



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PORTO NACIONAL
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MARCUS DE SOUZA COSTA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS ESTUDOS DA RELAÇÃO ENTRE FOGO
E CERRADO**

PORTO NACIONAL
2022

MARCUS DE SOUZA COSTA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS ESTUDOS DA RELAÇÃO ENTRE FOGO
E CERRADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Porto Nacional para a obtenção do título de bacharel em ciências biológicas.

Orientador:
Prof. Dr. Rodney Haulien Oliveira Viana

PORTO NACIONAL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C837a Costa, Marcus de souza .

Análise bibliométrica dos estudos da relação entre Cerrado e fogo. /
Marcus de souza Costa. – Porto Nacional, TO, 2022.

42 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Porto Nacional - Curso de Ciências Biológicas, 2022.

Orientador: Rodney Haulien oliveira viana

1. Savanas. 2. Ecologia do fogo. 3. Mudanças Climáticas. 4. Dynamic
Global Vegetation Models. I. Título

CDD 570

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

MARCUS DE SOUZA COSTA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS ESTUDOS DA RELAÇÃO ENTRE FOGO
E CERRADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Porto Nacional. Foi avaliada para a obtenção do título de bacharel em ciências biológicas e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela banca examinadora

Data de aprovação:

Banca examinadora:

Prof. Dra. Solange Fátima de Lolis, UFT

Lucas Elias Borges, UFT

Prof. Dr. Rafael de Oliveira, UFT

RESUMO

O Cerrado pode ser definido como um domínio contendo distintas fitofisionomias, cobrindo cerca de 2 milhões de Km² somente aqui no Brasil. Uma das principais características do Cerrado é a sua íntima relação com o fogo, que o dá forma e influencia em vários processos ecológicos. Dado a vasta quantidade de material sobre esse assunto (artigos, capítulos de livros, anais) é esperado que alguns acabem se destacando mais e agregando um peso significativo para a estrutura intelectual do assunto. O presente trabalho traz uma análise bibliométrica por meio da análise de citações sobre o que é estudado nas relações entre o fogo e Cerrado. A análise bibliométrica é realizada a partir de dados obtidos na Web of Science e conta com a ajuda do VOSviewer, um software específico para esse tipo de análise. Os dados são analisados pelo algoritmo e os documentos com mais citações são selecionados e agrupados em clusters. Cada documento selecionado pelo VOSviewer foi discutido separadamente, dando ênfase nas conexões com outros documentos alvo de discussão. A discussão revela a relação entre cerrado e fogo como um assunto vasto, com muitas questões e respostas. Os documentos que mais se destacam estão relacionados à distribuição do Cerrado e os principais drivers que controlam essa distribuição. O CO₂ e as consequências das mudanças climáticas também são protagonistas nos documentos mais influentes. Além disso, mesmo com essa vasta quantidade de estudos, os ecólogos ainda estão em busca de muitas respostas. Isso é um ponto citado pela maioria dos documentos. Portanto é necessário a mobilização de ecólogos para se aprofundarem ainda mais nos estudos do fogo no Cerrado.

Palavras-chave: Savanas; Ecologia do fogo; Mudanças climáticas; Dynamic Global Vegetation Models.

ABSTRACT

The Cerrado can be defined as a domain containing different phytophysiognomies, covering about 2 million km² here in Brazil alone. One of the main characteristics of the Cerrado is its close relationship with fire, which shapes it and influences various ecological processes. Given the vast amount of material on this subject (articles, book chapters, annals) it is expected that some will end up standing out more and adding significant weight to the intellectual structure of the subject. The present work brings a bibliometric analysis through the analysis of citations about what is studied in the relationship between fire and Cerrado. Bibliometric analysis is performed from data obtained from the Web of Science and relies on the help of *VOSviewer*, a specific software for this type of analysis. The data is analyzed by the algorithm and the documents with the most citations are selected and grouped into clusters. Each document selected by *VOSviewer* was discussed separately, with emphasis on connections with other documents under discussion. The discussion reveals the relationship between cerrado and fire as a vast subject, with many questions and answers. The documents that stand out the most are related to the Cerrado distribution and the main drivers that control this distribution. CO₂ and the consequences of climate change are also protagonists in the most influential documents. Furthermore, even with this vast amount of studies, ecologists are still searching for many answers. This is a point cited by most documents. Therefore, it is necessary to mobilize ecologists to delve even further into the studies of fire in the Cerrado.

Keywords: Savannas; Fire ecology; Climate changes; Dynamic Global Vegetation Models.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	METODOLOGIA.....	9
	2.1 Definição do objetivo e amplitude.....	9
	2.2 Coleta de dados.....	9
	2.3 Palavras-chave.....	9
	2.4 Tratamento de dados.....	10
	2.5 Execução da análise.....	11
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
	3.1 Cluster I.....	12
	3.1.1 Bond e Midgley (2012)	13
	3.1.2 Murphy e Bowman (2012).....	15
	3.1.3 Grace et.al	19
	3.1.4 Hoffman et.al.....	21
	3.2 Cluster II.....	22
	3.2.1 Bond, Woodward, Midgley (2004).....	22
	3.3 Cluster III.....	29
	3.3.1 Bond (2008)	29
	3.3.2 Langevelde et al. (2003)	31
	3.4 Cluster IV.....	32
	3.4.1 Bond e Keeley (2005)	32
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O Fogo é uma reação química exotérmica resultante da oxidação de material combustível acarretando na liberação de luz, calor e produtos da reação como CO₂ e água. Estando presente desde os primórdios da formação da terra, o fogo é um elemento decisivo e crucial na história evolutiva dos homens.

Entretanto, o fogo não está relacionado somente à história dos homens. O fogo vem queimando diversos ecossistemas em uma escala global por milhares de anos, dando forma e manutenção a esses ecossistemas (BOND; KEELEY, 2005). Entre os ecossistemas que contam com o fogo como agente ecológico se destaca o Cerrado: um domínio de biomas que ocupa cerca de 2 milhões de quilômetros quadrados aqui no Brasil (NASCIMENTO, 2001) e que ao longo das eras paleontológicas foi fortemente influenciado pelo fogo (BEERLING; OSBORNE, 2006; CERLING et al., 1997). Diversos autores têm estudado e feito experimentos com o cerrado ao longo do tempo, fazendo ligações entre o dinamismo do fogo com elementos bióticos e abióticos do domínio cerrado. No livro “Ecological Studies”, Coutinho (1990) relaciona o fogo com a temperatura do solo, do ar e com a ciclagem de nutrientes. Também liga o fogo a aspectos como resistência, dispersão de sementes e estabilidade da vegetação. Semelhante a Coutinho, outros autores fazem ligação entre o fogo e fatores bióticos e abióticos (KRAFT et al., 2015; BOND e MIDGLEY, 2012; BOWMAN et al., 2009; JIN, 2010) dando ênfase na importância do fogo pro Cerrado.

Além disso, questões como a do fogo antrópico tem sido pauta de uma discussão calorosa no meio científico. Para Fidelis (2020) biomas reagem de forma específica ao fogo. No caso das savanas trata-se de um ambiente propenso à queimada e que necessita dela para sua manutenção. O problema é quando a ação humana altera os padrões de queimada em um local: suprimindo o fogo ou contribuindo para uma queima desproporcional naquele ambiente. Em concordância, Gomes, Miranda e Bustamantes (2018) apontam que a ação humana, em função da agricultura, vem alterando o padrão natural de queimadas no Cerrado. Um dos reflexos disso é o fato de que cerca de 73% da área queimada no Brasil entre 2002 e 2010 é Cerrado. (ARAÚJO et al., 2012). Já o gás carbônico tem tido seu espaço para discussões em função da relação entre ambientes com queimadas constante, já que o aumento de CO₂ atmosférico pode favorecer árvores de grande porte em áreas de savana aberta (BOND, 2012)

Para se ter uma ideia da quantidade de estudos, uma rápida pesquisa no google acadêmico e bases de dados como a Web of Science pode gerar mais de mil resultados sobre o

assunto cerrado e fogo. Dada a “enorme” quantidade de artigos e outras formas de documentos sobre o assunto, inevitavelmente alguns trabalhos irão se destacar, e essa é a questão principal que move o presente trabalho: “quais são os artigos mais influentes no estudo das relações entre o fogo e o Cerrado, e quais suas contribuições para a estrutura intelectual do tema?” E é aí que uma área de estudo entra em ação para elucidar essa questão: a bibliometria. Mas o que é a bibliometria?

O termo bibliometria não é algo inédito: a cunhagem desse termo já é registrada desde o século XX e desde então vários autores já discutiram sobre o termo (PRICHARD,1979; HAWKING,1977; SCHARDER,1981). Etimologicamente, “biblio” significa livro e “metria” a ciência de medir. Diversos autores também já discutiram sobre os termos “bibliometria” e “cientometria”, de modo que um termo não é sinônimo do outro.

Braun et al. (1985) comenta que enquanto a bibliometria tem seu foco em melhorar a documentação científica através de análises quantitativas de coleções de livrarias e seus serviços, a cientometria tem como foco o entendimento da ciência como uma atividade social. Ainda sobre a bibliometria Prichard (1969) comenta que é função da bibliometria analisar a natureza e o curso de desenvolvimento de um assunto, através da contagem da “comunicação escrita”. Neste trabalho será usada uma definição mais atual de bibliometria proposta por Donthu, et al (2021). Ele escreveu o seguinte: “Bibliometria é um método popular e rigoroso de explorar e analisar grandes volumes de dados científicos. Permite desfragmentar as nuances evolutivas em uma área, enquanto permite elucidar áreas emergentes naquela área de pesquisa”.

Mas como isso será feito? Para conseguir uma resposta pra pergunta desse trabalho foi utilizada uma das técnicas da análise bibliométrica: Science mapping. Seguindo Donthu (2021), as técnicas de análise bibliométrica se dividem em duas categorias: análise de performance e science mapping, onde Science mapping é uma forma de estabelecer relações intelectuais e conexões estruturais entre os constituintes da pesquisa (artigos). Os métodos de Science mapping incluem: análise de citações, análise de cocitações, análise de coautorias, etc. Neste trabalho será usado a análise de citações. Análise de citações é uma técnica de Science mapping que opera na premissa de que citações refletem um link intelectual entre documentos. Esse link é formado quando um documento cita o outro. Na análise de citações o impacto de uma publicação é determinado a partir do número de citações que ela recebe (APPIO et al.,2014). A análise permite destacar as publicações mais importantes dentro de uma área específica de pesquisa e embora exista uma enorme discussão sobre citações refletirem ou não a qualidade de um documento (SMITH, 1981), a citação ainda é uma forma de medir influência. (PIETERRS; BAUMGARTNER, 2002; STREMERSCHE, VERNIERS; VERHOEF,2007)

2 METODOLOGIA

Para condução deste trabalho foi utilizada a metodologia proposta por Donthu (2021) para se conduzir um estudo bibliométrico. O autor divide o processo em quatro fases distintas: definição do objetivo e da amplitude do estudo; escolha das técnicas bibliométrica; Coleta de dados e execução da análise e apresentação dos resultados. Os aspectos e particularidades de cada fase serão abordados a seguir.

2.1 Definição do Objetivo e amplitude

Para a condução de uma boa análise bibliométrica é necessário que os objetivos estejam bem definidos e que não ultrapassem os limites da bibliometria. O método a ser utilizado deve ser apropriado para responder a uma determinada pergunta. Como o foco desse trabalho é o levantamento de trabalhos influentes, a análise de citações foi escolhida para responder essa questão, uma vez que este método é sustentado por diversos autores como o ideal para responder este tipo de questão (ZUPIC; CATER, 2015; DONTHU,2021). Ao escolher a análise de citações como técnica é executado o segundo passo proposto por Donthu (2021) e pode-se então dar continuidade a análise.

