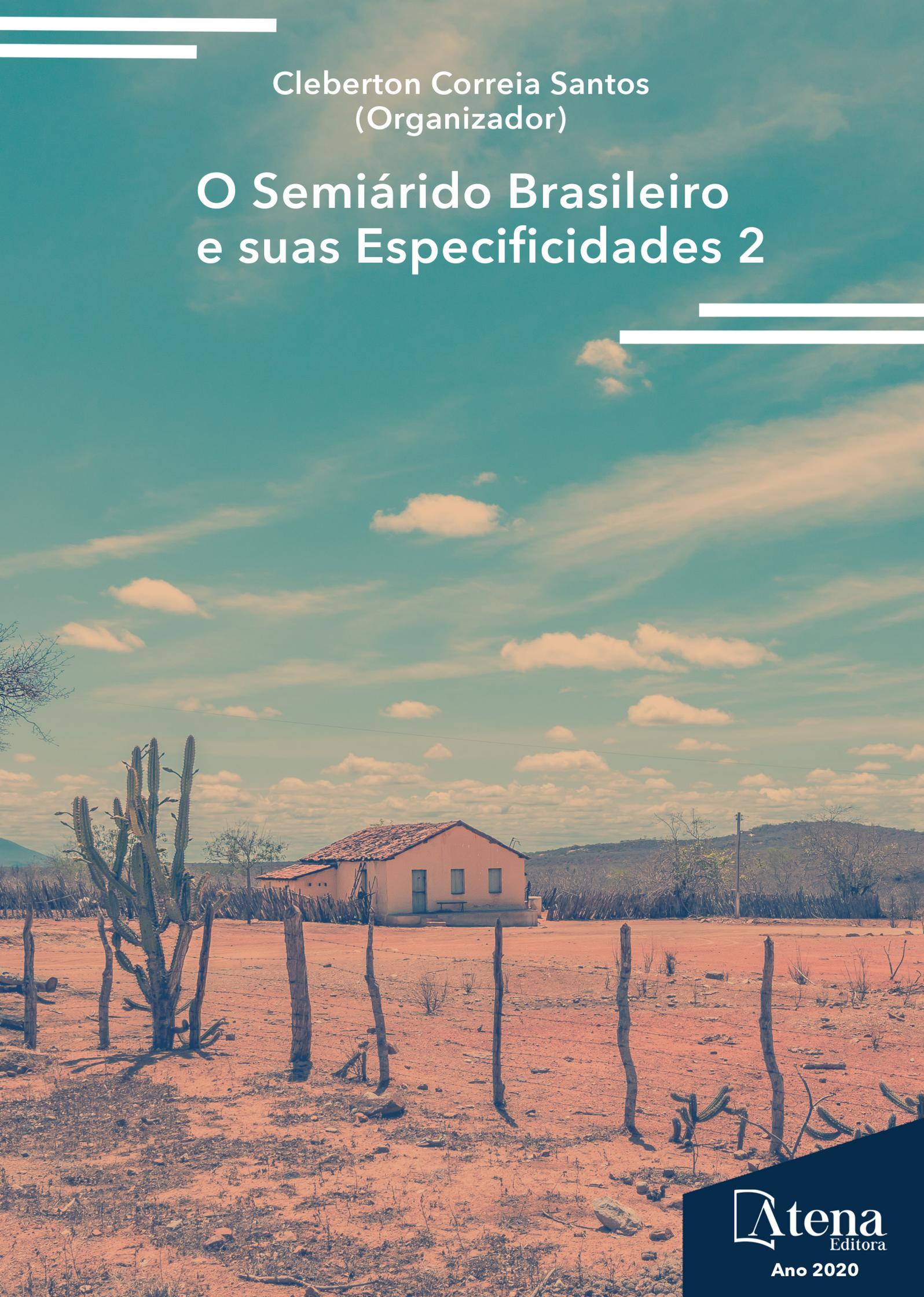


Cleberton Correia Santos
(Organizador)

