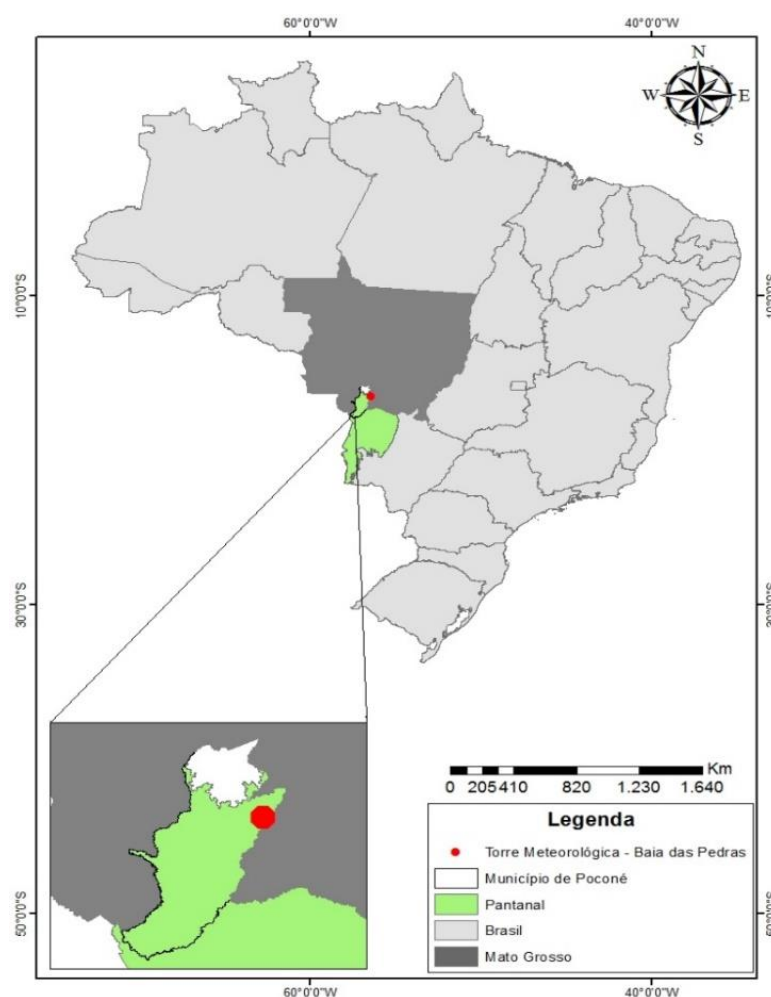
⁴ Disponível em: <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Livro-Biomas-e-AgriculturaSite.pdf>

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal (BAPP) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), na Fazenda Bahia das Pedras, na Reserva Particular Do Patrimônio Natural -RPPN SESC predominantemente, no município de Poconé, Mato Grosso Brasil (Figura 7). Esta área é composta substancialmente pela vegetação conhecida popularmente como “pombeiro” (*Combretum laxum*), um grande arbusto abundante em solos argilosos, , cuja altura do dossel é em média próxima a 4 metros (NUNES DA CUNHA et al., 2007).

Influenciado pelos sistemas atmosféricos que atuam na região amazônica e pelos sistemas extratropicais, segundo a classificação climática de Koppen, o clima do pantanal é do tipo “AW”, ou seja, clima tropical úmido, com estação seca de inverno (que se estende de maio a setembro) e verão chuvoso (de outubro à abril). A média da precipitação anual fica em torno de 1.400 mm e a temperatura média anual da região é de 26,1 °C (BIUDES et al., 2015)



3.2 Dados Meteorológicos

3.2.1 Torre Micrometeorológica Do Pantanal

O Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente (GPFMA) mantém sob sua tutela desde 2010, a Torre Micrometeorológica do Pantanal (Figura 8), estrutura de ferro galvanizado com patamar de 20m de altura além de uma extensão de 12m, totalizando 32 metros de altura. Esta estrutura possibilita a instalação de diversos equipamentos e sensores para monitoramento de variáveis microclimáticas.



3.2.2 Saldo Radiômetro CNR4 (CNR4 Net Radiometer)

O Saldo Radiômetro CNR4 (CNR4 Net Radiometer), fabricado pela Omni Instruments, o CNR4 (Figura 09) é descrito como um equipamento composto de 4 sensores solares, consiste em um par de Piranômetros e um par de Pirgeômetros. Cada par com uma face para cima, medindo radiação que está incidindo pela atmosfera, e um par virado para baixo, medindo a radiação que está saindo para a atmosfera. O CR1000 é um Datalogger, muito utilizado pelo GPFMA devido a sua robustez e facilidade de manuseio e programação, possuindo bibliotecas predefinidas para uma ampla gama de sensores. Este sensor consegue dividir a radiação em ondas longas e ondas curtas, incidente e refletida/emitada e está instalado no

patamar da torre à 20 metros de altura (ROTHMUND, 2022). Os dados meteorológicos foram coletados nos anos de 2017 a 2019, por meio de sensores de aquisição de dados, ligado a um datalogger CR 1000 (Campbell Scientific, Inc., USA), com intervalo de leitura de 30 segundos e registro das médias a cada 30 minutos, ou seja, a cada 30 segundos é coletado 01 dado e feito a média desses dados a cada 30 minutos.



3.2.3 Concentração de *Black Carbon*

Neste trabalho foi utilizado o aparelho chamado aetalômetro foi possível estimar os coeficientes de atenuação em cada comprimento de onda para obter, por meio das correções de múltiplo espalhamento (C) e carga do filtro (R), o espectro de absorção da radiação pelos aerossóis na região (RAYMUNDO, 2019). O Aetalômetro foi alocado no interior da Base de Pesquisas Avançadas do Pantanal com temperatura e umidade relativa do ar controladas (ar condicionado em 25°C e desumidificador de ar) (Figura 10).

Os respectivos equipamentos estão ligados em paralelo por um inlet de seção de corte PM 2,5 configurado para vazão de 3 L min⁻¹, sendo 2 L min⁻¹ amostrados para o Aetalômetro. O inlet está instalado a uma altura de 4 metros do solo. Para validação das medidas realizadas in-situ, fez-se uma análise exploratória para detecção de dados incoerentes (como concentração negativa), calibração e normalização do coeficiente de absorção. Logo após o processamento, os dados foram salvos em arquivos com médias a cada 30 min. O controle de umidade do ar amostrado pelo inlet foi realizado utilizando a sílica em gel. As trocas da sílica foram realizadas uma vez por semana com o intuito de manter a umidade abaixo de 40%. É importante que esse controle seja realizado, pois a umidade tende a afetar na composição de partículas, influenciando na absorção das mesmas.



3.2.5 Medidas do Aetalômetro

O Aetalômetro é um equipamento que fornece a medição ótica em tempo real da concentração de BC presente na atmosfera, em sete comprimentos de ondas. O seu princípio de funcionamento (Figura 11) consiste em medir a atenuação (ATN) de um feixe de luz transmitido através de um filtro de quartzo, enquanto o mesmo coleta continuamente medidas de aerossóis com resolução temporal de 1 a 5 minutos.

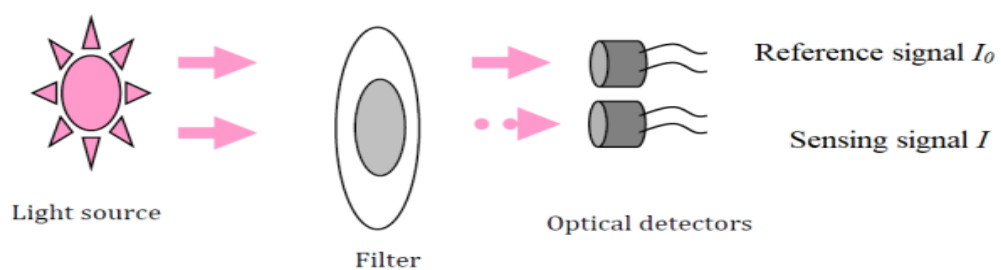


Figura 11: Princípio de funcionamento do Aetalômetro modelo AE33, adaptado Magee Scientific (2017).

A amostra de ar é extraída através da porta de entrada, normalmente a uma taxa de fluxo de alguns litros por minuto, usando uma pequena bomba interna. A vazão é monitorada por um medidor de vazão mássico interno e é estabilizada eletronicamente ao valor do ponto de ajuste inserido no software. O equipamento coleta a amostra em 40 uma fita de filtro de fibra de quartzo e realiza uma análise ótica contínua, enquanto a amostra está sendo coletada. Durante esse processo, a fita não se move. A fita só avança quando o ponto atinge certa densidade. Em uma cidade a fita pode avançar 3 ou 4 vezes por dia.

Em um local rural, a cada pode durar um dia ou mais. O rolo de fita contém 1500 pontos. A análise fornece uma nova leitura a cada período base. O usuário define a base de tempo para a taxa de dados desejada, geralmente de 1 a 5 minutos, embora os dados para uma leitura por segundo sejam possíveis. Os dados são gravados em disquete; transmitido pela porta COM e produzido como uma tensão analógica. Neste trabalho, o modelo de Aetalômetro utilizado foi o AE42, mas com modificações internas correspondentes ao AE33 de 7 canais ($\lambda = 370, 470, 520, 590, 660, 880$ e 950 nm). Como visto, o produto direto fornecido pelo Aetalômetro é a concentração de BC, obtido por meio da atenuação ótica (ATN), definida pela Equação 5:

$$ATN = 100 \cdot \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde I_0 é a intensidade da luz transmitida pelo filtro limpo (sinal de referência) e I a intensidade da luz transmitida após as partículas de aerossol serem depositadas no filtro (SANDRADEWI et al., 2008). O coeficiente de atenuação das amostras das partículas de aerossol (σ_{ATN}) pode ser calculado usando a variação da atenuação (ΔATN) em função do tempo (Δt), a taxa de fluxo volumétrico (Q) e a área do filtro (A):

$$\sigma_{ATN} = \frac{A}{Q} \cdot \frac{\Delta ATN}{\Delta t} \quad (\text{Equação 6})$$

O coeficiente de Atenuação é considerado uma razão constante, a relação entre BC e ATN torna-se linear. A concentração de massa de BC, fornecida pelo Aetalômetro, é determinada da seguinte maneira:

$$[BC]_{ATN} = \frac{\sigma_{ATN}}{\sigma_{1/\lambda}} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: $\sigma_{1/\lambda} = 14625/\lambda$ [$m^2 \cdot g^{-1}$] é a seção de choque de absorção óptica e $[BC]$ é a concentração de *Black Carbon* [$\mu g m^{-3}$].