2.2 Coleta de dados

Este é facilmente um dos pontos mais importantes deste trabalho, pois é a partir dos dados coletados que a análise de citações foi executada. Para coleta de dados um processo longo de levantamento bibliográfico e de tratamento dos dados foi executado. A começar pela origem dos dados, neste trabalho foi usado a Web of Science como base de dados. Na busca por documentos sobre as relações entre fogo e cerrado foi necessário a utilização de palavras-chaves, que será discutida a seguir.

2.3 Palavras-Chave

A escolha de palavras-chaves é importante para garantir uma boa filtragem de resultados que tratem sobre o assunto requerido. Sobre palavras-chave Donthu (2021) escreveu o seguinte: “Neste passo o estudante terá que definir termos de pesquisa de modo que estes darão resultados

grandes o bastante para assegurar a análise bibliométrica, e que além disso estejam dentro da área de estudo delimitada [...]”.

Além disso, a Web of Science (WoS) conta com ferramentas de pesquisa para auxiliar os usuários a encontrarem o que estão procurando. Foi usada a barra de pesquisa com as palavras chaves escolhidas e também foi necessário o uso de operadores booleanos (and, or, not) para melhor delimitar o tema. Afim de evitar um grande volume de documentos que não estão ligados ao tema de estudo a WoS fornece uma forma de limitar até onde as palavras-chave serão pesquisadas. Neste trabalho foi feita uma pesquisa por tópicos, para manter a pesquisa mais objetiva. As palavras-chave escolhidas foram “Fire”, “Ecology”, “Cerrado” e “Savannas”. As duas últimas palavras-chaves “cerrado” e “savannas”, foram pesquisadas juntas com o operador booleano “Or” para que o sistema aceitasse tanto uma quanto a outra na hora de pesquisar. Embora o conceito de cerrado e savanas tenha suas diferenças, na prática é comum assuntos que tratem do Cerrado virem com a palavra “savanna” o substituindo. Dessa forma, para evitar omissão, foi decidido que a palavra chave “Savannas” fosse aceita junto com a palavra-chave “Cerrado”.

2.4 Tratamento dos dados

Este tópico trata-se de uma série de passos que são tomados para que os dados coletados sejam adequados à condução do estudo. Isso porque dados que são coletados em base de dados como a *Web of Science* não são adequados para pesquisa bibliométrica, podendo conter citações abreviadas de forma incorreta, autores duplicados e conflitos entre sobrenomes que são muito comuns. (ZUPIC; CATER, 2015; DONTN, 2021). Nesta parte do trabalho foram utilizados dois softwares para facilitar o tratamento: *VOSviewer* e *Excel*. O *VOSviewer* é um software para construção e visualização de redes bibliométricas. Seu papel será discutido mais a frente, mas nessa parte do tratamento de dados ele foi usado para criar uma tabela contendo os artigos coletados na WoS trazendo informações como autor, número de citações, país etc. Vale lembrar que esses artigos da WoS foram exportados em um arquivo de tabulação, que é o formato aceito pelo *VOSviewer*. A tabela criada pelo *VOSviewer* foi então exportada para o *Excel*, que é um software mais apto para lidar com planilhas. No *Excel* a tabela foi ordenada em ordem decrescente em função dos números de publicações de um autor. Os autores que mais publicaram tiveram seu nome checado através da barra de pesquisas do *Excel* em busca de sinônimos. Autores que foram encontrados mais de uma vez foram sinalizados e padronizados de modo que a tabela só conte com um nome pra cada autor, eliminando assim as duplicatas. Para que essa padronização ocorresse foi necessário utilizar uma função do *VOSviewer*:

thesaurus file, que é um arquivo relatório contendo todos os autores sinônimos dentro dos dados coletados. A partir daí é criada uma nova tabela sem sinônimos (padronizada) e então o tratamento está concluído.

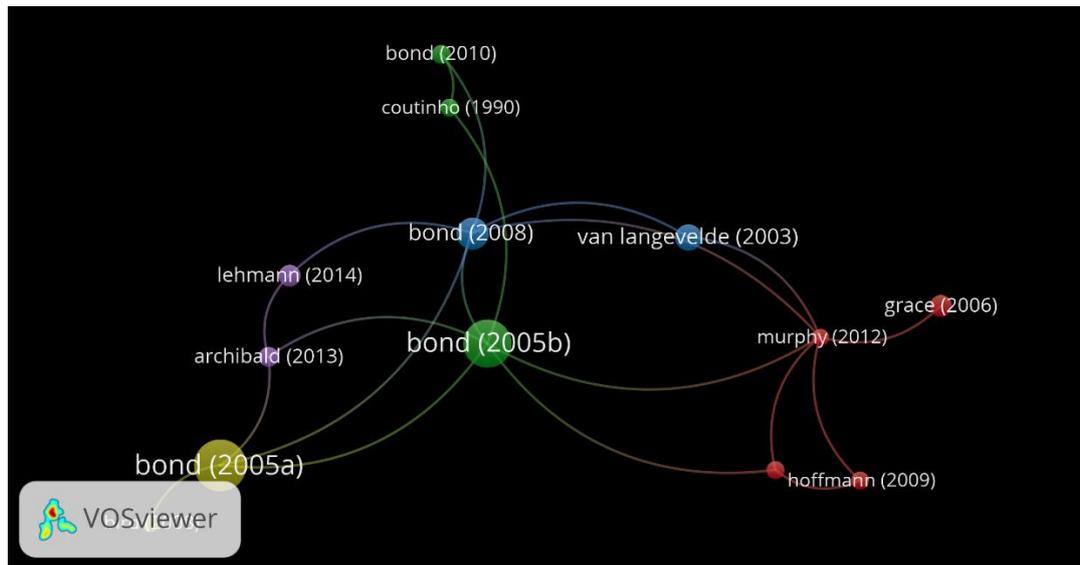
2.5 Execução da análise

Nessa parte final da coleta os dados estão tratados e prontos para serem analisados. Para facilitar a análise foi utilizado o VOSviewer, que é um programa especializado em análises bibliométricas. Ele atua criando mapas de visualizações através de uma network de dados- que neste trabalho foram obtidos da Web of Science. Essa network de dados é disposta em clusters, que são grupos de documentos com uma temática semelhante documentos são agrupados através do algoritmo do VOSviewer. Cada cluster visualizado no mapa será alvo da discussão que responderá à pergunta deste trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento bibliográfico 710 artigos foram obtidos da WoS, de modo que após os processos metodológicos de tratamento dos dados, apenas 15 artigos atingiram os critérios da filtragem. Esses artigos foram analisados no VOSviewer e separado em 5 clusters. No processo de análise dos 15 artigos, apenas 13 foram separados em clusters e os outros dois foram excluídos (figura 1), deixando então de serem alvo da discussão. Os 5 clusters serão agora analisados e discutidos separadamente em várias sessões.

Figura 1- Mapa de clusters gerado pelo VOSviewer



Fonte: autoria própria,2022

3.1 Cluster I

O primeiro cluster conta com quatro artigos: **“Carbon dioxide and the uneasy interactions of trees and savannah grasses”** – com autoria de William J. Bond e Guy F. Midgley; **“What controls the distribution of tropical forest and savanna”**- escrito por Brett P. Murphy e David M.J.S. Bowman; **“Productivity and carbon fluxes of tropical savannas”**- escrito por John Grace, José San José, Patrick Meir, Heloisa S. Miranda e Ruben A. Montes e **“Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil”** – escrito por William A. Hoffmann, Ryan Adasme, M. Haridasan, Marina T. de Carvalho, Erika L. Geiger, Mireia A. B. Pereira, Sybil G. Gotsch e Augusto C. Franco. Os artigos possuem 272, 259,365 e 288 citações respectivamente.

3.1.1 Bond e Midgley (2012)

Neste artigo o autor reconhece a relação entre as flutuações de CO₂ ao longo da história e um feedback nas interações entre ambientes de floresta e campo. Durante o cenozoico, nos últimos 65 milhões de anos, o CO₂ aumentou para cerca de 1000 ppm no Eoceno (WILLIS; MCELWAIN, 2002) o que coincide com um período em que florestas atingiram o clímax. Com a queda do mesmo no oligoceno, há uma retração na distribuição de florestas em contraste com um aumento na distribuição de campos e pastos (CERLING et al., 1997). Além disso, o aumento de CO₂ devido à ação humana também tem sido ligado ao aumento na distribuição de formações florestais. Sendo assim, o artigo propõe uma revisão bibliográfica sobre os estudos relacionando o aumento do CO₂ e seus efeitos nas interações entre florestas e ambientes savânicos (BOND, 2012). Ademais, a revisão buscou selecionar estudos específicos, que levem em conta o fogo, já que o fogo é um elemento natural de formações savânicas.

De acordo com Bond, o fogo exerce um papel indispensável na distribuição de ambientes campestres, substituindo até mesmo controles de nível climatológico sobre a vegetação, de forma que a produzir ecossistemas de ambientes de pouca biomassa, que de outro modo sustentariam florestas (BOND; WOODWARD; MIDGLEY, 2005). Além disso, savanas que queimam frequentemente selecionam espécies lenhosas com órgãos de reserva ou com alta capacidade de clonagem, o que promove uma rápida recuperação pós-distúrbio (HOFFMAN, 2009). As estratégias adotadas pela vegetação para se recuperarem do fogo acarretam em um aumento do sequestro de CO₂, de modo que muitas espécies estão ligadas ao efeito de fertilização por CO₂ (BOND; MIDGLEY, 2012) (aumento na taxa de fotossíntese em detrimento da transpiração foliar. É uma resposta direta aos altos níveis de CO₂ na atmosfera).

Indo mais além em sua discussão, Bond faz um comparativo entre as interações das espécies com o fogo. Plantas menores (gramas) se recuperam mais rápido, mas logo enfrentarão o fogo mais uma vez, já que sua morfologia favorece o acontecimento de fogo. Já espécies maiores, tentam aumentar as chances de escapar da morte das partes superiores (topkill, na literatura em geral) investindo em órgãos de reserva abaixo do solo e em nutrientes que promovem a recuperação após um distúrbio, gerando um tradeoff que resulta na queda da capacidade de colonizar outros ambientes (BOND; MIDGLEY, 2001). É aí que o CO₂ entra em cena, já que com uma alta disponibilidade é esperado que as espécies lenhosas sejam beneficiadas (DRAKE; GONZALES-MELER, 1997). Bond e Midgley escrevem: “Sendo assim, independentemente de serem C3 ou C4, um aumento no CO₂ favorece mais as árvores do que grama em ambientes inflamáveis”.