O Semiárido Brasileiro e suas Especificidades 2

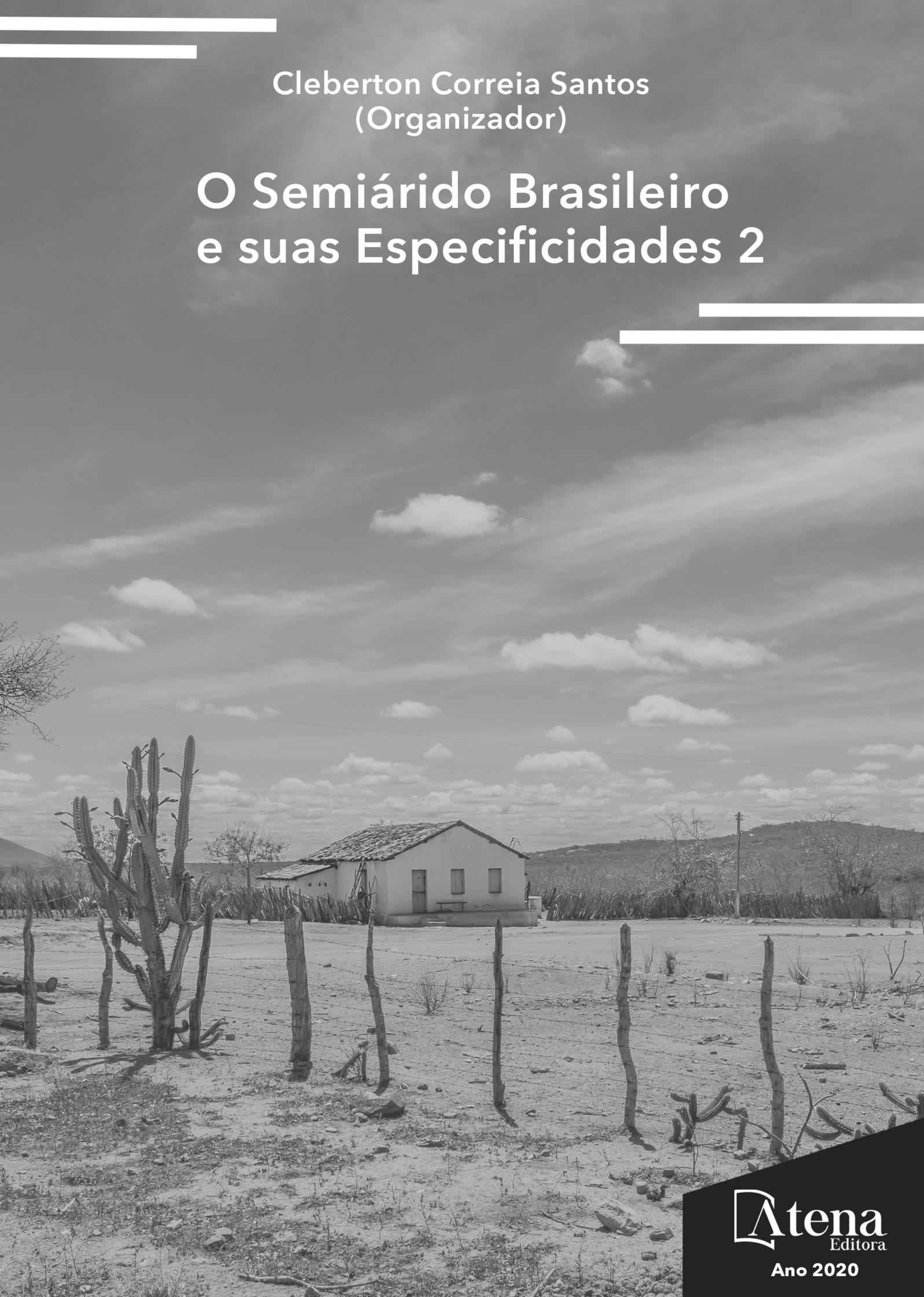


Atena
Editora

Ano 2020

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

O Semiárido Brasileiro e suas Especificidades 2



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernando da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
S471	<p>O semiárido brasileiro e suas especificidades 2 [recurso eletrônico] / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia. ISBN 978-65-5706-070-4 DOI 10.22533/at.ed.704202705</p> <p>1. Brasil, Nordeste – Condições sociais. 2. Desenvolvimento sustentável – Nordeste. 3. Identidade cultural. I. Santos, Cleberton Correia.</p> <p style="text-align: right;">CDD 305.4209813</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “O semiárido Brasileiro e suas Especificidades 2” de publicação da Atena Editora, apresenta, em seus cinco capítulos, temáticas direcionadas ao desenvolvimento sustentável e identidade cultural. O semiárido brasileiro é constituído por estados da região do Nordeste e pequena parte do Sudeste. Dentre suas características específicas pode-se enfatizar principalmente a diversidade cultural, riqueza em vegetação no bioma Caatinga e baixa disponibilidade hídrica em função da irregularidade das chuvas, tornando-se então um complexo sistema de estudos.

Neste sentido, é fundamental a elucidação de informações de tecnologias/práticas que possam atenuar e/ou mitigar as problemáticas ambientais, bem como contribuir na responsabilidade social e desenvolvimento sustentável. Assim, este volume traz estudos direcionados às áreas socioeconômicas e ambientais baseados na importância socioeconômica, nutricional valorização de espécies nativas, gestão e desenvolvimento social e sustentabilidade na construção civil e levantamento de áreas de preservação no semiárido Brasileiro.

Os sinceros agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos autores, pelo empenho e dedicação no desenvolvimento dos trabalhos inestimáveis e ricos em conteúdo, apresentados de forma clara e objetiva, os quais permitiram difundir tecnologias e conhecimentos de aspectos intrínsecos da região.