Em que a Equação 10:

$$\alpha ATN = 14625/\lambda [m^2g^{-1}] \quad (\text{Equação 8})$$

αATN é a seção de choque de absorção ótica baseada em uma calibração em 880 nm utilizando o método Malissa-Novak, um método de dessorção térmica baseado em solvente para análise de carbono elementar (GUNDEL et al., 1984). Mesmo com debates sobre a confiabilidade dos métodos de dessorção térmica (SCHMID et al., 2001), os valores de $BCATN$ de 10 min fornecidos em 7 comprimentos de onda pelo Aetalômetro foram convertidos em $\sigma ATN(\lambda)$ (médias de 30 min) utilizando as Equações 9 e 10.

3.3 Determinação da Emissividade Atmosférica através da Lei de Stefan-Boltzmann

Demonstrada experimentalmente, em 1879, por Josef Stefan e comprovada teoricamente por Ludwig Boltzmann, a lei de Stefan-Boltzmann relaciona a densidade de fluxo de energia emitida por uma superfície e a sua temperatura absoluta:

$$\varepsilon = \frac{E}{\sigma T^4} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

E = densidade de fluxo de energia emitida (W/m^2);

ε =emissividade (adimensional);

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4} = 4,903 \cdot 10^{-9} MJ m^{-2} d K^4$);

T =Temperatura (K) Essa lei evidencia que todas as superfícies naturais emitem energia radiante.

A emissividade varia de 0 a 1. Um corpo negro tem emissividade igual a 1. Portanto, quanto maior o valor da emissividade maior é a capacidade do corpo emitir radiação. A maioria dos objetos naturais possuem uma emissividade entre 0,95 e 1.

Considerando a atmosfera como uma superfície radiante, o valor de ε mudará continuamente, pois deve-se levar em consideração o teor de vapor d'água presente na mesma, logo, a estimativa de ε dependerá do vapor da água.

Sendo o seu cálculo muito importante para determinar a radiação de onda longa líquida na interface superfície-atmosfera que é utilizada em diversos modelos climáticos, como por exemplo, no cálculo do efeito estufa (PEREIRA et al., 2007).

3.4 Metodologia

3.4.1 Co-espectro

Segundo Rayl et al., (2012) a densidade espectral de potência cruzada entre duas matrizes de dados também é chamada de co-espectro, a medida de similaridade entre as respectivas densidades espectrais de potência. O co-espectro é um produto do espectro de fase de valor complexo, uma medida do deslocamento de fase, atrasado ou adiantado, entre as duas matrizes e o espectro de amplitude cruzada ou espectro de coerência, uma medida da similaridade das magnitudes dos componentes de frequência. O co-espectro é definido pela relação mostrada na equação 10.

$$\begin{aligned}
 S_{xy}(\omega) &= \frac{1}{N} \left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\omega n} \right) \left(\sum_{n=0}^{N-1} y(n) e^{-j\omega n} \right)^* \\
 &= \alpha_{xy}(\omega) * e^{j\phi_{xy}(\omega)}
 \end{aligned}
 \tag{Equação 10}$$

Onde $x(n)$ é a primeira série temporal e $y(n)$ é a segunda série temporal, e $S_{xy}(\omega)$ é um número de valor complexo cuja magnitude é o espectro de coerência ($\gamma_{xy}(\omega)$) e o ângulo é a fase espectro ($\phi_{xy}(\omega)$).

O co-espectro pode ser usado como base para corrigir fluxos não detectados causados por limitação na medição (WOLF e LACA, 2007), ou seja, o uso do deste método como base para corrigir fluxos não detectados implica em usar a análise de covariância entre os sinais para melhor compreender a relação entre os dados de entrada e saída. Para analisar a defasagem temporal por meio do co-espectro, os dados foram processados no software R, na versão 4.3.1. Utilizando esses dados, foram criados gráficos que incluíam as variáveis Rg, Rn e Emissividade em relação ao BC.

Neste trabalho, o co-espectro é utilizado para avaliar a escala de tempo em que as variáveis estudadas, concentração de *Black carbon*, radiação e emissividade, estão acopladas. Essa medida é necessária para avaliar em que escala de tempo as médias temporais das variáveis devem ser integradas para otimizar a extração de informação da sua correlação.

3.4.2 Regressão Linear

Segundo Capp & Nienov (2020) a regressão linear estima os coeficientes da equação linear, com o objetivo prever o comportamento de uma variável dependente (quantitativa) em função de uma (simples) ou mais (múltipla) variáveis independentes (quantitativas ou

qualitativas binárias). Assume-se a relação entre as variáveis por meio de uma reta e, assim, utiliza-se o resultado da função dessa reta para estimar valores, quando conhecemos as variáveis que afetam o seu comportamento.

No eixo Y da representação gráfica, temos a variável dependente que estamos tentando descobrir e, no eixo X da representação gráfica, as variáveis independentes (preditoras) que exercem influência sobre a variável dependente. A variável Y deve ter distribuição normal ou aproximadamente normal. Os parâmetros de distribuição β_0 e β_1 são denominados de coeficientes da regressão: β_0 é o intercepto em Y da equação de regressão (é o valor de Y quando X é igual a 0) e β_1 refere-se à inclinação da reta de regressão (indica a mudança na média de Y quando X é acrescido de uma unidade). O erro (ϵ) representa as influências não controladas, ou seja, influências que a variável dependente possui além da exercida pelas variáveis no modelo.

Os dados foram processados utilizando o software Python, utilizando o pacote scipy e a função linregress. Foram criados gráficos de regressão linear para analisar a correlação entre a concentração de BC ($880 \mu\text{gm}^{-3}$) e as variáveis micrometeorológicas. A análise de correlação entre BC e Rg foi realizada durante o período diurno, considerando das 06:00 até as 17:30 horas. A correlação entre BC e Rn foram considerados em ambos os períodos. A análise com a Emissividade foi realizada no período noturno, abrangendo o horário das 18:00 às 05:30 horas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Focos De queimadas e Uso Consolidado do solo no Pantanal

A Figura 12 baseia-se na classificação de Uso Consolidado do solo disponibilizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT, 2023). De acordo com as diretrizes Uso Consolidado é a área do imóvel rural que demonstra ocupação humana pré-existente a 22 de julho de 2008, incluindo edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris. A figura 13 apresenta os focos de queimadas na região do Pantanal no território brasileiro no período de 2017 a 2019, com base em dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

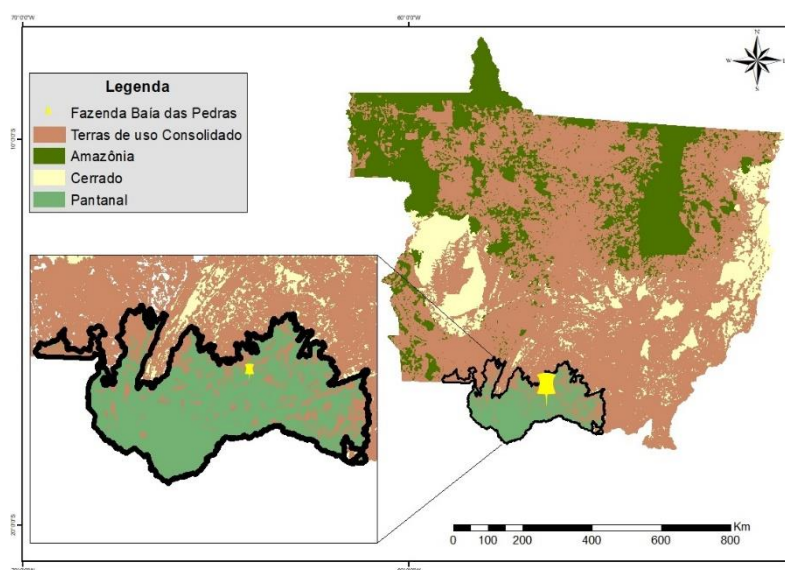


Figura 12: Classificação de Uso Consolidado do solo no Pantanal Mato-Grossense. Fonte: Elaborado pela autora.

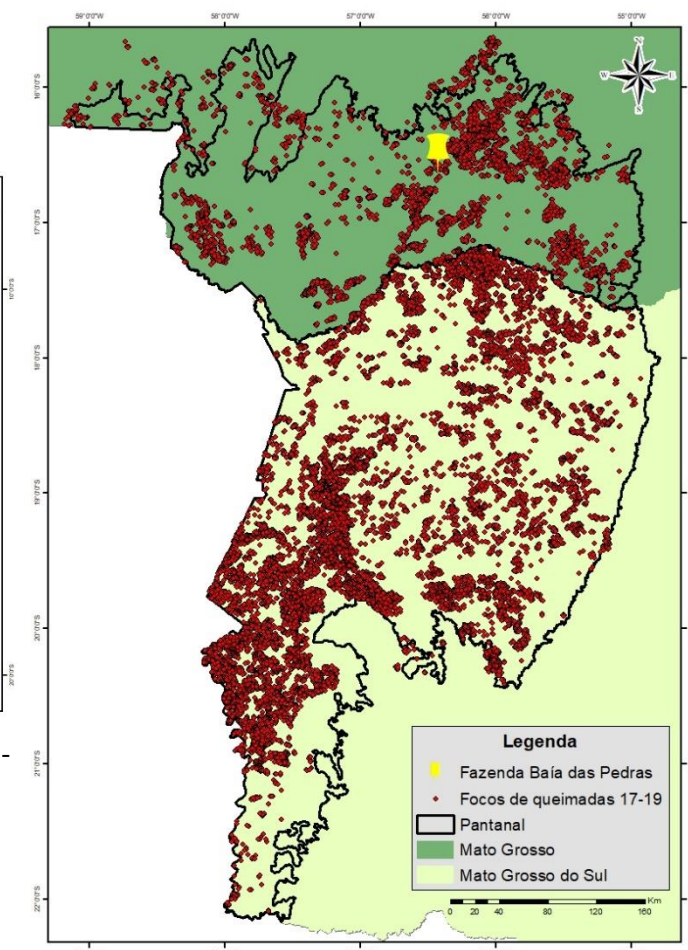


Figura 13: Focos de queimadas na região do Pantanal no território brasileiro no período de 2017 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora.

No Pantanal de Mato Grosso, uma prática amplamente estabelecida a utilização do fogo como ferramenta para a limpeza de pastagens, a preparação de áreas agrícolas e a criação de condições favoráveis para a expansão das atividades pecuárias.