Além disso, quando espécies fogem do ciclo de fogos (firetrap), elas conseguem atingir grandes tamanhos, situação essa que pode ser fomentada pelo dióxido de carbono. Sendo assim, além dos efeitos diretos nas espécies, o CO₂ desencadeia uma série de reações em cadeia, alterando o fluxo de água, nutrientes e provavelmente até mesmo provocando alterações no microclima (PAGANI et al., 2009). Quando o assunto é testar a regeneração de plantas após um distúrbio, junto ao CO₂, savanas acabam sendo ótimos ambientes para tal, dado suas propriedades. Partindo de análises feitas usando DGVM (Dynamic Global Vegetation Model) (WOODWARD; LOMAS; LEE, 2001) Bond separa essa discussão em dois tópicos: experimentos em estufas e experimentos em campo. Nas simulações em estufa espécies foram cultivadas em uma estufa com condições “análogas” a um ambiente savânico comum. Após serem cortadas, simulando um distúrbio, a regeneração foi observada e testada em diferentes concentrações de CO₂. Os resultados acabaram por coincidirem com as previsões feitas usando DGVM, com uma baixa taxa de crescimento à 180 ppm, e com um crescimento bem acentuado a 360 ppm. Ne uma segunda rodada de experimentos a espécie *Terminalia sericea* foi utilizada e foram feitas alterações no solo. A análise observou que houve efeitos direto na raiz e na concentração de amidos, quando em altas concentrações de CO₂ (360 ppm). Entretanto, a forma como espécies reagem ao CO₂ não é uniforme e também há outros fatores abióticos que podem anular o efeito do CO₂. Hoffman et al., por exemplo, observou que o efeito do CO₂ é nulificado em solos pobres em nutrientes. Já os estudos em campos manipulando CO₂ são escassos em regiões savânicas como a da África (segundo Bond), mas grandes estudos são realizados de maneira semelhante aos realizados em estufas, permitindo uma comparação com os dados obtidos em campo. Por exemplo, um estudo realizado no parque nacional de Kruger um experimento foi realizado entre 1950 e 2000 (BIGGS, et.al, 2003). Censos foram realizados nas décadas de 50, 70, 90 e 2000. Nessas épocas a concentração de CO₂ aumentou gradativamente e ao observar os censos, percebe-se que algumas espécies apresentam um aumento em sua densidade e tamanho, sendo que a espécie *Terminalia sericea* (usada nos estudos em estufa) respondeu às mudanças de concentração em CO₂, refletindo o que foi visto nos experimentos em estufa.

Adiante em sua discussão Bond comenta sobre os efeitos do CO₂, mas dessa vez o foco é a expansão de florestas para ambientes campestres. Bond afirma que há várias evidências do CO₂ promovendo a expansão das florestas. Esta afirmação é sustentada pelo fato de florestas tropicais estarem invadindo ambientes campestres livre da ação antrópica. (SAN JOSÉ; FARIÑAS, 1983) (MOREIRA; ADRIANA, 2000) Há também uma crítica do autor em relação há falta de estudos, pois estes não levam em conta as “fronteiras” das florestas, o que poderia

ser a chave para elucidação nas mudanças de fisionomia, já que caso florestas invadam ambientes savânicos a níveis continentais, os impactos iriam além de apenas uma mudança nas espécies de árvores. Corroborando as afirmações de Bond, há estudos que afirmam que ambientes savânicos podem sustentar florestas tropicais na ausência de fogo. Ademais, Bowman et al. notou a expansão de floresta na Austrália, atribuindo ao CO₂ a causa desse evento. Wigley et al. também observou o movimento de expansão ao longo dos anos. Ele observou três ambientes adjacentes: um ambiente savânico natural, com uma rica megafauna e presença de distúrbios como fogo e herbivoria, enquanto do lado uma densa floresta utilizada pela população africana. Os resultados das observações foi que ocorreu um aumento de 14 para 58% na taxa de expansão para florestas, dando a entender que há algo favorecendo a expansão das árvores, o que nesse caso foi ligado ao CO₂.

Terminando sua discussão Bond explora rapidamente outros tópicos como biogeoquímica e paleoecologia das interações entre savanas e florestas. Concluindo seu artigo, Bond centra suas conclusões: Há fortes indícios de CO₂ está alterando o balanço entre floresta e savanas a favor das florestas, de modo que em um futuro próximo as mudanças que ocorrem no final do mioceno sejam confrontadas pela alta quantidade de CO₂ disponível advindas da ação antrópica. Bond encerra seu artigo falando sobre a necessidade de se ter mais atenção, pois há a possibilidade de uma grande perda de ambiente savânico devido ao aumento do CO₂. Perca essa, que agravaria ainda mais o cenário de desmatamento causado pelo homem.

3.1.2 Murphy e Bowman (2012)

O que controla a distribuição de florestas tropicais e savanas? Para Bond (2012) o carbono exerce uma grande influência na distribuição. Mas será que para Murphy e Bowman só o carbono deve ser levado em conta? Savanas e florestas tropicais cobrem cerca de 25% da superfície terrestre possuindo características distintas (GRACE et.al, 2006). Florestas tropicais são notáveis por altos dosséis, uma grande biodiversidade e espécies competindo por luz. Já savanas geralmente consistem em uma mistura de grama predominantes e árvores em menores quantidades (RATMAN, et al., 2011). Ambas savanas e florestas tropicais são importantes centros de biodiversidade e história evolutiva (co-evolução, vicariância, diferenciação de nicho, etc). Embora florestas tropicais “guardem” mais carbono – cerca de 25% contra 15% das savanas, ambas contam com uma taxa de produtividade primária líquida (PPL) semelhante, de modo que o fogo é apontado como o agente que devolve CO₂ para atmosfera em ambientes savânicos, igualando as taxas de PPL (GRACE et al., 2006). O trabalho de Murphy e Bond vem com a proposta de um novo modelo conceitual para entender a distribuição de Savanas e

florestas tropicais. Para Murphy e Bowman a distribuição desses ecossistemas são os resultados de uma teia de feedbacks, ao invés de apenas um controlador principal. Os autores propõem uma forma diferenciada de enxergar a questão: recursos (“bottom-up”) e distúrbios (“top-down”). Além disso a ação antrópica recebe menos atenção neste artigo.

Os autores abrem a discussão falando sobre clima, que é um controlador com muito destaque na literatura. Muitos autores sustentam a afirmação de que clima é o controlador (driver) primário na distribuição de biomas. Schimper (1989), por exemplo, cunhou o termo rainforest- algo como floresta úmida em português. Com o avanço da tecnologia de satélites novos dados surgiram, permitindo uma análise mais apurada da problemática. Staver et al. e Hirota et al. demonstraram que o padrão de precipitação anual é o controlador primário de distribuição de savanas e florestas. Esse ponto é criticado pelos autores, pois segundo eles essas análises desconsideram as variações ecológicas e florísticas das regiões. Além do mais espaços analisados podem ter sido classificados como savana ou floresta de forma equivocada, o que poderia contribuir ainda mais para erros. Um outro argumento contra o clima como controlador principal é a discrepância em ambientes que na teoria não deveriam suportar florestas, mas a suportam. A América do Sul e Austrália são trazidas como exemplo. Se o clima fosse levado em conta, deveria haver menos florestas na América do Sul. Outro ponto argumentado pelo autor é a quantidade de água no solo um parâmetro para prever a distribuição de florestas. Enquanto na África do Sul e Austrália, ambos exibem um feedback à quantidade de água no solo, na América do Sul esse feedback parece ser menor, de forma a inviabilizar as previsões. Embora as causas dessas discrepâncias acima citadas pelos autores não tenham uma causa definida, elas destacam a inadequação do clima em ser apontado como controlador principal da distribuição de florestas e savanas.

Bond (2008) usou os termos “bottom-up” e “top-down” para discutir sobre recursos e distúrbios respectivamente. Murphy e Bowman fazem uma breve revisão sobre esses temas em seu artigo. Solo: Fatores edáficos diferem savanas de florestas (drenagem, textura, material pai), mas o fator recurso é o mais discutido na literatura. Um clássico da literatura é a associação de solos ricos em nutrientes a florestas e solos pobres a cerrados. Lloyd et al. comenta sobre o cerrado brasileiro ao dizer que ele ocupa uma área que em teoria devia ser habitada por florestas, se o clima fosse levado em conta. Entretanto a baixa disponibilidade de nutrientes no solo é que acaba limitando a existência de floresta. Bond (2010) vai mais além: não é a falta de nutrientes, é o efeito que eles causam no crescimento da vegetação e a alta frequência de queimadas que limitam a floresta. Fogo: Para os autores está claro que o fogo age como um modulador na distribuição de florestas. Essa modulação é mais aparente em ambientes de transição brusca

(campo aberto para uma fitofisionomia que remete à floresta, por exemplo) onde florestas podem existir devido a proteção topográfica contra o fogo. No entanto, nem sempre a existência de um ambiente de floresta está ligada à topografia: ela pode estar ligada por exemplo a disponibilidade de água, segundo os autores, o que pode gerar uma dificuldade na hora de analisar uma área de transição. Os autores também comentam sobre a susceptibilidade de espécies de florestas à morte da parte superior (topkill) que é atribuída a fisiologia das espécies que levam bem mais tempo para se regenerarem do fogo. O papel do fogo como limitante também é discutido sob o ponto de vista de estudos onde ambientes tem as queimadas suprimidas. (WOINARSKI; RISLER; KEAN, 2004) Os resultados demonstram que em poucos anos, ocorre a transição de ambiente savânico, para ambiente florestal. O autor encerra a discussão sobre o fogo comentando sobre o fogo antrópico. Para os autores o fogo antrópico é uma realidade, mas se seus impactos são de fato relevantes ainda é uma incerteza. Um contraponto para autores que já foram citados nesse meu trabalho de revisão, já que para alguns autores o fogo antrópico causa impactos na manutenção de biomas. Herbivoria: o papel de grandes herbívoros (>50kgs) no controle da distribuição de savanas e florestas é pouco estudado segundo o autor. Entretanto, há evidências de que o consumo de gramas, em determinados ambientes, favorece espécies lenhosas, já que ao reduzir a biomassa de plantas menores, há uma queda no ciclo de queimadas (WERNER, 2005). Já o consumo de espécies lenhosas favorece espécies menores, já que associado às queimadas, pode suprimir ainda mais a presença de espécies lenhosas. (VAN LANGEVELDE, 2003). Entretanto, para os autores, a herbivoria não é um fator crítico na distribuição de ambientes florestais e savânicos. Para corroborar essa afirmação, o autor cita o fato de que a Austrália e a África possuem cobertura florestal semelhantes, mas há um detalhe: o nicho herbívoro esteve ausente na Austrália por cerca de 45000 anos, enquanto que a África contava com uma grande assembleia de herbívoros até o século XX. Para os autores, o papel dos herbívoros na distribuição de florestas e savanas ainda deve ser estudado.

Efeitos biogeográficos são rapidamente abordados pelos autores. Voltando a discutir sobre o fato de a Austrália ter florestas mais restritas, o autor comenta sobre como a composição de espécie de um local pode influenciar nas respostas aos distúrbios. O Eucalipto que é onipresente na Austrália é extremamente resistente ao fogo, além de contar com mecanismos fisiológicos para se recuperar de uma queimada. Acredita-se que essa forma de recuperação (epicormic resprouting) surgiu há cerca de 60 Ma atrás (CRISP et al., 2011) enquanto a savana surgiu cerca de 10 Ma atrás (CRISP et al., 2010). Em comparação com a Austrália, a América do Sul tem uma história mais recente com o fogo. Trabalhos demonstram que no cerrado, a flora

se diversificou há 4 Ma atrás em resposta ao fogo, sendo que muitas delas são derivadas de espécies de floresta. Sendo assim, os autores pressupõem que espécies de savana da América do Sul são menos adaptadas ao fogo, que os eucaliptos primitivos da Austrália. Os autores ressaltam a importância de estudos filogenéticos na testagem de hipóteses sobre as relações históricas entre fogo e adaptação de espécies de savana e florestas.