Por meio deste exemplar esperamos contribuir na aprendizagem significativa e interlocução de saberes sobre o Semiárido brasileiro, e instigar alunos de graduação e de pós-graduação, bem como pesquisadores, no aprimoramento de tecnologias almejando o desenvolvimento sustentável e resgate cultural.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
COCO CATOLÉ (<i>Syagrus ceraensis</i>): PALMEIRA NATIVA DE IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA E NUTRICIONAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruno Ranieri Lins de Albuquerque Meireles Maristela Alves Alcântara Isabelle de Lima Brito Ângela Maria Tribuzy de Magalhães Cordeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7042027051	
CAPÍTULO 2	14
GESTÃO COLETIVA PARA CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO: EXPERIÊNCIAS A PARTIR DO PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA	
Jaqueline de Araújo Oliveira Machado Jucilene Silva Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.7042027052	
CAPÍTULO 3	22
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE	
Maria Jorgiana Ferreira Dantas Francisco Glaubenio Cavalcante de Almeida Kátia Bezerra Rabelo José Wémenson Rabelo Chaves Aline Islia Almeida de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.7042027053	
CAPÍTULO 4	34
LEVANTAMENTO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DA CAATINGA NA FRONTEIRA DOS ESTADOS DE ALAGOAS E SERGIPE	
Jailson de Oliveira Denisson Lima do Nascimento Amanda Cibele da Paz Sousa Raquel Soares da Silva Ranniele Luíza Ventura da Silva Luis Paulo Ferreira Neves Mayara França Farias Lucas Akira Tanabe Quaresma Marize de Campos Lima Julhe Caroline Farias da Costa Evilazio Alves de Brito Junior Évillyn Alves Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7042027054	
CAPÍTULO 5	40
SISAL: DE UM PASSADO RÚSTICO PARA UM FUTURO BRILHANTE	
Marina Pupke Marone Fábio Trigo Raya Ênio da Cunha Dias Magalhães Ana Cristina Fermino Soares Marcelo Falsarella Carazzolle Gonçalo Amarante Guimarães Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.7042027055	