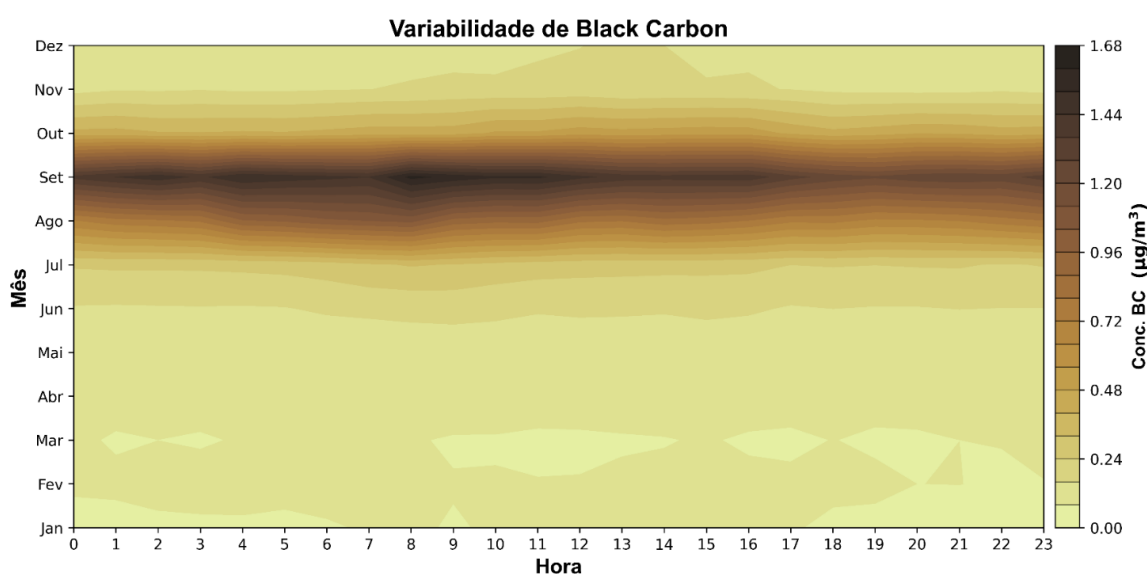
Rodrigues et al. (2014) realizaram um estudo que registrou um total de 5.138 focos de calor no Pantanal durante o período de agosto de 2011 a julho de 2014, com os municípios de Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Santo Antônio do Leverger, Nossa Senhora do Livramento, Itiquira e Lambari D'Oeste sendo os mais afetados por focos de queimada.

Viganó et al. (2018) destacaram que na estação de estiagem, as condições climáticas, como altas temperaturas, radiação solar intensa, baixa umidade relativa do ar e ventos, criam um ambiente propício para a propagação de incêndios no Pantanal. Eles ressaltaram a influência da ação humana, que se intensifica nos meses mais secos, ampliando os focos de queimada. Pinto (2014) observou que nos municípios de Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço, localizados no Bioma Pantanal, a prática de queimadas como método de manejo e o desmatamento para a criação de pastagens têm sido históricas.

A Fiocruz (2020) afirmou que as queimadas no Pantanal no ano de 2020 atingiram mais de 44.998 km² o que representa pouco mais de 30% do território do bioma no território brasileiro, incluindo áreas de unidades de conservação. Além disso, em 2020, o número de focos de queimadas no Pantanal superou significativamente os focos de queimadas na Amazônia, apesar de o bioma Pantanal ser 36 vezes menor que o amazônico.

4.2 Variação Temporal da concentração de *Black Carbon*

A Figura 14 ilustra a variação sazonal do BC horária e mensal nos três anos estudados.



Observa-se que as concentrações mais elevadas desse aerossol ocorrem durante os meses do período quente e seco do Pantanal, sendo mais proeminentes em setembro, quando atingem $1,68 \mu\text{gm}^{-3}$. Essa tendência sugere que a presença de BC é mais acentuada devido às queimadas que ocorrem nesse período no bioma. Em contraste, durante o período chuvoso, não se observam concentrações superiores a $0,24 \mu\text{gm}^{-3}$. Em relação ao horário de maior concentração ocorre das 01h00min da manhã ao meio dia, totalizando aproximadamente 12 horas de concentrações elevadas de aerossol, o que sugere que durante o período noturno, há uma maior quantidade de BC presente na região estudada. Outros estudos também identificaram padrões sazonais semelhantes. Por exemplo, Santos et al., em 2014, utilizou técnicas de gravimetria e refletância durante o período de abril de 2012 a agosto de 2013 na região do Pantanal, encontraram uma concentração máxima de BC de $0,189 \mu\text{gm}^{-3}$ em setembro de 2012.

As concentrações de BC são influenciadas por fontes antropogênicas (Sharma et al., 2018) e pelas condições meteorológicas locais. Estudos anteriores, como os de Dumka et al., em 2018, e Magalhães Neto et al., em 2017, indicam que as emissões de BC de origem antropogênica em escala global são atribuídas principalmente à combustão de biocombustíveis (~20%), combustíveis fósseis (~40%) e à queima aberta de biomassa, incluindo incêndios florestais e queima de resíduos agrícolas (~40%). Essas proporções variam dependendo se a área é urbana ou rural, com emissões veiculares predominando em ambientes urbanos e a queima de biomassa predominando em áreas rurais. A alta concentração de Carbono Negro sugere que o ar está significativamente poluído devido às atividades humanas. Silva (2021) também identificou que há um padrão sazonal na variação média das concentrações de BC. As concentrações de BC são mais altas no período seco (maio a setembro) do que no período chuvoso (entre outubro e abril) sendo que os meses de agosto e setembro se destacam como os meses que apresentam as mais altas concentrações de BC em comparação com os outros.

A variação média mensal da concentração de BC para os anos de 2017, 2018 e 2019 é mostrada na Figura 15, os dados foram coletados considerando o período de 30 dias e realizando a média aritmética dos meses dos anos estudados.

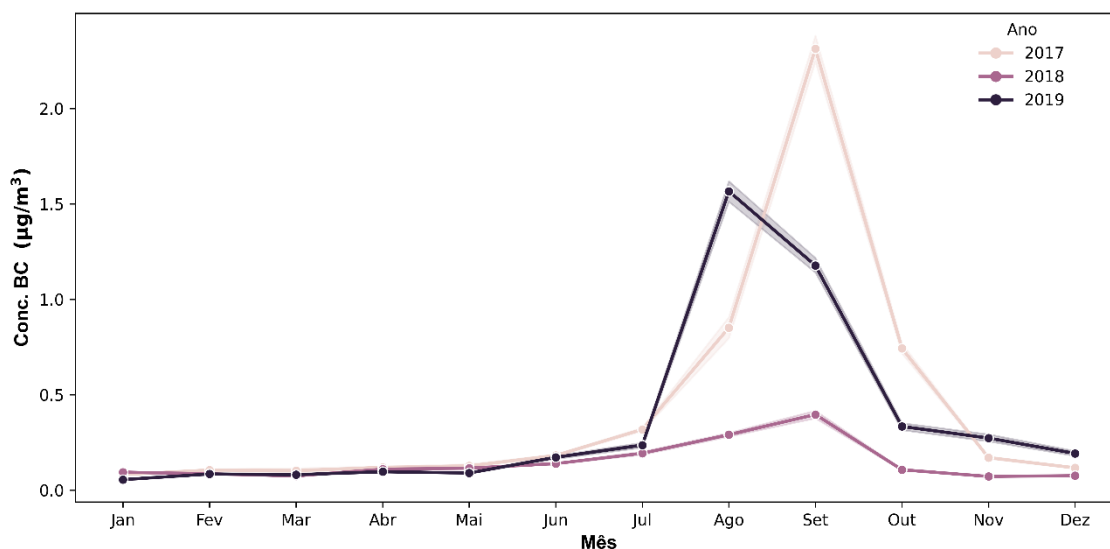


Figura 15: Médias mensais da concentração do *Black Carbon* nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborado pela autora.

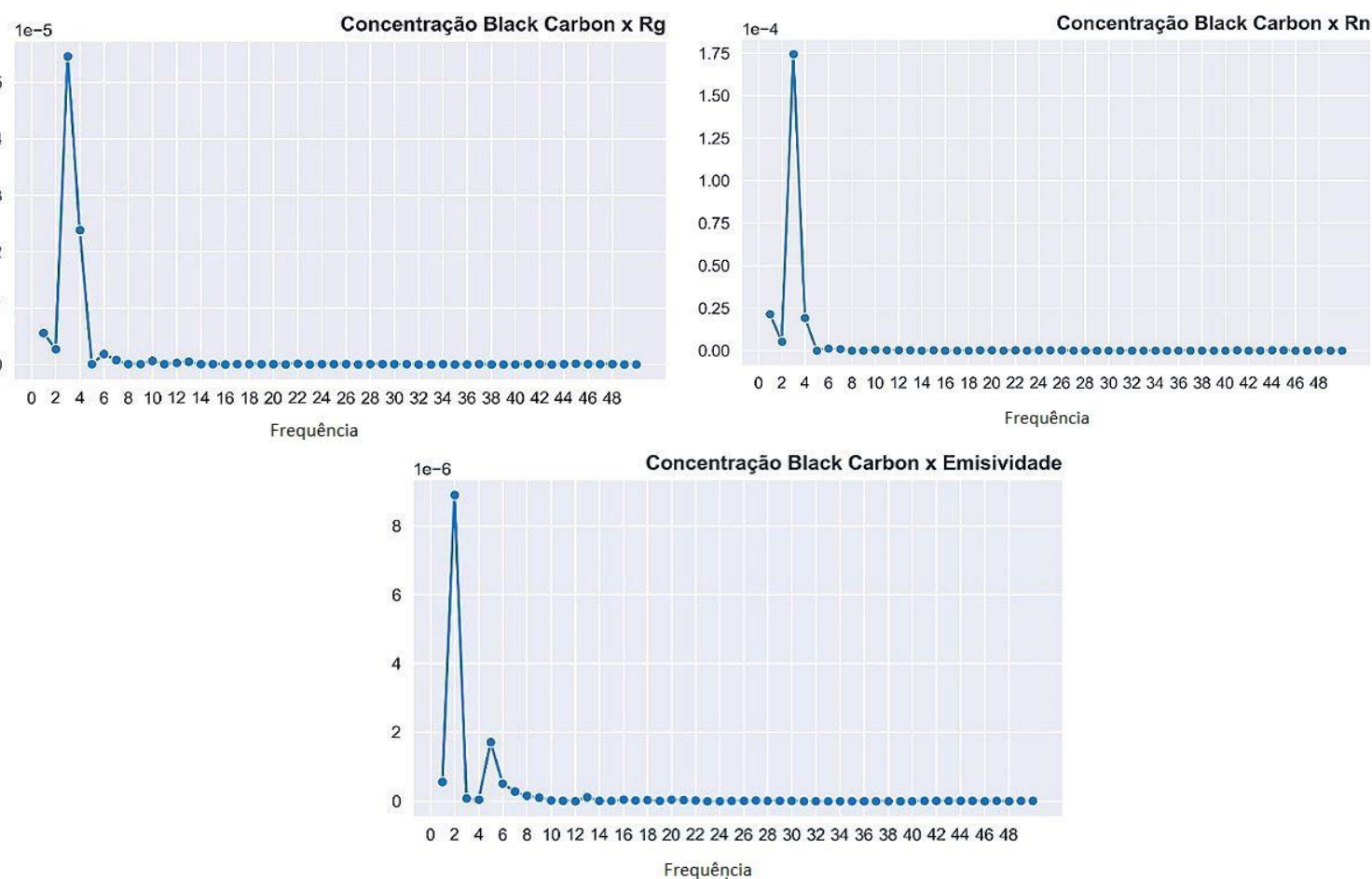
Nos cinco primeiros meses dos três anos estudados, observamos que as concentrações de BC se mantiveram praticamente constantes, com valores em torno de $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$. A partir de junho houve um aumento gradual até atingir o pico no mês de setembro em 2017 ultrapassando passando de $0,2 \mu\text{g m}^{-3}$, o mês de outubro o valor da concentração de BC caiu para menos de $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$ e nos meses seguintes esses valores voltaram a decair aos valores dos primeiros meses. No ano de 2018, observamos um comportamento semelhante ao ano anterior na concentração de BC apesar de a magnitude ser diferente, devido a queima da biomassa ter sido intensa em 2017 e não se regenerando por completo em 2018. Nos primeiros meses podemos notar que as concentrações de BC se mantiveram praticamente constantes em torno de $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$. A partir do mês de julho os valores começam a subir e em setembro foi o mês com maior concentração de BC ($0,25 \mu\text{g m}^{-3}$). Já no mês de outubro a concentração de BC diminuiu para $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$ mantendo-se em baixos níveis em novembro e dezembro. Um padrão similar aos anos anteriores foi observado no ano de 2019: de janeiro a maio houve sutis variações nas concentrações de BC. Em agosto houve a maior concentração de BC aproximadamente $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$, seguido de setembro ($1,5 \mu\text{g m}^{-3}$).