O CO₂ também ganha espaço na discussão de Murphy e Bowman. Eles comentam o fato de florestas estarem invadindo espaços savânicos, de modo que o CO₂ seja considerado um dos drivers principais dessa expansão. Os autores citam Bond e Midgley (2012) que é um artigo que é alvo de discussão nessa monografia, ressaltando ainda mais as relações entre os artigos do Cluster I. Murphy e Bowman chamam atenção para as limitações impostas por nutrientes. Estudos realizados em ambientes enriquecidos com CO₂ demonstram que o efeito do CO₂ é fortemente suprimido pela falta de nutrientes.

Prosseguindo com sua discussão, os autores propõem a teoria dos “Estados Estáveis Alternativos” (EEA) mediada pelo fogo. Essa teoria propõe que ambientes com contrastes bem definidos e que são submetidos a um distúrbio em comum podem existir de forma indefinida a partir do feedback entre os estados e os distúrbios que atinge aquele ambiente. A teoria conta com uma série de predições que são observáveis em campo. I- Pequenas barreiras espaciais entre os estados alternativos. Fato que é facilmente observado nos ambientes de floresta e savana, onde a transição pode ocorrer em poucos metros, seguido por uma mudança abrupta na vegetação, disponibilidade de luz, água, etc. II- Os estados alternativos são sustentados por feedbacks. Nos ambientes de floresta e savana, por exemplo, há uma série de feedbacks reportados e documentados. A cobertura florestal pode reduzir a disponibilidade de luz e reduzir a comunidade de graminóides, fazendo com que a severidade das queimas seja reduzida pela falta de combustível. Em contrapartida o fogo diminui a cobertura florestal matando indivíduos jovens e reduzindo a taxa de crescimento das árvores. III- Na ausência dos feedbacks que sustentam os estados alternativos, ocorrerá uma mudança abrupta em todo o sistema. Esse é um fato reportado em vários estudos de supressão do fogo em ambientes savânicos, que resultaram na invasão do ambiente por espécies de floresta.

Encerrando o artigo os autores propõem novos modelos conceituais sustentado por dois conceitos-chave já discutidas: florestas e savanas existem em estados alternativos sendo esse estado sustentado por uma série de feedbacks; E as interações entre a taxa de crescimento da vegetação e queimadas estão relacionadas a invasão de savanas por florestas. Terminando a discussão os autores comentam sobre o uso de DGMV como ferramenta de predição na distribuição de florestas, de modo que uma grande quantidade de variáveis possa ser

incorporada (fogo, fatores biogeográficos, etc), enriquecendo ainda mais as predições, que apesar de não substituírem o trabalho em campo, colaboram para a elucidação dos drivers que controlam a distribuição de florestas e savanas.

3.1.3 Grace et.al (2006)

Grace e colaboradores (2006) abrem seu artigo comentando sobre a extensão vegetativa das savanas: 1/6 da superfície terrestre, sendo 15 milhões de Km pertencidos à África do Sul (CAMPBELL et al., 1996) e 2.1 milhões de Km² na América do Sul (COCHRANE et al., 1985), estando a maior parte distribuída no Brasil (note como os autores não fazem distinção entre cerrado e savana, mesmo em artigos renomados). Dado o tamanho da área ocupada pelas savanas, é esperado que elas tenham grande influência no ciclo global de carbonos, água e outros nutrientes. Além disso, espécies endêmicas são esperadas de um ambiente tão vasto quanto os das savanas, e de fato isso vai de encontro com o que é relatado em muitos artigos: o Cerrado brasileiro, por exemplo conta com cerca de 800 espécies de árvores, arbustos e gramínea endêmicas. (EITEN, 1972).

Grace também comenta sobre a emissão de carbono a partir das savanas, - ambientes altamente inflamáveis que liberam cerca de 5 a 8 giga toneladas de CO₂ por ano na atmosfera de forma natural e também através da ação humana (SEILER; CRUTZEN, 1980). Devido ao alto uso de terras na criação de pasto e outras atividades humanas, é evidente que o padrão de CO₂ sofra alterações. No artigo Grace e outros autores trabalham juntos para estimar a magnitude do fluxo de CO₂ entre savanas e a atmosfera, bem como discutir a importância das savanas no ciclo global de carbono. Essas estimativas partem de uma pesquisa bibliográfica- os dados foram extraídos de documentos da web of knowledge e de relatórios nacionais dos pesquisadores (co-autores). Além disso os autores usaram uma ampla definição de savanas, dividindo savanas em três tipos: grassland savannas, ou campo limpo: marcado pela ausência de árvores e predominância de gramíneas C4; Shrubs savannas, ou campo sujo- no Brasil: vegetação herbácea e árvores de pequeno porte; forest type savannas: árvores de grande porte formando dossel de até 9 metros (EITEN, 1972).

Em seguida Grace et.al (2006) expõe uma série de dados estatísticos acerca do CO₂ nas savanas. Os principais tópicos são discutidos a seguir.

(1) Reserva de CO₂ e produtividade- O estoque de carbono acima do solo em savanas varia a níveis globais.: entre 1,8 t C ha⁻¹ (área de terra) em savanas com baixa densidade árvores a 30 t C ha⁻¹ em áreas densas em árvores. Quanto ao carbono abaixo do solo, é revelado em alguns estudos de extração de raízes, que em savanas o CO₂ estocado abaixo do solo é maior

do que o que é estocado na parte aérea (JACKSON et al., 1996). A produtividade mundial também varia a níveis globais, com uma média de $7.2 \pm 2.0 \text{ t C ha}^{-1}$ por ano, sendo os maiores valores encontrados na Índia. Comparando a produtividade com florestas tropicais, percebe-se que embora savanas possuam muitas espécies C4, elas não são mais produtivas que florestas tropicais, que podem produzir em média $11.2 \pm 4.2 \text{ t C ha}^{-1}$ por ano. Entre as razões citadas pelos autores está a concentração de Nitrogênio nas folhas de espécies savânicas e outros fatores como a disponibilidade de água e a capacidade do solo de segurar água (MIRANDA et al., 1997).

(2) CO₂ e vapor de água- Com o avanço da micrometeorologia foi possível medir o quanto de carbono é retirado da atmosfera. Estima-se que nas savanas cerca de $10\text{--}15 \mu \text{ mol C m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sejam retirados da atmosfera, nas estações mais úmidas onde a luz do sol é forte. Isso reflete no fato de savanas serem grandes estocadoras de carbono nessas estações. Em épocas secas a capacidade de savanas de estocar CO₂ sofre um grande declínio e a vegetação fica pobre em carbono. Além disso, em épocas secas a fotossíntese é limitada através do fechamento dos estômatos, que provavelmente limita as trocas gasosas. Observando um trabalho de Miranda et.al no cerrado brasileiro, os autores obtêm uma estimativa do fluxo de CO₂: 14.4 t C ha^{-1} por ano na produtividade bruta e uma taxa de respiração de 7.7 t C ha^{-1} por ano. Emissão de carbono através da queima de savana- o fluxo de C entre ecossistemas terrestres e a atmosfera é de cerca de 2 giga toneladas, ao passo que o desmatamento cresce a cada ano cerca de 0.5% a 0.9% por ano (DEFRIES et al., 2002). O fogo antrópico também contribui para as estatísticas, uma vez que a queima e “limpeza” de savanas liberam de 0.5 a 4.2 Gt de CO₂ na atmosfera (SEILER; CRUTZEN, 1980). Além disso outros produtos da queima de savana também são lançados na atmosfera como o monóxido de carbono, metano, óxidos de nitrogênio, etc. Os autores reforçam a ideia de que a vasta vegetação de savana está ligada ao fluxo global de CO₂ ao apontarem que savanas são responsáveis por cerca de 0,5 Gt de carbono estocadas em respostas ao aumento do CO₂ atmosférico.

(3) Novas formas de uso de terra- Savanas são modificadas anualmente pelo fogo antrópico por diversas razões. Apesar disso dados sobre o impacto dessa ação humana são escassos e há poucos estudos nessa área. Ao comentar sobre o cerrado brasileiro, por exemplo, os autores apontam dados mostrando que cerca de 1% da vegetação é perdida para agricultura a cada ano. O uso irracional de savanas pode contribuir para uma grande perda de Carbono estocado par a atmosfera. Os autores terminam esse tópico tocando ne assuntos já discutidos anteriormente como a invasão de florestas na ausência de fogo. Encerrando o artigo, os autores fazem uma crítica ao sistema de certificados de emissões, onde países desenvolvidos investem

em reflorestamentos em países subdesenvolvidos, mas ignoram completamente os projetos de proteção de áreas. Uma pena, já que o Carbono que é salvo ao proteger uma área é bem maior ao se comparar com o reflorestamento.

3.1.4 Hoffman et.al (2009)

Até agora o cerrado tem tido um foco secundário nos artigos do cluster I, mas Hoffman encerra a cluster com um *Excelente* estudo realizado no Cerrado brasileiro e com fortes conexões com outros artigos. Os autores abrem o artigo com uma conceitualização teórica já antes discutida aqui, mas um ponto em particular ganha foco aqui: o belíssimo conceito de “Fire trap”. Dos diversos fatores que sustentam as fronteiras entre as formações de floresta e savanas o fogo é um dos mais evidentes. Por se tratar de um ambiente inflamável o fogo é parte intrínseca do cerrado, e até mesmo nas fronteiras ele exerce sua ação. Ao queimar uma espécie várias vezes a espécie acaba sendo suprimida, não conseguindo então atingir estágios reprodutivos, isso é denominado fire trap. As espécies só escapam do loop se atingirem tamanho e cobertura lenhosa suficiente para resistirem ao fogo. Para Hoffman esse efeito tem uma grande importância nas fronteiras, mas não havia sido examinado. Partindo disso, o artigo averiguar três hipóteses sobre espécies savânicas. São elas: I- Espécies de savanas tem uma maior taxa de sobrevivência pós-fogo. II- Taxas mais baixas de morte acima do solo (topkill). III- Rebrotamento mais rápido que a espécies de floresta. E indo mais além, os autores não tomam fogo como único fator determinante: o solo também é alvo de discussão.

O estudo é realizado em uma reserva ecológica do IBGE próxima à Brasília. Essa reserva era protegida contra o fogo há décadas, mas no tempo em que o estudo estava sendo realizado um fogo se alastrara de matas vizinhas atingindo a reserva. Os autores adotam uma série de processos metodológicos para obter os dados e testar as hipóteses. Eles traçaram sete perímetros dentro da reserva e em cada perímetro foi realizado um censo para observar as árvores queimadas. Todos os troncos atingidos pelo fogo e sem o brotamento de galhos em alturas >30 cm foram considerados “mortos” (topkilled). Além disso houve coleta e análise do solo utilizando métodos de coletas específicos. Os gêneros dentro dos perímetros foram avaliados- 56 no total, incluindo espécies de cerrado e florestas. Para testar se espécies de savana se recuperam mais rápido de um evento de fogo os pesquisadores selecionaram um grupo de espécies e realizaram medidas no tronco queimado. Adicionalmente os pesquisadores coletaram e analisaram o solo ao redor dessas espécies para avaliarem a relação entre regeneração e nutrientes disponíveis. Por último os autores compilaram dados já publicados para averiguar se a precipitação exerce influências na mortalidade pós-fogo. Para a análise dos dados foi feita

através de softwares e procedimentos estatísticos como a MANOVA, análise de variância e regressão logística.