SOBRE O ORGANIZADOR.....	58
ÍNDICE REMISSIVO	59

SISAL: DE UM PASSADO RÚSTICO PARA UM FUTURO BRILHANTE

Data de aceite: 12/05/2020

Data de submissão: 05/02/2020

Marina Pupke Marone

Laboratório de Genômica e BioEnergia
– Departamento de Genética, Evolução,
Microbiologia e Imunologia – UNICAMP
Campinas – São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3160-4766>

Fábio Trigo Raya

Laboratório de Genômica e BioEnergia
– Departamento de Genética, Evolução,
Microbiologia e Imunologia – UNICAMP
Campinas – São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1047-2920>

Ênio da Cunha Dias Magalhães

Escola Família Agrícola Avani de Lima Cunha –
APAEB
Valente – Bahia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2453-5221>

Ana Cristina Fermino Soares

Laboratório de Microbiologia Agrícola – Centro
de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas –
UFRB

Cruz das Almas – Bahia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4014-1794>

Marcelo Falsarella Carazzolle

Laboratório de Genômica e BioEnergia
– Departamento de Genética, Evolução,
Microbiologia e Imunologia – UNICAMP

Campinas – São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5474-2830>

Gonçalo Amarante Guimarães Pereira

Laboratório de Genômica e BioEnergia
– Departamento de Genética, Evolução,
Microbiologia e Imunologia – UNICAMP
Campinas – São Paulo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4140-3482>

RESUMO: Um dos grandes desafios da humanidade será lidar de forma eficiente com as mudanças climáticas. O mundo não acabará por causa delas, mas teremos alterações significativas no planeta, em particular no zoneamento agropecuário. Novas áreas áridas e semiáridas deverão surgir e a civilização precisará lidar com elas. No Brasil, temos naturalmente uma dessas áreas: o sertão. Com cerca de 83 milhões de hectares, poucas culturas são capazes de se desenvolver eficientemente nesse ambiente. Uma exceção são os agaves, plantas dotadas da fotossíntese CAM e capazes de gerar produtividades semelhantes às da cana-de-açúcar. Nessa revisão apresentamos essas plantas, o seu uso no Brasil para a produção de fibras, no México para bebidas, e o seu potencial para desenvolver uma ampla área do nordeste, quiçá

de futuras regiões áridas do mundo. Esse movimento envolve grandes desafios, como a importação de germoplasma e o aprofundamento do conhecimento da sua genética, bioquímica e fisiologia, aspectos de extrema importância para o desenvolvimento de sua biotecnologia. Por outro lado, a superação desses desafios promete enormes recompensas, como a produção de grandes volumes de biocombustíveis, fibra de alta qualidade – para qual novos usos podem ser elaborados – e o desenvolvimento de novas cadeias de valor com a extração e uso dos valiosos bioquímicos que o seu bagaço contém. Definitivamente, não se trata mais de uma cultura atrasada, a ser reconhecida apenas como a única opção para áreas abandonadas. Veremos que é uma cultura para o futuro, pronta para receber as mais sofisticadas tecnologias e se converter uma estrela do agronegócio, com ampla geração de emprego, renda e bem-estar social.

PALAVRAS-CHAVE: Agave, bioenergia, biorrenováveis, biomassa, fibras naturais

SISAL: FROM A RUSTIC PAST TO A BRIGHT FUTURE

ABSTRACT: One of humanity's greatest challenges will be to deal efficiently with climate change. It will not be the end of the world, but we will have significant changes on the planet, particularly in agricultural zoning. New arid and semi-arid areas are expected to emerge, and civilization will have to face them. In Brazil, we naturally have one of these areas: "sertão", the Brazilian outback. With about 83 million hectares, few cultures can grow efficiently in this environment. An exception is the agaves, plants endowed with CAM photosynthesis and capable of generating productivity similar to that of sugarcane. In this review, we present these plants, their use in Brazil for fiber production, in Mexico for alcoholic beverages, and their potential to develop a wide area in the northeast, perhaps in future arid regions of the world. This movement involves great challenges, such as germplasm importation and expanding our knowledge of agave's genetics, biochemistry, and physiology, aspects of extreme importance for the development of its biotechnology. On the other hand, overcoming these challenges promises enormous rewards, such as the production of large volumes of biofuels, high-quality fiber – for which new applications can appear – and the development of new value chains with the extraction and use of valuable biochemicals present in the bagasse. It is definitely no longer a backward culture, to be recognized as the only option for abandoned areas. We will see that it is a culture for the future, ready to receive the most sophisticated technologies and become an agribusiness star, with a wide generation of jobs, income, and social well-being.