A partir do mês de outubro as concentrações de BC começaram a diminuir gradativamente. É interessante notar que houve uma redução na concentração de BC de 2017 para 2018, de aproximadamente 87%. Em 2019 a concentração de BC volta a subir, mas ainda é menor que a concentração de BC 2017. Nos três anos estudados podemos notar que há um padrão sazonal na variação média das concentrações de BC. As concentrações de BC são mais altas no período seco (maio a setembro) do que no período chuvoso (entre outubro e abril) sendo

que os meses de agosto e setembro se destacam como os meses que apresentam as mais altas concentrações de BC em comparação com os outros.

4.3 Análise do Co-espectro da relação entre *Black Carbon* e as variáveis micrometeorológicas

A Figura 16 (a), (b) e (c), refere-se à análise do Co-espectro, da relação entre dados ao longo do tempo, buscando identificar padrões de influência mútua entre BC e as variáveis Rg, Rn e E.

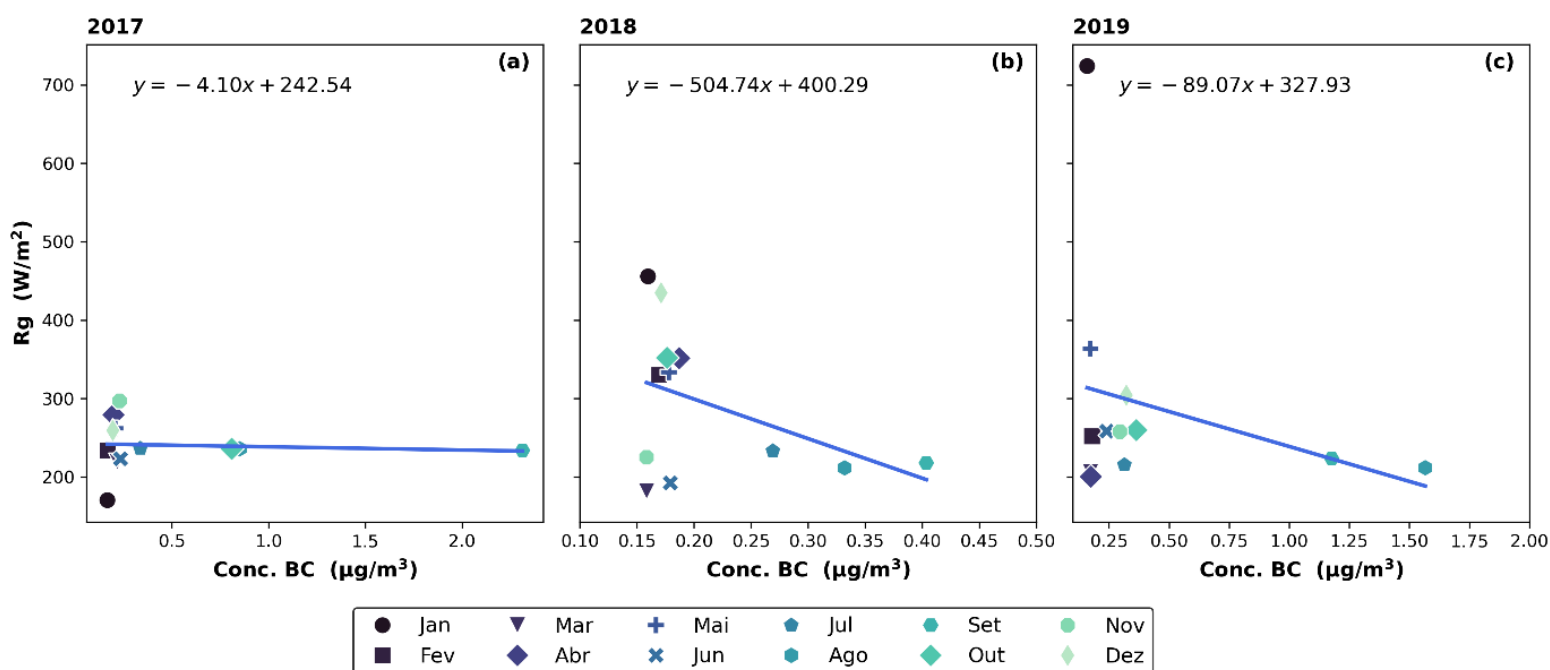


Como já citado, o Co-espectro é um método analítico que permite investigar a relação entre dados ao longo do tempo, procurando padrões de mútua influência entre esses dados (RAYL et al., 2012). Observa-se na Figura 16, a presença de um pico no eixo x, localizado em 3, considerando o período de análise de 3 anos, indica que a defasagem escalar de tempo, de maior correlação entre os dados é de 1 ano, devido a frequência ser dividida pelo tempo estudado. Tal resultado é um indício de que, para encontrar uma correlação entre as variáveis

estudadas, séries temporais de vários meses são necessárias. Assim sendo, a correlação não se estabelece para intervalos de tempos curtos (intervalo diário, por exemplo). Podemos inferir que, durante esse período específico de 1 ano, ocorreu um aumento na influência ou interdependência entre as variáveis, ou seja, eventos específicos ou padrões sazonais podem ter desempenhado um papel importante nesse aumento da influência mútua entre os dados. Isto sendo interpretado como a existência de uma relação significativa entre as séries de dados.

4.4 Relação do *Black Carbon* com variáveis meteorológicas

A Figura 17 (a), (b) e (c), ilustra a correlação entre as concentrações de BC acima de $0,10 \mu\text{g m}^{-3}$ (eixo x) e R_g (eixo y) nos anos de (a) 2017, (b) 2018 e (c) 2019, utilizando-se médias mensais no período diurno considerando a incidência solar entre 06h00min às 17h30min, este intervalo proporciona uma visão da influência do BC na radiação solar ao longo do dia.

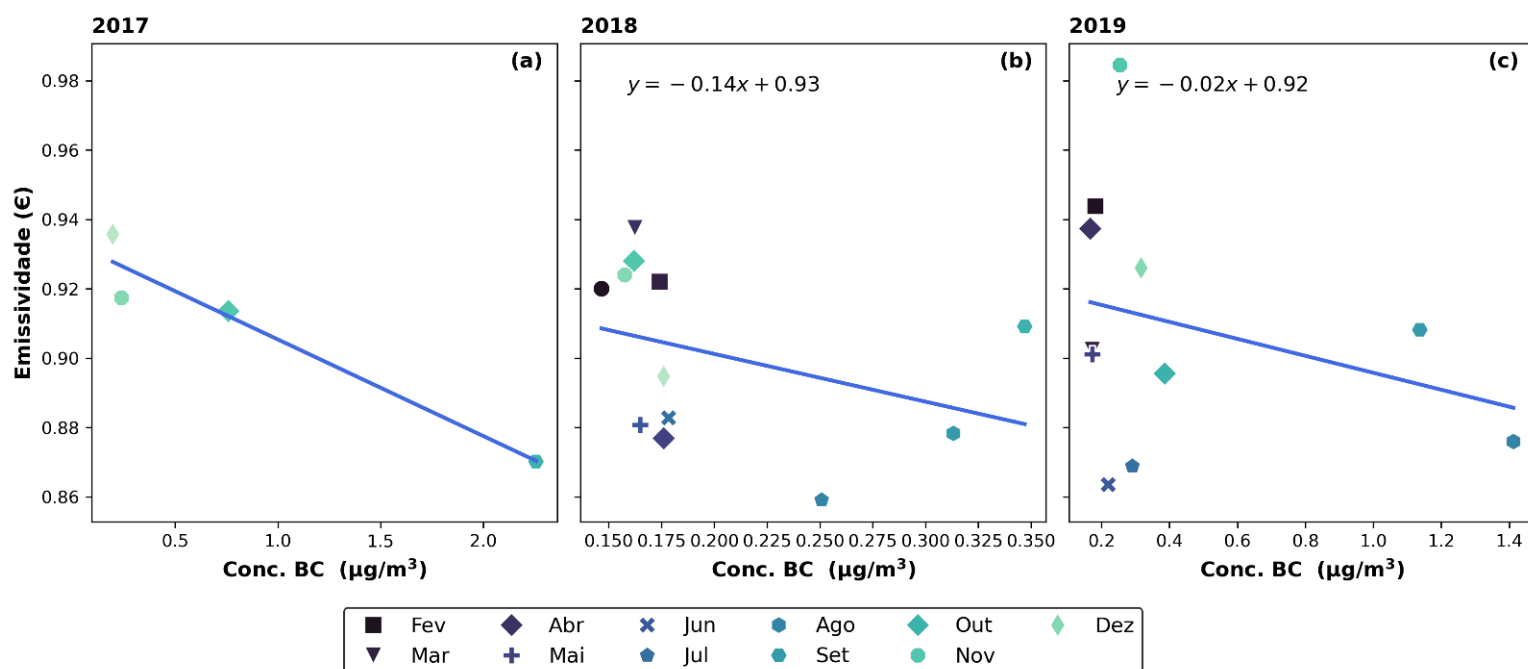


No gráfico da Figura 17 (a) referente a 2017, observamos que as concentrações de BC e R_g mantém uma relação estável. No gráfico da Figura 17 (b), referente à 2018, notamos que quando a concentração de aerossol atinge $0,15 \mu\text{g m}^{-3}$, há um notável declínio da R_g ficando abaixo de 300 W m^{-2} sendo mais pronunciada durante os meses de julho, agosto e setembro. É importante ressaltar que esses meses coincidem com um período de maior concentração de BC, devido a maior incidência de incêndios e queimadas neste período. O gráfico Figura 17 (c) relativo a 2019, é possível observar uma diminuição acentuada na Radiação Global quando as