Os resultados das análises revelaram que as hipóteses iniciais de que a taxa de sobrevivência em espécies savânica é maior do que a de espécies de floresta, e que a taxa de rebrotamento era maior não são hipóteses válidas. A taxa de sobrevivência após um evento de fogo era bem semelhante para florestas e savanas, 7.5% e 6.6 %, respectivamente. Já a análise do solo revelou que Ca^{2+} e Mg^{2+} (dentre os fatores analisados no solo) eram os que mais estavam relacionados com o rebrotamento naquele ecótono. A taxa de mortalidade na reserva foi bem mais baixa do que as observadas em outras florestas tropicais. Para os autores essa taxa pode ser explicada pelo fato das espécies de floresta na reserva terem uma cobertura lenhosa bem maior do que espécies de florestas como a da Amazônia. Florestas próximas a savanas entram em contato com fogo frequentemente, o que pode eliminar espécies sensíveis ao fogo e selecionar espécies com maior cobertura lenhosa, o que demonstra ainda mais a participação do fogo na moldagem de espécies dentro do ecótono. Outro aspecto explorado pelos autores é o de que espécies de florestas são bem mais suscetíveis a morte da parte superior (topkill) já que uma vez que possuem uma casca mais fina, só conseguem resistir ao fogo com diâmetros de tronco duas vezes maiores que o de espécies savânicas. Encerrando a discussão os autores comentam sobre fatores que aumentam a taxa de rebrotamento após o fogo. Para os autores solos que possuem alta disponibilidade de recursos permitem que espécies de florestas atinjam um tamanho resistente ao fogo acelerado. Dessa forma as espécies conseguem escapar do efeito fire trap já que durante o intervalo entre as queimas a espécie se tornou resistente.

3.2 Cluster II

A cluster II é formada de dois artigos e um capítulo de livro: **“Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes”**, artigo escrito por Willian J. Bond e Catherine L.Parr, sendo publicado em 2010; **“Fire in the ecology of the brazilian cerrado”**, capítulo de livro escrito por Leopoldo Magno Coutinho em 1990 e **“The global distribution of ecosystems in a world without fire”**, artigo escrito por W.J. Bond, F.I.Woodward e G.F. Midgley, sendo publicado em 2004.

3.2.1 Bond, Woodward, Midgley (2004)

O que aconteceria com a distribuição de ecossistemas se alguém apertasse um botão e desligasse o fogo? Essa é a pergunta-chave que abre esse artigo. Os maiores biomas da terra têm sua distribuição atrelada ao fator clima, que é tido como um dos drivers primários da

distribuição, mas para os autores, assim como para outros já discutidos aqui, o clima não deve ser considerado a única resposta. O fogo vem queimando vários biomas ao longo da história, dando forma e manutenção, mas ainda assim é negligenciado em muitos estudos. Os autores discutem no artigo a importância do fogo na distribuição de ecossistemas, bem como as consequências de um mundo sem fogo. Para isso, um tópico já discutido aqui volta a brilhar: DGMVS

DGVMS são softwares que simulam mudanças a níveis globais nos diversos ecossistemas através de dados capturados em grandes intervalos de tempo (time series). Os dados são referentes aos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, levando em conta fatores como o clima por exemplo. Nesse artigo uma série de dados foram colhidos da Universidade do leste da Anglia e o DGMV utilizado levava em conta diversas propriedades ecológicas, além de incluir dados sobre o fogo nas simulações. Para os autores estudos relacionados a supressão do fogo resultam em observações qualitativas, onde geralmente ocorre uma das três situações: não há mudanças; ocorre mudanças na densidade de plantas lenhosas, mas não na composição de espécies ou invasão por espécies de florestas resultando na exclusão de espécies sensíveis ao fogo e arbustos, sendo que o terceiro caso é um caso de vegetações estáveis que ocorrem em estados alternados, sendo limitados por clima ou fogo. Uma série de simulações são feitas levando em conta o fogo (“fire on”, “fire off”) gerando uma série de respostas esperadas nos seguintes âmbitos: biomassa, biomas a níveis regional e global.

Ao se observar dados da biomassa referentes a estudos de exclusão de fogo com os que foram gerados na simulação com o DGVM (fire off), percebe-se que há uma acurada semelhança entre os dados, mas as simulações acabaram superestimando a quantidade de biomassa em ambientes méxicos. Os dados obtidos com as simulações “fire on” em biomas condizem com o que é observado nos mapas de vegetação, mas ao “desligar” o fogo se observa que as árvores acabam dominando muitas áreas com alta precipitação, indicando que muitos biomas acabariam sendo florestas. O que é uma realidade observada em estudos de exclusão de fogo (BOND et al., 2003). As simulações com fogo desligado (“fire off”) também demonstra um grande aumento na extensão de florestas e um declínio em biomas com graminóides C3.

Abrindo a discussão, Bond faz um breve comentário sobre ecossistemas dependentes do fogo (sendo savanas um dos exemplos discutidos) e em seguida reporta que a quantidade de estudos sobre savanas são poucos, se comparados com florestas. Até mesmo na América do Sul, onde há uma extensa literatura em cima das savanas, o número de estudos é baixo se comparados com florestas. Segundo o autor quatro dos maiores biomas enfrentam fogo periodicamente. São eles: florestas boreais, campos de grama tropicais e temperados, savanas

e campo mediterrâneo. (ARCHIBOLD,1995) As simulações fire off demonstram que esses biomas não atingiram seu ápice em função do clima, embora também demonstrem um limite imposto pelo clima em ambientes áridos bem mais elevados. Prosseguindo Bond comenta sobre a precisão do DGVM. Muitos dados das simulações são compatíveis com o que é observado em campo através de estudos, embora existam diferenças na distribuição de florestas úmidas. Para Bond ainda há espaços para melhorias, uma vez que o fogo ainda é subestimado pelo algoritmo. O cerrado brasileiro, por exemplo, apresenta nas simulações uma alta cobertura florestal que não é observada na prática. (RATTER et al., 1997). O que é compreensível já que o fator umidade tem grande peso no algoritmo e a vasta região da savana brasileira conta com uma média de precipitação anual de 800 a 2000 mm. Portanto para o autor é necessária uma refinação nos modelos de fogos, para que fatores como a frequência de queima em ambientes húmidos seja levada em conta.

Encerrando o artigo Bond comenta sobre as simulações e a realidade do que é observado e então indaga: *seria o fogo o único culpado?* Savanas costumam ocorrer em ambientes que são secos em uma parte do ano, mas as simulações mostram que florestas podem substituir a vegetação típica das savanas na ausência do fogo, o que indica que esses ecossistemas não atingiram seu ápice em função do clima. Outros fatores além do clima e do fogo entram na discussão: a disponibilidade de nutrientes no solo e a atividade antrópica, gerando um grande debate em cima dos drives de distribuição (um dos principais temas do cluster I). O autor conclui dizendo que ainda há uma série de perguntas que podem contribuir para refinar ainda mais o entendimento da distribuição global de biomas. Entre elas estão o papel antrópico, o que limita a ocorrência de fogo e como incluir o fogo nas análises como um dos controladores primários na distribuição de ecossistemas.

3.2.2 Coutinho (1990)

Coutinho (1990) abre seu artigo com grande esplendor, trazendo uma definição bem apurada do que é Cerrado. Seguindo sua definição, o cerrado é um “ecocline”, um amaranhado de ecossistemas sem uma barreira bem delimitada que ocorre no Brasil. Se divide nos tão falados tipos de cerrado: Cerrado strictu sensu, que remete as savanas tão faladas aqui, campo limpo, campo sujo e cerridão. Para o autor, o Cerrado é um grande ecótono entre cerridão e campo sujo. Ao se aprofundar mais sobre as características do cerrado, toca no assunto que é o principal interesse dessa monografia- o fogo. Já na época em que Coutinho fazia suas pesquisas já havia uma dificuldade de se estudar ecologia do fogo. O fantasma da agricultura tornava os

estudos em áreas preservadas do fogo cada vez mais difícil, mas ainda assim se dedicou a ecologia do fogo participando até mesmo de projetos do IBGE.

O que causa o fogo no Cerrado? Relâmpagos? Sim, havia relatos de relâmpagos causando queimadas, mas já na década de 90 o homem vinha alterando os padrões de fogo em função da agricultura, sendo essa a principal causa de queimadas no Cerrado. As queimadas são bem mais intensas na segunda parte da temporada de seca (agosto a outubro), o que coincide com a queima de vegetação para criação de pasto, agravando ainda mais a intensidade e frequência de queimadas. Outras causas antrópicas também são citadas pelo autor, como a falta de cuidado com queimadas, os balões de São João e a limpeza de ambiente devido a outras necessidades além da agricultura.

Os efeitos abióticos do fogo são alvos de uma extensa discussão feita por Coutinho. Começando pela temperatura do ar que é influenciada pelas queimas que ocorrem no Cerrado e que estão ligadas ao tipo de material que está sendo queimado. Como o cerrado é uma mistura de fitofisionomias, é de esperar que exista uma variação na energia térmica que é liberado na queima da vegetação. Quando Coutinho escreveu o artigo não havia muitas informações sobre a temperatura do ar durante as queimadas, mas um estudo feito por Cesar (1980) registrou 800 C° nas chamas resultantes da queima de um campo sujo no Distrito Federal. Partindo para o solo, Coutinho comenta que vários fatores influenciam na temperatura do solo: umidade da fitomassa, do solo e a quantidade de fitomassa por área. Quanto mais seco for a fitomassa, mais intenso e rápido é o fogo, o que em contra partida contribui para que o efeito na temperatura do solo seja menor. Paralelamente, um solo mais húmido se aquece menos devido ao seu calor específico. A ciclagem de nutrientes encerra a discussão sobre os efeitos abióticos de forma espetacular. Coutinho ressalta mais uma vez a complexidade do cerrado, que devido a suas diversas fisionomias, possui também individualidades na sua ciclagem de nutriente. Ao comentar sobre o estigma do cerrado em ser pobre em nutrientes Coutinho atribui ao fogo uma parcela de culpa. O fogo rapidamente mineraliza a biomassa acima do solo promovendo uma alta concentração desses minerais nas camadas mais superficiais do solo. Todos esses minerais serão rapidamente absorvidos pelo sistema de raízes superficiais das espécies. Além disso existe uma peculiaridade bem interessante: em estudos pós-queima foi observado que as concentrações de alumínio na parte superficial do solo ficam em um estado de supressão. Junto com a alta concentração de recursos nas partes superior do solo após um evento de fogo, as herbáceas e os arbustos acabam sendo extremamente beneficiadas. O fogo manipula os nutrientes transferindo-os de árvores maiores para espécies menores, o que indica a importância do fogo na sustentação das formações de cerrado mais abertas.

Logo em seguida Coutinho discute os fatores bióticos relacionados ao fogo. Resistência ao fogo é o primeiro fator. O autor define as espécies do cerrado como pirófitas, ou seja, adaptadas ao fogo (isso indica que o fogo está presente há muito tempo selecionando espécies). Diversas estratégias fisiológicas são reportadas pelo autor, como a suberização dos troncos, capacidade de rebrotamento a partir de gemas e raízes subterrâneas, e órgãos subterrâneos como bulbo e rizoma. Comentando sobre a estabilidade do cerrado, Coutinho reporta resultados de estudos de exclusão do fogo que resultam na transformação de campos limpos em cerradão – um ponto que já foi discutido várias vezes na cluster I. Sobre o florescimento, Coutinho comenta sobre o fato de muitas espécies do cerrado alinharem seu florescimento com o fim das queimadas, de modo a se sincronizarem através da polinização cruzada. Coutinho também cita um estudo realizado por ele mesmo (COUTINHO, 1976) onde a maioria das espécies que ele testou tinha seu florescimento dependente qualitativo ou quantitativamente do fogo e com grande intensidade após um evento de queima. Coutinho também comenta rapidamente sobre os efeitos do fogo na dispersão e germinação de sementes. Em Coutinho e Jukervics (1978) eles notaram que espécies do gênero *Mimosa* possuem um tegumento na semente impermeável a água. Ao serem submetidas a temperaturas de 70 a 100 C° as espécies demonstraram altos indícios de germinação.