KEYWORDS: Agave, bioenergy, biorenewables, biomass, natural fibers

1 | INTRODUÇÃO

O gênero *Agave* tem centro de origem no México e desde que se tem registro, os povos ali residentes encontravam uma utilização para cada parte destas plantas. A agaveicultura moldou o estilo de vida dos povos mesoamericanos e permitiu que eles prosperassem na região, o que posteriormente ficou conhecido como a simbiose homem-agave (GENTRY, 1982). Por meio de estudos arqueológicos, foi constatado que os maias e astecas utilizavam as fibras de agaves para produção de redes, cordas, sacolas, cestas, calçados e vestimentas; dos pendões florais faziam lanças, varas de pesca e construções; o suco era usado como medicamento e os espinhos como agulhas; algumas espécies eram usadas como alimento e outras na extração de saponinas das raízes, para fabricação de sabão (MEDINA, 1954; NOBEL, 1994; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Além disso, diversas bebidas eram produzidas, como o *aguamiel*, a partir caldo doce de agave, e como o *pulque* obtido por fermentação. Após a chegada dos europeus foram introduzidos os processos de destilação que originaram as bebidas símbolo da identidade mexicana: mescal e tequila (VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Inclusive, os agaves tinham uma relação forte com a religiosidade pré-colombiana: acreditava-se que estas plantas eram a personificação da deusa Mayahuel, que representava a fertilidade, a cura, a dança, a embriaguez e a tecelagem. (RADDING, 2012; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Já durante este período, estes povos promoveram domesticação, seleção e dispersão de certos tipos de agave conforme suas necessidades de migração, a fim de aumentar a produtividade de fibras, alimentos ou bebidas (RADDING, 2012).

Atualmente os agaves também são utilizados para fins comerciais, sendo os principais produtos divididos em duas grandes categorias: bebidas alcoólicas e fibras. Além disso, são bastante utilizadas como plantas ornamentais por conta de seu visual rústico, pitoresco e imponente. O México é o maior produtor de bebidas alcoólicas de agave e no Brasil temos a maior produção de fibra de sisal do mundo.

Do ponto da sua classificação botânica, agaves são plantas monocotiledôneas suculentas e herbáceas da família Asparagaceae, sendo que o gênero *Agave* possui cerca de 300 espécies. São caracterizadas por seu formato em roseta, com folhas lanceoladas sésseis (sem pecíolo, ligadas diretamente ao caule). Por conta de sua morfologia, inicialmente os agaves foram considerados como membros do gênero *Aloe*, mas em 1748 Linneu criou um gênero próprio para os agaves, plantas distintas das aloes, cuja provável origem é na península arábica (COUSINS; WITKOWSKI, 2012; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). A maior parte do gênero *Agave* é formada por espécies monocárpicas: ao final do tempo de vida, que pode durar muitos anos, produzem o pedúnculo floral (possui inflorescências de

flores hermafroditas na porção apical, podendo chegar de 6 a 8 metros de altura), também chamado de pendão, e morrem após este evento (SIMCHA, 2017). Apesar disso, para a maioria das espécies a propagação é feita de forma vegetativa, através de bulbilhos e “rebentos” (chamados de “filhotes” pelos agricultores da Bahia); os primeiros são originados a partir de gemas florais no pedúnculo e os últimos a partir de rizomas (MEDINA, 1954; NOBEL, 1988).