concentrações de BC ultrapassam $0,10 \mu\text{gm}^{-3}$. Durante os meses de agosto e setembro, a concentração de BC atinge até $1,50 \mu\text{gm}^{-3}$, resultando em uma redução significativa na Radiação Global, com uma perda de até 200 Wm^{-2} . Em resumo, os gráficos indicam que as concentrações de BC acima de $0,10 \mu\text{gm}^{-3}$ têm uma influência notável na variação da Radiação Global. Isso sugere que o aumento na concentração de aerossol pode afetar a chegada da Rg à superfície.

A interação da radiação com os aerossóis se dá de duas formas diferentes: absorção e espalhamento. Esses processos têm efeito direto no equilíbrio de radiação da Terra por meio das chamadas “interações aerossol-radiação” (CHARLSON et al., 1992, SATHEESH e RAMANATHAN, 2000). Segundo IPCC (2007) o aerossol BC absorve uma grande fração da radiação solar e é considerado um componente importante para forçar o clima. O aerossol que dispersa principalmente a radiação solar produz efeito de resfriamento, enquanto aquele que absorve a radiação solar produz efeito de aquecimento (GULERIA; KUNIAL, 2019). De acordo com Ackerman et al. (2000) os aerossóis absorventes levam ao aquecimento da baixa atmosfera, por sua vez, alteram a umidade relativa e a estabilidade da baixa atmosfera e, assim, influenciam a formação de nuvens e seu tempo de vida.

A Figura 18, apresenta a relação entre BC acima de $0,10 \mu\text{gm}^{-3}$ (eixo x) em relação à Emissividade Atmosférica (eixo y) representando os gráficos (a) 2017, (b) 2018 e (c) 2019, os dados foram considerados no período noturno entre 18h00min e 05h30min, utilizando-se médias mensais no período noturno, o período abrangeu os horários entre 18h00min e 05h30min, esse período representa as condições noturnas verificando insights sobre a influência do BC na Emissividade Atmosférica durante as horas em que a radiação solar não está no sistema.

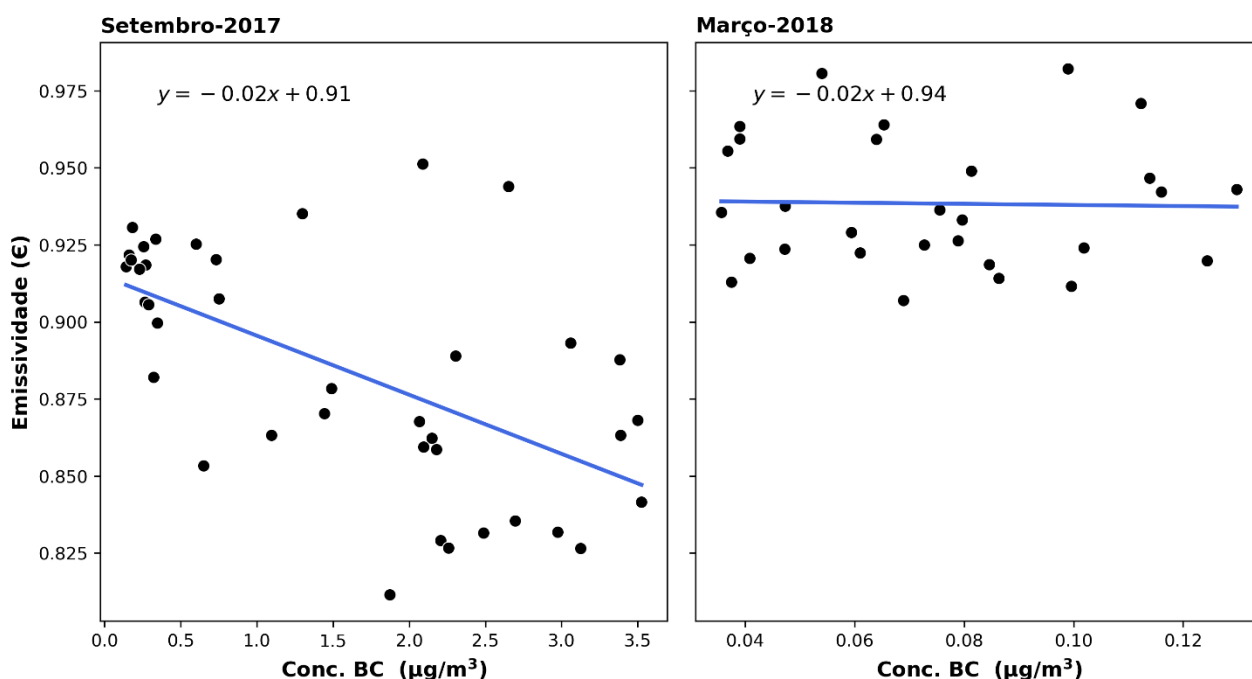


Nos três gráficos correspondentes a cada ano, é evidente que a partir de concentrações de BC superiores a $0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, há uma notável redução na Emissividade. O declínio é evidente ao observar que a Emissividade Atmosférica, que inicialmente estava em torno de 0,94 (admissional), diminui para valores abaixo de 0,88, nos anos de 2018 e 2019 a diminuição da Emissividade Atmosférica se dá principalmente nos meses de julho, agosto e setembro (período quente e seco). A análise dos gráficos sugere que as concentrações de BC acima de $0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ influenciam de maneira notável a Emissividade. Isso indica que o aumento na concentração de aerossol pode ter um papel significativo na diminuição da Emissividade Atmosférica, sem afirmar diretamente que a Emissividade seja menor, mas sim influenciada pela presença de BC.

Um estudo conduzido por Mendonça (1996) em Santo Antônio do Leverger durante a estação seca de 1994, resultou em uma média diária de emissividade atmosférica de 0,85. Curado (2011) realizou uma estimativa da emissividade atmosférica no Pantanal Mato-Grossense no período de janeiro a setembro de 2008, obtendo uma média de 0,88 para a estação chuvosa e 0,82 para a estação seca. Por sua vez a análise de Silva et al. (2019) sobre o desempenho de diversos métodos de estimativa da emissividade atmosférica, incluindo o modelo de Brutsaert, na região do Cerrado Campo Sujo, na baixada cuiabana, obtendo valores que variaram de 0,80 a 0,91 no ano de 2009. Outro estudo, conduzido por Me Mendonça (1996) em Santo Antônio do Leverger durante a estação seca de 1994, resultou em uma média diária de emissividade atmosférica de 0,85. Silva (2021) realizou estudo nos períodos seco e chuvoso

do Pantanal e concluiu que nos meses chuvosos tiveram os maiores valores da emissividade atmosférica em comparação com os meses do período seco. Setembro registrou o menor valor da emissividade atmosférica.

Na Figura 19 mostra a relação entre Concentrações de BC (eixo x) com Emissividade Atmosférica (eixo y) no mês de setembro de 2017 (a) este sendo o representativo do período quente e seco e de março de 2018 (b), sendo este um período quente e úmido, foram calculadas as médias diárias dos trinta dias dos dois meses em questão o período corresponde ao mesmo estudado no gráfico anterior.



Visto que as concentrações de BC são maiores no período seco, observa-se que no mês de março quando não têm-se muita concentração do aerossol a Emissividade Atmosférica permanece estável em todos os níveis de concentrações, já no mês de setembro onde o BC tem sua maior taxa de concentração observa-se que a emissividade decai bastante principalmente a partir da concentração de $0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Essa observação contra intuitiva sugere que, em setembro, apesar das altas temperaturas no ecossistema, a Emissividade Atmosférica não aumenta como seria esperado, pelo contrário ela decai. Isso sendo um elemento crucial da influência do BC em relação a emissividade, sendo um fator importante para o bloqueio da emissividade em quando o sistema está com altas concentrações do aerossol. O aumento da concentração de BC, causa um aquecimento nas camadas atmosféricas, já que as partículas são fortes absorvedoras

da radiação solar. Esse aquecimento traz como consequência uma camada atmosférica mais estável e seca, pois a umidade disponível no ar se distribui entre as partículas, podendo causar a diminuição e evaporação da nuvem inibindo assim a precipitação (GRIMM et al., 2012; JIN et al., 2005; ANDREAE et al., 2004). Por conta do fator de redução da umidade e consequentemente das nuvens pelo aumento da concentração de BC a emissividade atmosférica é menor. Já no período chuvoso, com alto teor de umidade e baixa concentração de BC a emissividade é maior.

4.5 Variação da concentração de *Black Carbon* na Radiação Global, Radiação Líquida e na Emissividade Atmosférica

Essa seção dos resultados e discussão apresenta a análise da variação da concentração de BC em relação às variáveis Rg, Rn e Emissividade Atmosférica, foi calculada a média mensal das concentrações de cada variável para cada mês, abrangendo o período de janeiro a dezembro ao longo dos três anos de estudo. Para as medições de Rg, o período diurno foi compreendido entre as 06h00min e 17h30min, no caso de Rn, todas as horas do dia foram consideradas, abrangendo tanto o período diurno quanto o noturno, quanto à Emissividade Atmosférica, as medições foram concentradas no período noturno, das 18h00min às 05h30min.