A fauna é o último tópico de fatores bióticos comentados por Coutinho. É relatada uma escassez de estudos referentes ao assunto, mas destaca considerações importantes. O fogo altera o padrão de disponibilidade de alimentos ao reduzir a biomassa acima do solo a cinzas. Sendo assim, no período de secas, as folhas impalatáveis e a redução de biomassa provocam perda de peso na fauna, por conta da escassez de alimento. Algumas estratégias tentam contornar essas dificuldades no ecossistema. O veado-campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*) por exemplo, consome as cinzas de ambientes queimados, o que é uma ótima estratégia visto que essas cinzas são ricas em sais minerais. O fogo também aumenta o campo de visão horizontal de espécies predadoras e sendo assim as espécies que são caçadas desenvolvem estratégias de camuflagem nas áreas queimadas, para que não sejam predadas.

Encerrando seu magnífico artigo Coutinho comenta sobre o manejo de fogo adequado. Para ele diversas condições devem ser observadas: épocas do ano, hora do dia, frequência do fogo, etc. Isso porque um manejo feito da forma incorreta, mesmo que feito na intenção de preservar, contribui para a desestabilização do cerrado.

3.2.3 Bond e Parr (2010)

Mais uma vez Bond é o centro da discussão. Iniciando seu artigo comenta sobre os contrastes de florestas e savanas. Os limites entre savanas e florestas não ocorrem de forma gradual. Ao invés, ocorre uma mudança abrupta de fisionomia formando os mosaicos ao longo da área de vegetação. Para Bond os biomas de vegetação aberta são como espelhos de florestas. Nas florestas as espécies crescem na sombra, enquanto que em campos abertos as espécies tendem a evitar a sombra; A decomposição em florestas é rápida, enquanto que em biomas de graminóides a decomposição é bem mais devagar de modo que frequentemente o fogo consome a biomassa; falando em fogo, esse provoca danos as florestas, enquanto para biomas de graminóides sua presença garante sua sustentação. Ambos compartilham o fato de serem ameaçados pela ação antrópica, que altera o padrão do fogo, mas os biomas de graminóides parecem ser ignorados tanto pelos que estudam, tanto pelas políticas de conservação.

Além disso um outro fator ameaça os biomas de campo aberto: o aumento do CO₂, que favorece espécies de florestas e contribuem para seu avanço. Apesar disso, florestas tropicais recebem bem mais atenção do que os biomas de campo aberto. Ao se comparar a quantidade de estudos sobre florestas tropicais com a de estudos sobre biomas de campo aberto, observa-se que as florestas tropicais recebem menos atenção. E não para por aí, as políticas de conservação parecem ignorar completamente a biodiversidade dos biomas de campo aberto, ao investirem em políticas de sequestro de CO₂. Partindo dessas observações Bond e Parr (2010) promovem uma discussão sobre a importância desses biomas negligenciados, dando ênfase em sua biodiversidade, sua relação com fogo e sua importância.

Seriam os biomas de campo aberto um estado sucessivo das florestas, ou um estado alternativo? Ao se perguntar isso Bond faz um paralelo com a teoria dos estados alternativos que já foi discutida aqui. A ideia de que biomas de campo aberto sucedem florestas é inadequada, já que há diversos estudos que mostram que esses biomas existem e persistem a milhares de anos (MAYLE et al., 2007). Ao invés disso é mais provável que biomas de floresta e campo aberto existam em uma espécie de estado alternativo, onde uma série de processos e feedbacks mantenham um bioma de modo a ser hostil para outro, impedindo que este invada-o outro e criando curtas barreiras (mosaicos). Não menos importante, é necessário segundo Bond, distinguir entre a sucessão causada por ação antrópica de um estado alternativo natural, uma vez que os estados alternativos naturais possuem bem mais diversidade.

Seguindo com sua discussão Bond continua a falar da diversidade em biomas de graminóides. *As espécies adjacentes a fronteiras são as mesmas nas florestas e campos abertos?* A resposta é não. O autor indica uma série de dados que corroboram a resposta. Ele

indica o cerrado como um hotspot e comenta sobre a sua grande biodiversidade e endemismo - cerca de 6000 espécies de plantas (RATTER et al., 1997). O autor também cita a Tailândia e o sudeste da África como locais com uma alta diversidade. Em um estudo feito por Perez-Garcia e Meave (2006) em um mosaico floresta-savana no México, eles reportaram que das 600 espécies observadas, apenas 5% delas, 10,6% dos gêneros e menos da metade das famílias ocorriam na savana e na floresta. A perda da savana nesse mosaico causaria um déficit de um quarto da biodiversidade. Quanto a fauna as informações são poucas (um paralelo com o que Coutinho comentou), mas a alta diversidade de espécies de plantas é espelhada na presença de vários grupos de animais: pássaros, pequenos mamíferos, herpetos, insetos e diversas outras espécies endêmicas ameaçadas de extinção.

Após abordar a biodiversidade, o fogo é o próximo alvo dos autores. As espécies de biomas de graminóides e savanas são propícias ao fogo, de modo que o fogo se sucede de forma natural, resultando de relâmpagos que atinge essas áreas na transição da época de chuva pra seca. Entretanto o autor faz menção ao fogo antrópico: embora as consequências não estejam elucidadas completamente, ele cita estudos relacionando aumento da diversidade em espécies lenhosas em função do fogo antrópico. Também faz um breve comentário sobre as consequências desse fogo antrópico e salienta a necessidade de se estudar e testar as teorias. Em seguida as características das plantas viram alvo de discussão. A vegetação em biomas de graminóides e savanas possuem uma série de características que lhes permitem lidar com o fogo. Muitas espécies da África do sul, do Cerrado brasileiro e dos campos do sudeste do Brasil, por exemplo, contam com a presença de órgão de reserva que lhes permitem sobreviver e se recuperar do fogo. (OVERBECK; PFADENHAUER, 2007). Outra estratégia citada pelo autor é a de reprodução clonal através da raiz. A redução na intensidade e frequência do fogo promove a exclusão de espécies intolerantes à sombra, seguido por uma colonização de espécies de floresta, resultando finalmente em uma troca completa de bioma. Mais uma vez falando sobre fogo e fauna o autor comenta sobre a falta de estudos relacionando a fauna, mas cita algumas observações. As adaptações ao fogo estão ligadas à frequência das queimadas e há estudos mostrando que diversos grupos de animais retornam a áreas queimadas para se alimentarem das gramíneas que nascem após a queima. (RIGINOS; GRACE, 2008). O autor também comenta que as mudanças provocadas na vegetação devido a alteração nos padrões de queimadas se refletem na biodiversidade da fauna, de maneira que espécies de florestas substituam as espécies dos ambientes invadidos. (PARR; ANDERSEN, 2008).

Encerrado o artigo, os autores comentam sobre as principais ameaças para os biomas de graminóides. Ao comentar sobre as estratégias de florestamento a autor destaca que essa via

contribui para a perda de uma biodiversidade que ainda não foi nem descrita. As atividades agrícolas feita de maneira irregular também consiste em uma grande ameaça, uma vez que os biomas vêm perdendo cada vez mais sua área. Ao comentar sobre o Brasil, o autor aponta um estudo que revela que cerca de 25% dos 14 milhões de há foram convertidos em pastos para fins da agricultura (BILENCA; MIÑARRO, 2004). Uma outra ameaça citada pelo autor é o aumento do CO₂, que, como já discutido no cluster I, garante uma vantagem as espécies de florestas promovendo a invasão de outros biomas. Entretanto, uma nova variável pode complicar ainda mais qualquer predição sobre o futuro dos biomas: o aquecimento global e o aumento na frequência e intensidade das queimadas, promovendo um efeito contrário onde as florestas é que são o alvo da invasão. Concluindo seu artigo o autor comenta sobre o cenário de incertezas do futuro dos biomas. O autor convida a comunidade científica para estudar o assunto e propõe uma forma de estudo onde os biomas de floresta e campo sejam estudados juntos, e não separado, como é o caso de muitos estudos.

3.3 Cluster III

A cluster III conta com dois artigos: **“What limits trees in C4 grasslands and savannas”**, artigo escrito por Willian. J. Bond, sendo publicado em 2008 e **“Effects of fire and herbivory on the stability of savanna ecosystems”** escrito por Frank van Langevelde e mais treze autores, sendo publicado em 2003

3.3.1 Bond (2008)

Bond inicia mais um dos artigos alvos de discussão, dessa vez buscando responder à pergunta: *o que limita as árvores em biomas de graminóides C4 e savanas?* Pergunta essa que aparentemente não possui um consenso. Ao longo do tempo diversos ecólogos buscam compreender o que controla a distribuição de biomas, sendo que a maioria dos estudos estão relacionados a fatores bióticos e abióticos (“top-down”; “bottom-up”). Em ambientes terrestres o controle ““top-down”” é considerado de menor importância (POLIS, 1999), o que abre espaço para a suposição de que biomas estão atrelados a fatores abióticos, sendo o clima a “estrelinha dourada”. Entretanto, como já discutido aqui antes, essa ideia apresenta controvérsias, pois os biomas de graminóide, por exemplo, ocupam zonas climáticas que suportam florestas. *Por que florestas não invadem essa área?* Nesse trabalho Bond revisa as novas abordagens nesses assuntos, com ênfase nos diversos processos ecológicos (“bottom-up”; “top-down”).

O primeiro fator comentado é o clima. Uma breve definição sobre o que são as savanas (um dos maiores representantes dos biomas de C4) é apresentada. Bond comenta que muitas das respostas para o que limita as árvores relacionavam o fator clima, mas essa resposta por si

só não é o suficiente. Estudos com DGVMS por exemplo, obtém predições em que as florestas ocupam grandes espaços, mas que na verdade são ocupados por savanas e campos de graminóides (BOND, 2003). Ao incrementar as predições levando em consideração o fogo, elas se tornam bem mais precisas com o que é observado. A partir dessas discrepâncias observadas em estudos Bond conclui que o efeito “top-down” é bem mais presente do que o que a literatura imaginava (BOND, 2005). As gramíneas C4 logo em seguida são abordadas no texto.

O que as permitem limitar árvores? Para o autor as gramíneas podem exercer esse limite através de processos “bottom-up” e “top-down”. As gramas C4 possuem um sistema de raízes densas e fibrosas que permitem explorar recursos nas partes mais superficiais do solo de forma mais eficaz do que as árvores, superando-as na competição por recursos. Além disso, as gramíneas C4 tem um ritmo de decomposição menos acelerado, que junto com alta inflamabilidade provocada pelo ressecamento contribuem para incêndios. Após os incêndios as plantas C4 se recuperam bem mais rápido, enquanto árvores de porte maior levam mais tempo. Além disso Bond comenta que nos diferentes gradientes dos ecossistemas de grama C4 os efeitos “bottom-up” e “top-down” carregam um peso diferente. Outros tópicos dos processos “bottom-up” são discutidos, como a disponibilidade de água e nutrientes, mas os mais relevantes para essa monografia são tópicos relacionados ao fogo. Ao falar sobre os processos top-down, especificamente o fogo, Bond reitera algumas de suas ideias aqui já discutidas- estudos em biomas de plantas C4 onde ocorre a supressão do fogo revelam que as espécies de florestas acabam invadindo o bioma, podendo provocar até mesmo uma mudança completa nos padrões de vegetações, embora essas mudanças não ocorrem de forma uniforme. Ambientes mais áridos costuma serem menos invadidos do que os que possuem uma alta taxa de precipitação anual, o que poderia indicar que nos ambientes mais áridos outros controles sejam mais determinantes na composição de espécies. (HIGGINS et al., 2007).