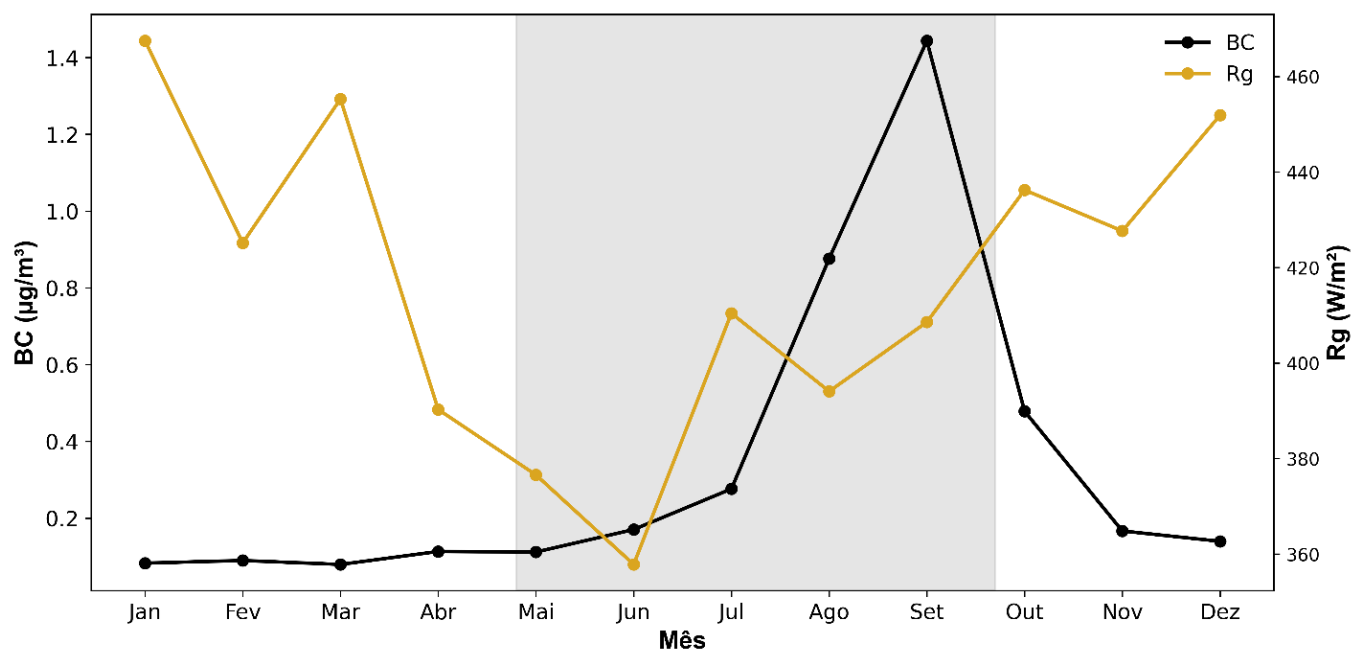


Figura 20: Variação da concentração de *Black Carbon* em relação a Rn nos anos de 2017 a 2019.

Fonte: Elaborada pela autora.

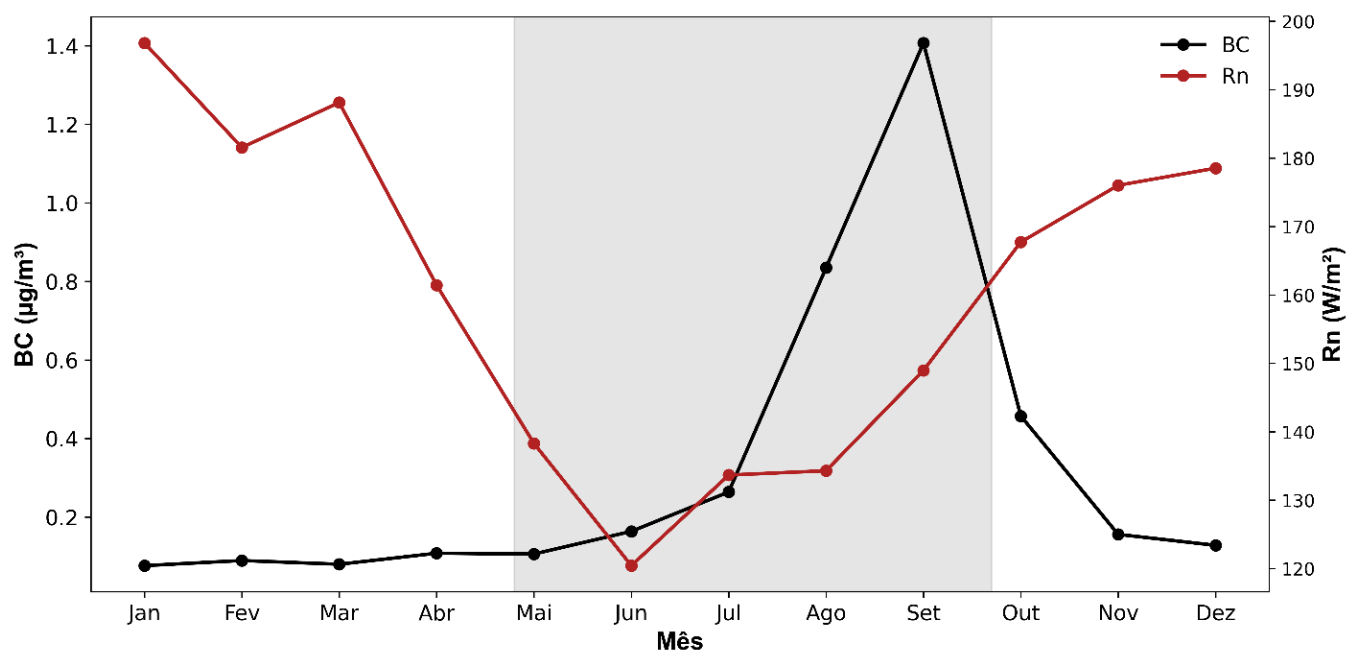


Figura 21: Variação da concentração de *Black Carbon* em relação a Rn nos anos de 2017 a 2019.

Fonte: Elaborada pela autora.

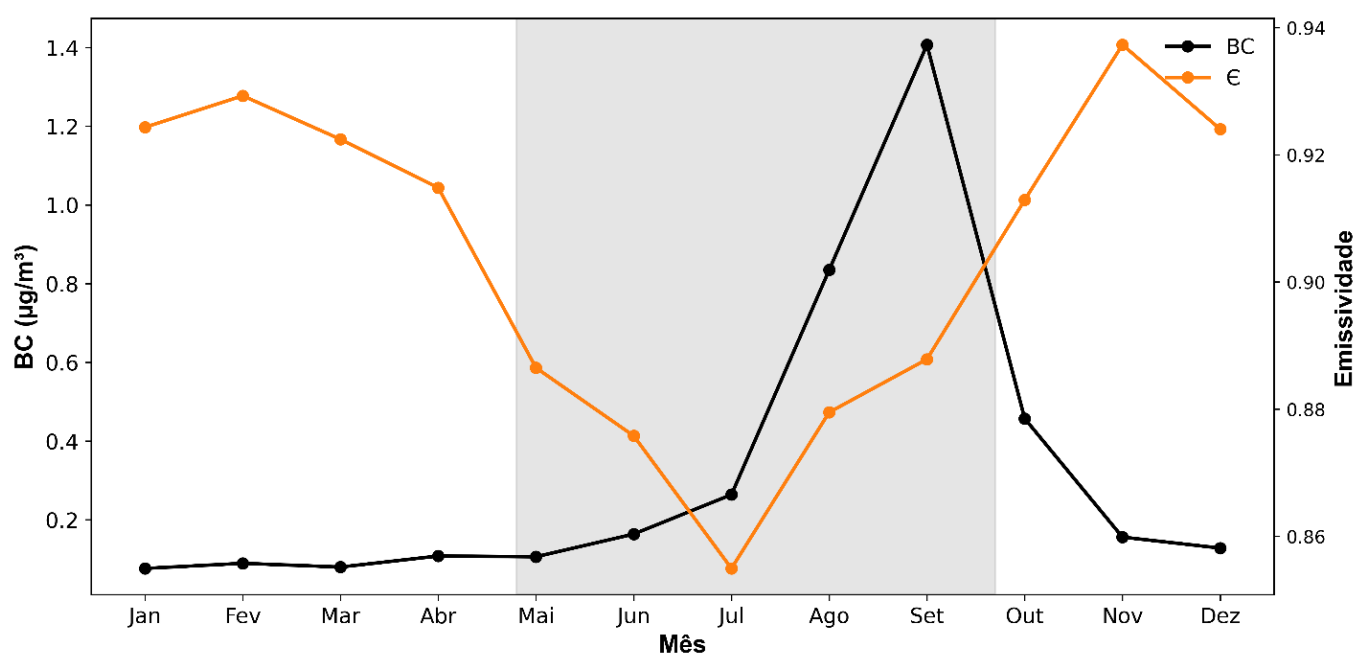


Figura 22: Variação da concentração de *Black Carbon* em relação a Emissividade Atmosférica nos anos de 2017 a 2019. Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que essas variáveis apresentam padrões de variação opostos durante todo o período analisado. Quando o aerossol BC começa a ter concentrações mais elevadas, no período quente e seco sendo realçado no gráfico por meio de um fundo mais cinza, esse aumento nas concentrações inicia em junho e atinge o pico em setembro, nota-se esta tendência nos três gráficos. Enquanto as outras variáveis, como R_g e R_n , diminuem nesse drasticamente no mesmo período (Figura 20 e 21). Esse fenômeno também é influenciado pelo início do inverno na região e a inclinação do sol na América do Sul. Durante o inverno, o ângulo de incidência solar é menor, resultando em menor radiação solar direta e, portanto, menor R_g e R_n . No entanto, o aumento das concentrações de BC também tem um impacto significativo na interação entre a radiação solar e a atmosfera. O BC absorve a radiação solar e gera aquecimento nas camadas atmosféricas, o que, por sua vez, leva a uma camada atmosférica mais estável e seca. Isso ocorre porque a umidade disponível no ar é redistribuída entre as partículas de BC, reduzindo a umidade disponível para formar nuvens.

O resultado desse processo é uma diminuição na emissividade atmosférica, conforme observado na (Figura 22). Durante o período quente e seco, a emissividade atmosférica é menor devido à presença do BC. Em contraste, no período chuvoso, caracterizado por um alto teor de umidade e baixa concentração de BC, a emissividade é maior. Isso pode ter como consequência a diminuição e evaporação de nuvens, inibindo a ocorrência de precipitação.

A presença de grandes concentrações de BC influencia não apenas a concentração de partículas atmosféricas, mas também a interação entre radiação solar, umidade e estabilidade atmosférica, o que, por sua vez, afeta a emissividade e, consequentemente, os padrões de precipitação na região estudada.

Uma possível explicação para esses resultados é o fato de que os aerossóis estão fortemente associados ao ciclo hidrológico, funcionam como núcleo de condensação de nuvens (NCN), podem modificar as suas propriedades microfísicas, suas propriedades radiativas, a cobertura total das nuvens e o seu ciclo de vida (ARTAXO et al., 2009; FORSTER et al., 2007; GULERIA; KUNIAL, 2019).

A absorção da radiação pelos aerossóis resulta em forçamento positivo no topo da atmosfera, particularmente nas regiões com alta refletância superficial e, as florestas tropicais são de médias refletâncias, portanto, produz um efeito de aquecimento líquido na atmosfera. Os aerossóis absorventes levam ao aquecimento da baixa atmosfera, por sua vez, alteram a umidade relativa e a estabilidade da baixa atmosfera e, assim, influenciam a formação de nuvens e seu tempo de vida.

5. CONCLUSÃO

A prática de uso do fogo para limpeza de pastagens, preparação de áreas agrícolas e expansão das atividades pecuárias é uma das principais causas dos incêndios no Pantanal.

As concentrações de BC são mais elevadas durante os meses do período quente e seco no Pantanal, particularmente em setembro. Essa tendência está diretamente relacionada às queimadas que ocorrem nesse período, já que o BC é gerado a partir da queima de biomassa. No período chuvoso, as concentrações de BC são significativamente mais baixas, não ultrapassando a concentração de $0,2 \mu\text{gm}^{-3}$.

A análise do Co-espectro sugere que ao longo desses 3 anos, eventos específicos ou padrões sazonais desempenharam um papel importante na intensificação da influência mútua entre os dados, sendo evidenciada a influência do BC nas variáveis micrometeorológicas no período de defasagem de 1 ano. Essa relação significativa entre as séries de dados é crucial para entender as dinâmicas complexas que ocorrem na atmosfera do Pantanal. Isto reforça a complexidade das relações entre BC e as variáveis meteorológicas no Pantanal e destaca a necessidade de um estudo mais aprofundado para entender completamente os mecanismos subjacentes a essas interações e seus impactos no clima e no meio ambiente da região.

Quando as concentrações de BC atingem valores acima de $0,10 \mu\text{gm}^{-3}$, ocorre uma redução na R_g e na R_n , principalmente durante os meses de maior concentração de BC (julho, agosto e setembro). Isso ocorre devido à capacidade do BC de absorver intensamente a radiação solar, resultando em um aquecimento da atmosfera e redução da quantidade de radiação solar que atinge a superfície. Durante o período de maior concentração de BC, a Emissividade Atmosférica tende a diminuir, indicando uma atmosfera mais estável e seca.

As concentrações de BC aumentam durante a estação seca, contribuindo para o bloqueio da radiação solar direta e influenciando a estabilidade atmosférica. Isso pode afetar os padrões de precipitação na região e tem implicações para o clima local e regional. Esses resultados destacam a importância de considerar o BC como um componente relevante nas discussões sobre mudanças climáticas e interações atmosféricas no Pantanal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, A. S.; TOON, Owen B.; TAYLOR, J. P.; JOHNSON, Doug W.; HOBBS, P. V.; FERREK, Ronald J. Effects of Aerosols on Cloud Albedo: evaluation of twomey's parameterization of cloud susceptibility using measurements of ship tracks. **Journal Of The Atmospheric Sciences**, [S.L.], v. 57, n. 16, p. 2684-2695, ago. 2000. American Meteorological Society. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2000\)057<2684:EOAOCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2000)057<2684:EOAOCA>2.0.CO;2).

AGENCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Dados ambientais**. 2018. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/servicos/dados-ambientais/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

ANDREAE, M. O., ROSENFELD, D., ARTAXO, P., COSTA, A. A., FRANK, G. P., LONGO, K. M., & SILVA-DIAS, M. A. F. D. Smoking rain clouds over the Amazon. **science**, v. 303, n. 5662, p. 1337-1342, 2004.

ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; RIZZO, L.V.; PIRES JUNIOR, F.C.; PAIXÃO, M.A.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; CORREIA, A.L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 168- 189, 2006. Disponível em:<http://ftp.lfa.if.usp.br/ftp/public/Publications_Paulo_Artaxo/2006/Efeitos_climaticos_aerossóis_de_queimadas_e_biogenicos_Rev_Bras_Meteorologia_Dezembro_2006_Paulo_Artaxo.pdf>. Acesso em 03 de março de 2023.

ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; PAIXÃO, M.; LUCCA, S.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; WIEDEMANN, K. T.; ANDREAE, M. O.; HOLBEN, B.; SCHAFER, J. Aerosol particles in Amazonia: their composition, role in the radiation balance, cloud formation, and nutrient cycles. **Amazonia And Global Change**, [S.L.], p. 233-250, 2009. American Geophysical Union. <http://dx.doi.org/10.1029/2008gm000778>.

BIBI, S.; ALAM, K.; CHISHTIE, F.; BIBI, H.; RAHMAN, S. Temporal variation of *Black Carbon* concentration using Aethalometer observations and its relationships with meteorological variables in Karachi, Pakistan. **Journal Of Atmospheric And Solar-Terrestrial Physics**, [S.L.], v. 157-158, p. 67-77, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2017.03.017>.

BIUDES, M. S., VOURLITIS, G. L., MACHADO, N. G., ZANELLA DE ARRUDA, P. H., RODRIGUES NEVES, G. A., LOBO, F. D. A., USHER NEALE, C. M., AND NOGUEIRA, J. D. S.: Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil, **Agr. Forest Meteorol.**, 202, 112–124, doi:10.1016/j.agrformet.2014.12.008, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>.

BOND, T. C. et al. Bounding the role of *black carbon* in the climate system: A scientific assessment. **Journal of geophysical research: Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5380-5552, 2013.

BOND, T. C., BERGSTROM, R. W. Light absorption by carbonaceous particles: An investigative review. **Aerosol science and technology**, v. 40, n. 1, p. 27-67, 2006.

BOUCHER, O. Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts. **Springer**, Paris. (2015).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução CONAMA n. 3 de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial da União**, 22/08/1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 19 de jun. De 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. (Série Biodiversidade, 17).

CAPP, E.; NIENOV, O.H. **Bioestatística quantitativa aplicada**. Porto Alegre: UFRGS, 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/213489/001117628.pdf?sequence=1>>. Acesso em 12 de jun de 2023.

CARLESSO, F. et al. Conceitos básicos de radiômetros de substituição elétrica para medidas da Irradiância Solar Total. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, p. 1-10, 2019.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aquecimento do Planeta**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/aquecimento-do-planeta/>. Acesso em: 03 jun. 2023.

CHARLSON, R. J.; SCHWARTZ, S. E.; HALES, J. M.; CESS, R. D.; COAKLEY, J. A.; HANSEN, J. E.; HOFMANN, D. J.. Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols. **Science**, [S.L.], v. 255, n. 5043, p. 423-430, 24 jan. 1992. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.255.5043.423>.

CONTERNO, I. **"Black carbon": concentração de fuligem na atmosfera tem relação com o uso do solo na Amazônia**. 2022. JORNAL DA USP. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/black-carbon-concentracao-de-fuligem-na-atmosfera-tem-relacao-com-o-uso-do-solo-na-amazonia/>. Acesso em: 03 jun. 2023.

CORREIA, A. L.; YAMASOE, M. A.; BARBOSA, H. M. J.; COSTA, S. S.; MACHADO, L. A. T.; PROCÓPIO, A. S.; YNOUE, R. Y.; CEBALLOS, J. C.; CORRÊA, M. P.; DIAS, M. A. F. S.; MARTINS, F. R. Forçantes radiativas naturais e antrópicas, UFJF: Juiz de fora, cap 7. 32, 2021. **Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas — IPCC**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf>. Acesso em: 26 jan. de 2024.

COSTA, A. A.; PAULIQUEVIS JÚNIOR, T. M.; SOUZA, E. P.; MARTINS, J. A.; YAMASOE, M.; ANDRADE, M. F.; BARBOSA, J. H. M. **AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E NUVENS**. 6. ed. Rio de Janeiro: Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. 28 p, 2014.

COUTO, C. M. D. **Radiação de onda longa atmosférica na superfície em regiões Subúmida e semiárida da Bahia**. 64 f, 2020. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2020. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Cosme_Mateus_Dias_Couto.pdf. Acesso em: 02 out. 2023.

CURADO, L. F. A. **ESTIMATIVA SAZONAL DA EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE**. 72 f, 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

DA SILVA, K. O., MORAES, S. O., MIRANDA, J. H., & PALMIERI, A. M. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Engenharia Agrícola**, 27(3), 630-638, 2007.

DUARTE, L. G. **ANÁLISE SAZONAL E INTERANUAL DO BALANÇO DE ENERGIA NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**. 2020. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

FIOCRUZ. **INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PANTANAL 2020**. Cuiabá: Ministério da Saúde, 2020. 11 p.

FORSTER, Piers et al. Mudanças nos constituintes atmosféricos e no forçamento radiativo. Capítulo 2. In: **Climate Change 2007. The Physical Science Basis**.

GARCÍA, O. E.; DÍAZ, J.P.; EXPÓSITO, F.J.; DÍAZ, A.M.; DUBOVIK, O.; DERIMIAN, Y.; DUBUISSON, P.; ROGER, J-C. Shortwave radiative forcing and efficiency of key aerosol types using AERONET data. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 12, n.11, p. 5129 – 5145, 2012.

GRIMM, A. M.; SAMPAIO, G.; VON RANDOW, C.; REBELLO, E. R. G.; LACERDA, F. F.; DINIZ, F. de A. et al. Observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície In: PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Grupo de Trabalho 1 - Base Científica das Mudanças 33 Climáticas. **Primeiro relatório de avaliação nacional sobre mudanças climáticas**. 2012.

GURBUZ, G. Sobre as variações do vapor de água precipitável decadal (PWV) sobre a Turquia. **Advances in Space Research**, 2021.

GUNDEL, L. A., DOD, R. L., ROSEN, H., e NOVAKOV, T.: The relationship between optical attenuation and *black carbon* concentration for ambient and source particles, **Sci. Total Environ.**, 36, 197–202, 1984.

HELAL, A. A et al. EstAcqua: **Proposta de solução integrada de Hardware, Software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental**. In: Anais do XLV Seminário Integrado de Software e Hardware. SBC, 2018.