Para o autor, estudos demográficos são ótimos para elucidar os múltiplos fatores que limitam a presença de árvores. As gramíneas competem com brotos por recursos, ao mesmo passo que o fogo limita e impede os brotos de atingirem um tamanho resistente. Por conta disso, o recrutamento em biomas de graminóides demora mais. Ainda sobre os brotos comenta que esses possuem diversas estratégias para se estabelecerem em um ambiente regido pelo fogo, como por exemplo a clonagem. E não basta só se estabelecer, para garantir sua estadia no bioma, as espécies precisam atingir um tamanho adequado, de modo que se tornem resistentes ao fogo (ou seja, escapar da fire trap). Ainda sobre estudos demográficos Bond comenta sobre a mortalidade de plantas adultas e transições demográficas.

Nesse artigo o elemento fogo é presente em muitos tópicos, mas diferente de outros artigos, ele não é discutido amplamente. Embora ocorram muitas menções, essas já foram aqui discutidas e abordá-las seria repetitivo. Bond conclui seu artigo chamando a atenção dos ecologistas para o fato de não se haver um consenso sobre os fatores que controlam a distribuição de espécies é embaraçoso para comunidade científica. Ele critica a aceitação de respostas únicas para o problema, enquanto sublinha futuros problemas a serem estudados, como os estudos de recrutamento de espécies em função da fisiologia e distúrbios dentro do ecossistema e estudos paleocológicos para que se tenha uma melhor documentação das ocorrências de trocas de biomas abertos para fechado.

3.3.2 Langevelde et al. (2003)

Langevelde inicia com o ritual da maioria dos artigos aqui discutido: o que é uma savana, sua extensão, a diversidade de padrões na distribuição de vegetação, e as hipóteses para esses padrões. Em concordância com os autores ele reforça a ideia de que a ausência de fogo contribui para o espessamento de árvores. Na África, por exemplo, a peste bovina causou morte e destruição para os humanos, o que por sua vez trouxe uma redução nos fogos antrópicos. (DUBLIN et al., 1990). O resultado foi um aumento na espessura das árvores, que por sua vez foram reduzidas após o evento da pandemia. Vinte anos depois, é percebido uma tendência no espessamento de arbustos mais uma vez, mas dessa vez a culpa cai sobre a pecuária e seus métodos inadequados, atrelado às alterações nos regimes de fogo em diversas áreas.

Em um outro tópico o autor remete a uma ideia muito abordada aqui, a dos estados alternativos. Segundo o autor a vegetação pode sofrer mudanças a níveis irreversíveis em função da herbivoria, fogo e luz solar. A herbivoria segundo o autor age de forma semelhante ao fogo, reduzindo árvores a tamanhos menores ou a matando. Além disso a herbivoria pode tornar o fogo propício, por conta do consumo de espécies maiores. Para o autor, o equilíbrio entre árvores e gramíneas e as consequências que refletem sobre ambos não são abordadas o suficiente. Então nesse artigo ele vai propor um simples modelo para analisar os efeitos da herbivoria (grama e árvores) e do fogo no equilíbrio entre árvores e gramíneas.

O modelo conta com fórmulas matemáticas complexas, onde uma série de variáveis são levadas em conta. A partir desse modelo de predição os autores trabalham com variações na herbivoria e no fogo. Os autores começam com o fogo e a herbivoria desativados, para checarem como outros fatores abióticos controlam o equilíbrio de árvores e gramas. As predições indicam dois estados de equilíbrios: um onde as gramíneas suprimem as árvores em

função da infiltração da água no solo; e outro onde existe uma vegetação de plantas dominando, mas instáveis. Já com o fogo e a herbivoria os resultados mostram que até quatro estados de equilíbrio. As predições também demonstram uma transição de savanas para florestas a partir de um aumento disponibilidade de água, ou com aumento do consumo de gramíneas (grazing). Ao realizar as predições com o fogo em altas frequências, ocorre os estados alternativos, de modo que savanas e florestas existam próximas uma da outra. Indo mais a frente com as predições os autores percebem que os estados alternativos estão relacionados com a disponibilidade de biomassa inflamável e a intensidade do fogo. Já o espessamento das árvores e arbustos em estados alternativos costumam ocorrer quando há poucas alterações na biomassa de gramíneas e árvores.

Langevelde aposta em um modelo mais simples do que outros modelos. Ao longo dessa monografia, outros modelos já foram comentados. A literatura em si, também conta com uma série de modelos que buscam explicar a coexistência de árvores e gramíneas nas savanas. O que chama a atenção nesse artigo é que a partir dos fatores fogo e herbivoria uma série de afirmativas podem ser feitas. O autor encerra o artigo fazendo um comentário interessante: atualmente não existe um modelo capaz de incorporar todas as exceções e peculiaridades biogeográficas das diversas formações de savana no mundo, mas ainda assim ele argumenta a favor do modelo por eles criados, já que esse mostra de forma eficiente que o fogo e a herbivoria carregam um papel importante nessa co-existência de plantas e árvores na savana.

3.4 Cluster IV

Essa cluster conta com dois artigos: **“The ‘fire stick farming’ hypothesis: Australian Aboriginal foraging strategies, biodiversity, and anthropogenic fire mosaics”**, artigo escrito por R. Bliege Bird e mais quatro autores sendo publicado em 2008 e **“Fire as a global ‘herbivore’- the ecology and evolution of flammable ecosystems”**, artigo escrito por Willian J. Bond e Jon E. Keeley, sendo publicado em 2005.

Após a leitura do artigo escrito por Bird, foi notado que o artigo está desconectado da proposta dessa monografia, pois a forma com a qual o fogo é discutido é referente a um ecossistema australiano, de modo que outras regiões nem são abordadas. O artigo, portanto, fica de fora da discussão.

3.4.1 Bond e Keeley (2005)

Mais uma vez o tema clima ressurge nesse artigo escrito por Bond e Keeley. A ideia de que o clima é o responsável pela distribuição de ecossistemas é bastante presente na literatura, embora trabalhos mais novos e até mesmo artigos aqui discutidos já trazem uma visão menos limitada sobre o assunto. Hairston (1960), por exemplo, já escrevia que era a partir do controle

da herbivoria, exercido por predadores maiores, que determinavam as propriedades de um ecossistema. Na ausência de predadores aquele ecossistema acabaria selecionando apenas espécies resistentes à herbivoria. De fato, muitas espécies de plantas terrestres não são comestíveis, mas existe um fator análogo à herbivoria capaz de transpassar essa barreira: o fogo. O fogo é, segundo Bond, análogo à herbivoria de muitas formas, já que se alimenta de matéria orgânica morta. E vai mais além, não fazendo distinção alguma entre vivo e morto, ou ao fato de uma espécie não ser comestível. Esse artigo vem com a proposta de discutir o fogo como mais do que um distúrbio: um consumidor.

Ao assumir que o clima é o driver primário na distribuição de vegetais ao redor do mundo, muitos autores acabam negligenciando ou subestimando o papel dos consumidores. Polis (1999) por exemplo chega até a considerar a possibilidade de alguns locais terem a presença de consumidores como um driver secundário, mas de modo que eles sejam quase insignificantes. Entretanto, os DGMV podem ser usados facilmente para expor as controvérsias desse ponto de vista. Como já discutido aqui antes, o Cerrado ocupa uma região que em teoria seria habitada por florestas, sublinhando e tornando o Brasil um forte candidato para a presença de um outro driver. -Você leitor tem a obrigação de saber que driver é esse. - Outro ponto destacado pelo autor são as cascatas tróficas, ou seja, alterações bruscas na composição de espécies em um ecossistema. Com a remoção de um predador-chave elas podem ocorrer. Esse é um ponto já discutido aqui, e semelhante a remoção de um predador, a supressão de fogo em ecossistemas inflamáveis são acompanhadas por alterações de espécies.

Bond vai além e questiona: *se o fogo queima e dá forma a tantos ecossistemas, por que existe uma diversidade tão alta de espécies nos diferentes biomas?* A resposta que ele apresenta é que o fogo queima os ecossistemas de forma diferente. Embora apreça uma resposta simples, um regime de fogo pode variar em intensidade, severidade, frequência, e até mesmo estações. A partir da particularidade de cada regime, um padrão específico de diversidade é refletido. É por isso que a alteração nos regimes de fogo pode ter consequências graves, uma vez que a diversidade está atrelada ao regime. Logo em seguida Bond chama atenção para o fato de ainda não existir um modelo global de distribuição em função do fogo. Isso é compreensível pois outros fatores podem influenciar no fogo, como o período de seca em um ecossistema, e barreiras topográficas.

Outro ponto comentado por Bond é a teoria da diferenciação do nicho em ambientes inflamáveis, como é o caso da savana. Essa teoria diz que a co-existência de árvores e gramíneas C4 se deve à forma com a qual elas exploram os recursos: gramíneas possuem raízes mais superficiais, enquanto as árvores obtêm recursos de partes mais profundas

(SANKARAN et al., 2004). O problema é que essa teoria não prevê alterações na vegetação, já que não ocorre competição por recursos. Entretanto, experimentos com supressão no fogo mostram claramente que ocorre mudança na vegetação.

Outros pontos comentados por Bond é o conceito de fire trap, confinando as árvores em tamanhos menores até que ela consiga escapar e atingir um tamanho resistente; O papel do fogo como agente evolutivo; e a origem de biomas a partir do fogo. Sobre o fogo como agente evolutivo, Bond comenta algo interessante: o fogo pode se espalhar em um ecossistema através de uma espécie inflamável e eliminar espécies menos resistentes, podendo até mesmo selecionar espécies mais próximas filogeneticamente. O que seria um favorecimento à instauração de um nicho e à genética da espécie. Bond encerra seu artigo chamando a atenção dos novos pesquisadores sobre a importância do fogo como um consumidor global e cita algumas áreas que precisam de atenção, como a compreensão das mudanças climáticas e a ação antrópica.

3.5 Cluster V

A cluster V conta com dois artigos: **“Defining pyromes and global syndromes of fire regime”**, escrito por Sally Archibald e mais quatro autores, sendo publicado em 2013 e **“Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents”** artigo escrito por Caroline E.R. Lehmann e mais vinte autores, sendo publicado em 2014.

Ambos os artigos não serão alvo de discussão, uma vez que os principais tópicos abordados nesses artigos forma discutidos aqui, tornando a discussão repetitiva.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dessa longa discussão a ecologia do fogo no cerrado se revela como dona de sua própria identidade, com todo um histórico de ecologistas que vêm moldando toda a estrutura intelectual do assunto. Mais do que identidade própria, a ecologia do fogo no cerrado possui imensidão, trazendo respostas e questões a serem respondidas. E essas respostas e perguntas por si só estabelecem conexões com as mais diversas áreas: fisiologia, climatologia, biogeografia, evolução, etc. Com a execução da análise é perceptível que alguns temas de fato se sobressaíram. A distribuição do Cerrado e os drivers que sustentam essa distribuição, o feedback de ambientes savânicos às mudanças climáticas e ao aumento de CO₂ e o fogo como um dos drivers primários de distribuição acabam sendo os protagonistas na discussão.

Ela também se mostra eficaz em destacar gaps que precisam ser investigados. Em um contexto de mudanças climáticas e aumento do CO₂ as respostas dos diversos ecossistemas a esse aumento ainda parecem incertas; além disso, para fazer previsões sobre um ecossistema, é necessário antes conhecê-lo por inteiro. Como melhorar as previsões e incluir o fogo nessas previsões? Até que ponto o fogo sustenta o Cerrado e os estados alternativos entre florestas e formações savânicas? Como a fauna do cerrado se relaciona com a ecologia do fogo? Todas essas questões ainda precisam de elucidação e devem ser alvos de pesquisa.

A análise bibliométrica se mostrou eficiente em apontar os artigos mais influentes, bem como expor a estrutura intelectual nos estudos da relação entre fogo e Cerrado, mas ainda assim alguns problemas ocorreram. A divisão em clusters deveria conter artigos que tratam de assuntos em comum, garantindo uma identidade a cluster. De fato, isso acontece nas primeiras clusters, mas se torna bem menos evidente quanto mais a discussão avança. Ainda assim, isso não compromete o trabalho como um todo. Dito isso, é imprescindível que a comunidade de ecólogos brasileiros se empenhe em se aprofundar cada vez mais nessa linda complexidade do Cerrado que cerca o Brasil.

REFERÊNCIAS

- APPIO, Francesco Paolo; CESARONI, Fabrizio; DI MININ, Alberto. Visualizing the structure and bridges of the intellectual property management and strategy literature: a document co-citation analysis. **Scientometrics**, v. 101, n. 1, p. 623-661, 2014.
- ARCHIBOLD, Oliver William. **Ecology of world vegetation**. Springer Science & Business Media, 2012.
- BEERLING, David J.; OSBORNE, Colin P. The origin of the savanna biome. **Global change biology**, v. 12, n. 11, p. 2023-2031, 2006.
- BIGGS, Rina et al. Experimental burn plot trial in the Kruger National Park: history, experimental design and suggestions for data analysis. **Koedoe**, v. 46, n. 1, p. 1-15, 2003.
- BILENCA, David; MIÑARRO, Fernando. **Identificación de áreas valiosas de pastizal en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil**. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 2004.
- BOND, William J.; KEELEY, Jon E. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in ecology & evolution**, v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005.
- BOND, W. J.; MIDGLEY, G. F.; WOODWARD, F. I. What controls South African vegetation—climate or fire?. **South African Journal of Botany**, v. 69, n. 1, p. 79-91, 2003.
- BOND, William J. Do nutrient-poor soils inhibit development of forests? A nutrient stock analysis. **Plant and soil**, v. 334, n. 1, p. 47-60, 2010.
- BOND, William J. What limits trees in C₄ grasslands and savannas?. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, p. 641-659, 2008.
- BOND, William J.; MIDGLEY, Guy F. Carbon dioxide and the uneasy interactions of trees and savannah grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 367, n. 1588, p. 601-612, 2012.
- BOND, William J.; MIDGLEY, Jeremy J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. **Trends in ecology & evolution**, v. 16, n. 1, p. 45-51, 2001.
- BOND, William J.; PARR, Catherine L. Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. **Biological conservation**, v. 143, n. 10, p. 2395-2404, 2010.
- BOND, William J.; WOODWARD, F. Ian; MIDGLEY, Guy F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005.
- BRAUN, Tibor et al. **Scientometric indicators: a 32 country comparative evaluation of publishing performance and citation impact**. World Scientific, 1985.

CAMPBELL, Bruce Morgan et al. (Ed.). **The Miombo in transition: woodlands and welfare in Africa**. Cifor, 1996.

CERLING, Thure E. et al. Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. **Nature**, v. 389, n. 6647, p. 153-158, 1997.

CERLING, Thure E. et al. Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. **Nature**, v. 389, n. 6647, p. 153-158, 1997.

COCHRANE, T. T. et al. Land use and productive potential of American savannas. In: **Tothill, JC; Mott, JJ (eds.). International Savanna Symposium (1984, Brisbane, Australia). Ecology and management of the world's savannas**. 1984.

COUTINHO, Leopoldo Magno. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: I. A temperatura do solo durante as queimadas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 93-96, 1978.

COUTINHO, Leopoldo Magno. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: **Fire in the tropical biota**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1990. p. 82-105.

CRISP, Michael D. et al. Flammable biomes dominated by eucalypts originated at the Cretaceous–Palaeogene boundary. **Nature Communications**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2011.

CRISP, Michael D. et al. Livistona palms in Australia: ancient relics or opportunistic immigrants?. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 54, n. 2, p. 512-523, 2010.

CRISP, Michael D. et al. Livistona palms in Australia: ancient relics or opportunistic immigrants?. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 54, n. 2, p. 512-523, 2010.

DEFRIES, Ruth S. et al. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 22, p. 14256-14261, 2002.

DONTHU, Naveen et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285-296, 2021.

DRAKE, Bert G.; GONZÁLEZ-MELER, Miguel A.; LONG, Steve P. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂. 1997.

DUBLIN, Holly T.; SINCLAIR, Alan RE; MCGLADE, J. Elephants and fire as causes of multiple stable states in the Serengeti-Mara woodlands. **The Journal of Animal Ecology**, p. 1147-1164, 1990.

EITEN, George. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

FIDELIS, Alessandra. Is fire always the “bad guy”?. **Flora**, v. 268, p. 151611, 2020.

- GOMES, Letícia; MIRANDA, Heloisa Sinátora; DA CUNHA BUSTAMANTE, Mercedes Maria. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome?. **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 281-290, 2018.
- GRACE, John et al. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 387-400, 2006.
- HAIRSTON, Nelson G.; SMITH, Frederick E.; SLOBODKIN, Lawrence B. Community structure, population control, and competition. **The american naturalist**, v. 94, n. 879, p. 421-425, 1960.
- HAWKINS, Donald T. Unconventional uses of on-line information retrieval systems: On-line bibliometric studies. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 28, n. 1, p. 13-18, 1977.
- HIGGINS, Steven I. et al. Effects of four decades of fire manipulation on woody vegetation structure in savanna. **Ecology**, v. 88, n. 5, p. 1119-1125, 2007.
- HIROTA, Marina et al. Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. **Science**, v. 334, n. 6053, p. 232-235, 2011.
- HOFFMANN, William A. et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, v. 90, n. 5, p. 1326-1337, 2009.
- HOFFMANN, William A. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. **Ecology**, v. 80, n. 4, p. 1354-1369, 1999.
- JACKSON, Robert B. et al. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, v. 108, n. 3, p. 389-411, 1996.
- KRAFT, Nathan JB et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional ecology**, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015.
- LLOYD, Jon et al. Contributions of woody and herbaceous vegetation to tropical savanna ecosystem productivity: a quasi-global estimate. **Tree physiology**, v. 28, n. 3, p. 451-468, 2008.
- MAYLE, Francis E. et al. Long-term forest–savannah dynamics in the Bolivian Amazon: implications for conservation. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 291-307, 2007. OVERBECK, Gerhard Ernst;
- MIRANDA, A. C. et al. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell & Environment**, v. 20, n. 3, p. 315-328, 1997.
- MOREIRA, Adriana G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021-1029, 2000.
- NASCIMENTO, Itaborai Velasco. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**, n. 8, p. 25-35, 2001.

PAGANI, Mark et al. The role of terrestrial plants in limiting atmospheric CO₂ decline over the past 24 million years. **Nature**, v. 460, n. 7251, p. 85-88, 2009.

PARR, Catherine L.; ANDERSEN, Alan N. Fire resilience of ant assemblages in long-unburnt savanna of northern Australia. **Austral Ecology**, v. 33, n. 7, p. 830-838, 2008.

PÉREZ-GARCÍA, Eduardo A.; MEAVE, Jorge A. Coexistence and divergence of tropical dry forests and savannas in southern Mexico. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 438-447, 2006.

PFADENHAUER, Jörg. Adaptive strategies in burned subtropical grassland in southern Brazil. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 202, n. 1, p. 27-49, 2007.

POLIS, Gary A. Why are parts of the world green? Multiple factors control productivity and the distribution of biomass. **Oikos**, p. 3-15, 1999.

PRITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of documentation**, v. 25, p. 348, 1969.

PRITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of documentation**, v. 25, p. 348, 1969.

RATNAM, Jayashree et al. When is a 'forest' a savanna, and why does it matter?. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 5, p. 653-660, 2011.

RATTER, James Alexander; RIBEIRO, José Felipe; BRIDGEWATER, Samuel. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.

RIGINOS, Corinna; GRACE, James B. Savanna tree density, herbivores, and the herbaceous community: Bottom-up vs. top-down effects. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2228-2238, 2008.

RUSSELL-SMITH, Jeremy et al. Rain forest invasion of eucalypt-dominated woodland savanna, Iron Range, north-eastern Australia: I. Successional processes. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 8, p. 1293-1303, 2004.

SAN JOSÉ, José Juan; FARIÑAS, M. R. Changes in tree density and species composition in a protected Trachypogon savanna, Venezuela. **Ecology**, v. 64, n. 3, p. 447-453, 1983.

SANKARAN, Mahesh; RATNAM, Jayashree; HANAN, Niall P. Tree-grass coexistence in savannas revisited—insights from an examination of assumptions and mechanisms invoked in existing models. **Ecology letters**, v. 7, n. 6, p. 480-490, 2004.

SCHIMPER, Andreas Franz Wilhelm. **Pflanzen-geographie auf physiologischer Grundlage**. G. Fischer, 1898.

SCHRADER, Alvin M. Teaching bibliometrics. 1981.

SEILER, Wolfgang; CRUTZEN, Paul J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic change**, v. 2, n. 3, p. 207-247, 1980.

SEILER, Wolfgang; CRUTZEN, Paul J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic change**, v. 2, n. 3, p. 207-247, 1980.

SMITH, Linda C. Citation analysis. 1981.

STAVER, A. Carla; ARCHIBALD, Sally; LEVIN, Simon A. The global extent and determinants of savanna and forest as alternative biome states. **science**, v. 334, n. 6053, p. 230-232, 2011.

STREMERSCH, Stefan; VERNIERS, Isabel; VERHOEF, Peter C. The quest for citations: Drivers of article impact. **Journal of Marketing**, v. 71, n. 3, p. 171-193, 2007.

VAN LANGEVELDE, Frank et al. Effects of fire and herbivory on the stability of savanna ecosystems. **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 337-350, 2003.

VAN LANGEVELDE, Frank et al. Effects of fire and herbivory on the stability of savanna ecosystems. **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 337-350, 2003.

WERNER, Patricia A. Impact of feral water buffalo and fire on growth and survival of mature savanna trees: an experimental field study in Kakadu National Park, northern Australia. **Austral Ecology**, v. 30, n. 6, p. 625-647, 2005.

WIGLEY, Benjamin J.; BOND, William J.; HOFFMAN, M. Timm. Thicket expansion in a South African savanna under divergent land use: local vs. global drivers?. **Global Change Biology**, v. 16, n. 3, p. 964-976, 2010.

WILLIS, Kathy; MCELWAIN, Jennifer. **The evolution of plants**. Oxford University Press, 2014.

WOINARSKI, J. C. Z.; RISLER, J.; KEAN, L. Response of vegetation and vertebrate fauna to 23 years of fire exclusion in a tropical Eucalyptus open forest, Northern Territory, Australia. **Austral Ecology**, v. 29, n. 2, p. 156-176, 2004.

WOODWARD, F. I.; LOMAS, M. R.; LEE, S. E. Predicting the future productivity and distribution of global terrestrial vegetation. **Terrestrial global productivity**, p. 521-541, 2001.