HIGHWOOD, Eleanor J.; KINNERSLEY, Robert P. When smoke gets in our eyes: The multiple impacts of atmospheric *Black Carbon* on climate, air quality and health. **Environment international**, v. 32, n. 4, p. 560-566, 2006.

JIN, M; SHEPHERD, J. M.; KING, M. D. Urban aerosols and their variations with clouds and rainfall: A case study for New York and Houston. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 110, n. D10, 2005.

KAHNERT, M.; KANNGIEßER, F. Modelling optical properties of atmospheric *Black Carbon* aerosols. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 244, p. 106849, 2020.

KUNIYAL, J. C.; GULERIA, R. P. The current state of aerosolradiation interactions: a mini review. **Journal of Aerosol Science**, v. 130, p. 45-54, 2019.

LIMA, R. S., DOS SANTOS, V. B., GUERREIRO, T. B., DE ARAÚJO, M. C. U., & DA NÓBREGA GAIÃO, E. UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA O MONITORAMENTO ON-LINE, IN SITU E REMOTO DE pH, CONDUTIVIDADE E TEMPERATURA DE ÁGUAS. **Quim. Nova**, 34(1), 135- 139, 2011.

MARTIN, S.T., et al., 2010b: Sources and properties of Amazonian aerosol particles. *Rev. Geophys.*, 48, RG2002, doi:10.1029/2008RG000280.

MARTINS, A. L. **RELAÇÃO ENTRE O BALANÇO DE ONDAS LONGAS E O EFEITO ESTUFA EM ÁREA DE PASTAGEM COM FRAGMENTOS DE CERRADO STRICTO.**

MARTINS, J.A. **Efeito dos núcleos de condensação na formação de nuvens e o desenvolvimento da precipitação na região amazônica durante a estação seca.** 198 f Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

NUNES DA CUNHA, C., JUNK, W. J., LEITÃO-FILHO, H. F., 2007. Woody vegetation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil: a preliminar typology. **Amazoniana**. 19, 159-184. <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-000FD797-5>.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). 2014—Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional Sobre Mudanças Climáticas; Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IPCC. **Quarto Relatório de Avaliação - AR4: Mudanças Climáticas 2007**. Genebra, Suíça: IPCC. 104 p, 2007.

PALÁCIOS, R. S.; ROMERA, K. S.; CURADO, L. F. A.; BANGA, N. M.; ROTHMUND, L. D.; SALLO, F.D.S.; MORAIS, D.; SANTOS, A. C. A.; MORAES, T. J.; MORAIS, F.G.; LANDULFO, E.; FRANCO, M. A. M.; KUHNEN, I. A.; MARQUES, J. B.; NOGUEIRA, J. S.; JÚNIOR, L. C. G. D. V.; RODRIGUES, T. R. Long Term Analysis of Optical and Radiative Properties of Aerosols in the Amazon Basin. **Aerosol Air Qual. Res.** 20, 139- 154, 2020. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.04.0189>.

PALÁCIOS, R.F.; ROMERA, K.; RIZZO, L.; CIRINO, G.; ADAMS, D.; IMBIRIBA, B.; NASSARDEN, D.; ROTHMUND, L.; SIQUEIRA, A.; BASSO, J.; RODRIGUES, T.; CURADO, L.; WEBER, A.; NOGUEIRA, J.; MORAIS, F.; ARTAXO, P. Optical properties and spectral dependence of aerosol light absorption over the Brazilian Pantanal. **Atmospheric Pollution Research**, v. 13, n. 5, p. 101413, maio de 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101413>.

PENATTI, N. C.. 232 f. 2014. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Apostila. USP/ESALQ, 192 p, 2007.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; MORAES, E. C; SHIMABUKURO, Y. E.; FREITAS, O. E.; SHIMABUKURO, S. R. ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

PARA O BIOMA PANTANAL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)**, São Paulo, Geografia, dez, v. 64, p. 655-665, 2009. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/publicacoes/2geo/Cap-3.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

PERIN, A. L. **DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DE EMISSIVIDADE**. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/thami/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/MESTRADO-2022-2/DISSERTA%C3%87%C3%83O/REVIS%C3%83O%20DE%20LITERATURA/Artigo-Emissividade.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2023.

PINTO, A. B. L. **Pecuária bovina e os impactos do desmatamento e das queimadas no Pantanal Norte / MT**. Universidade Federal de Mato Grosso. 14º EGAU (Encontro de Geógrafos da América Latina). 2013.

PÖSCHL, U., et al., 2010: Rainforest Aerosols as Biogenic Nuclei of Clouds and Precipitation in the Amazon. *Science*, 329, 1513-1516.

QUERINO, C.A.S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica horária no estado de Mato Grosso. 2016 Tese (Doutorado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso. **Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso**, 2016.

RAMOS, C.F. V. **Sistema de automatização para agricultura de precisão**. 122 f. Tese de Doutorado.- Curso Engenharia Informática - Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2019 .

RAMACHANDRAN, S.; KEDIA, S. Aerosol radiative effects over an urban location and a remote site in western India: seasonal variability. **Atmospheric environment**, v. 45, n. 39, p. 7415-7422, 2011.

RAYL, J. ; BROWNSON, J. R. S.; YOUNG, G. CLIMATE-REGIME COSPECTRUM ANALYSIS: SHORTWAVE SOLAR IRRADIANCE FOR REGIONALLY SPACED LOCALES. In **World Renewable Energy Forum, Wref 2012, Including World Renewable**

Energy Congress XII And Colorado Renewable Energy Society (Cres) Annual Conference, Colorado, p. 1957-1962. 2012.

RAYMUNDO, K. S. R. DEPENDÊNCIA ESPECTRAL DE ABSORÇÃO E PROPRIEDADES ÓTICAS DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

RAYMUNDO, K. S. R. INFLUÊNCIAS DO BROWN CARBON E *BLACK CARBON* NA FORÇANTE RADIATIVA DOS AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2023.

RIZZO, L. V., CORREIA, A. L., ARTAXO, P., PROCOPIO, A. S., e ANDREAE, M. O. Spectral dependence of aerosol light absorption over the Amazon Basin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 17, p. 8899-8912, 2011.

RODRIGUES, N., SILVA, L., OLIVEIRA, A., PINILLOS, A. C., & SOUZA, C. ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL E QUANTIFICAÇÃO DE FOCOS DE CALOR, NA ÁREA FISIAGRÁFICA DO PANTANAL MATOGROSSENSE. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, **Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.10, n.19; p. 295. 2014.

ROTHMUND, L. D. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS E DE AEROSSÓIS. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2022.

SAMSET, B. H.; MYHRE, G.; SCHULZ, M.; BALKANSKI, Y.; BAUER, S.; BERNTSEN, T. K.; BIAN, H.; BELLOUIN, N.; DIEHL, T.; EASTER, R. C.; GHAN, S. J.; IVERSEN, T.; KINNE, S.; KIRKEVAG, A.; LAMARQUE, J. F.; LIN, G.; LIU, X.; PENNER, J. E.; SELAND, O.; SKEIE, R. B.; STIER, P.; TAKEMURA, T.; TSIGARIDIS, K.; ZHANG, K. *Black carbon vertical profiles strongly affect its radiative forcing uncertainty* **Atmos. Chem. Phys.** 13, 24231, 2013.

SANDRADEWI, J. et al. A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 1, p. 101-112, 2008.

SANTOS, A. C. A. **ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATOGROSSENSE**. 2018. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

SANTOS, A. C. A.; FINGER, A.; NOGUEIRA, J. S.; CURADO, L. F. A.; PALÁCIOS, R. S.; PEREIRA, V. M. R. Análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato Grosso. **Quim. Nova**, v. 39, n. 8, p. 919-924, 2016.

SANTOS, S. A. et al. Plantas invasoras no pantanal: Como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo. **Embrapa Pantanal Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2006.

SATHEESH, S. K.; RAMANATHAN, V.. Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface. **Nature**, [S.L.], v. 405, n. 6782, p. 60-63, maio 2000. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/35011039>.

SCHMID, H., LASKUS, L., ABRAHAM, H. J., BALTENSPERGER, U., LAVANCHY, V., BIZJAK, M., BURBA, P., CACHIER, H., CROW, D., CHOW, J., GNAUK, T., EVEN, A., TEM BRINK, H. M., GIESEN, K. P., HITZENBERGER, R., HUEGLIN, E., MAENHAUT, W., PIO, C., CARVALHO, A., PUTAUD, J. P., TOOM-SAUNTRY, D., e PUXBAUM, H.: Results of the “carbon conference” international aerosol carbon round robin test stage I, **Atmos. Environ.**, 35, 2111–2121, 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. I.N. 04/2023 SEMA/MT - SIMCAR e áreas consolidadas. Cuiabá: 12 de julho de 2023.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. **Química e física atmosférica: da poluição do ar às mudanças climáticas**. John Wiley & Sons, 2016.

SENA, E. T.; ARTAXO, P.; CORREIA, A. L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 3, p. 1261-1275, 2013.

SENSU. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

SESC PANTANAL. **20 anos de SESC Pantanal: A maior reserva particular do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.sescpantanal.com.br/hotel.aspx?s=12>. Acesso em: 10 out. 2023.

SILVA, H. J. A. **Influência da variação sazonal da concentração De *Black Carbon* Na Emissividade Atmosférica Do Pantanal Mato-Grossense**. 2021. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

SILVA, J.B et al. Evaluation of methods for estimating atmospheric emissivity in Mato-Grossense Cerrado. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 3, 2019.

SOUZA, A.P.; ESCOBEDO, J.F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 483-491, 21 set. 2013. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i3a1894>.

TALUKDAR, S. et al. Characteristics of *Black Carbon* concentration at a metropolitan city located near land–ocean boundary in Eastern India. **Atmospheric Research**, v. 153, p. 526-534, 2015.

TRENBERTH. K.E.; FASULLO. J.T.; KIEHL. J. Earth's global energy budget. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 90, n. 3, p. 311-323, 2009.

VIGANÓ, H. H. G; SOUZA, C. C.; CRISTALDO, M. F.; REIS NETO, J. F.; JESUS, L. Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir das técnicas de análise multivariada. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Os Applid Science**, [s. l], v. 13, n. 5, p. 1-13, 22 out. 2018. Mensal.

WOLF, A., LACA, E.A. Cospectral analysis of high frequency signal loss in eddy covariance measurements. **Atmos. Chem. Phys.**, in press.

ZHANG, H.; ZHU, S.; ZHAO, S.; WEI, X. Establishment of high-resolution aerosol parameterization and its influence on radiation calculations. **Journal Of Quantitative Spectroscopy And Radiative Transfer**, [S.L.], v. 243, p. 106802, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106802>.