Um aspecto importante sobre os agaves é a presença de diversos mecanismos de resistência à seca que os permitem prosperar em ambientes com baixíssima pluviosidade, como é o semiárido brasileiro. O principal mecanismo é a fotossíntese CAM (metabolismo ácido crassuláceo), que utiliza até 80% menos água do que plantas com metabolismos C3 ou C4 (BORLAND et al., 2014; STEWART, 2015; YIN et al., 2018). Ao contrário dos demais tipos de fotossíntese, nas plantas CAM o CO₂ é assimilado durante o período noturno, que possui temperaturas mais baixas; ele é transformado em ácido málico e acumulado nos vacúolos, para ser descarboxilado durante o período diurno, no qual os estômatos permanecem fechados. Essa regulação temporal de abertura e fechamento dos estômatos garante uma diminuição da taxa de evapotranspiração e da perda de água. Apesar de haver um pequeno custo energético na utilização do CAM, ele é irrisório em ambientes áridos e com muita luz (DAVIS; LONG, 2015), típico habitat destas plantas. Além disso, a descarboxilação diurna do ácido málico cria uma bomba de CO₂ que potencialmente inibe a fotorrespiração, um processo que reduz em até 40% da eficiência fotossintética em plantas C3 (KEELEY; RUNDEL, 2003; WINTER; SMITH, 1996; YANG et al., 2015). Outras características são importantes para explicar o sucesso dessas plantas em ambientes áridos e semiáridos, como a camada de cera que envolve a epiderme, a anatomia afundada dos estômatos, os grandes estoques de água no mesófilo (BLUNDEN; YI; JEWERS, 1973), raízes retráteis que respondem à quantidade de água no solo e a grossa camada de cera no caule (DAVIS; LONG, 2015; SARWAR et al., 2019). Trata-se de plantas extraordinárias, capazes de vegetar e produzir em áreas consideradas inóspitas para a agricultura tradicional. Elas têm o potencial de tornar produtivas amplas áreas do semiárido e sertão brasileiro, além de permitir a ocupação de espaços que poderão ser degradados com o avanço das mudanças climáticas.

2 | A AGAVEICULTURA BRASILEIRA: HISTÓRICO E SITUAÇÃO ATUAL

A disseminação dos agaves pelo mundo foi iniciada pouco tempo após os europeus terem chegado às Américas. Em 1561 o *Agave americana* foi a primeira espécie exótica introduzida no Jardim Botânico de Pádua (Itália), considerado o

primeiro jardim botânico do mundo (MEDINA, 1954; UNESCO, 2020). Contudo, no Brasil, as primeiras mudas de *Agave sisalana* foram importadas e trazidas para o estado da Bahia apenas em 1903, adquiridas de uma empresa dos EUA. Posteriormente, em 1906, o IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) obteve mudas provenientes da França (MEDINA, 1954). Neste período inicial, o agave não era uma cultura rentável e só começou a prosperar quando houve incentivo pelo Ministério da Agricultura, em 1938. Até 1943, éramos um país importador da fibra, mas a partir do pós-guerra passamos a ser um dos mais importantes exportadores e, em 1950, o segundo maior exportador (MEDINA, 1954). Entre 1965 e 1974, a produção foi de aproximadamente 200 mil toneladas/ano e foi a partir dos anos 1970 que o Brasil passou a ser o maior produtor de fibra de sisal no mundo, posição que mantém até hoje (NAVES, 2018). Somos o maior exportador, respondendo por 58% da produção e 70% da exportação global (FAO, 2020).

Desde os anos 1960, o setor encontra-se em declínio (Fig. 1) devido à competição com o mercado de fibras sintéticas. A queda do mercado de sisal culminou na diminuição de investimentos em pesquisa na cultura e, com a aposentadoria dos principais pesquisadores da área, os programas de melhoramento genético do sisal no Brasil cessaram. O banco de germoplasma do IAC, que possuía diversos cruzamentos interessantes, foi mantido pela instituição, mas sem novos investimentos muitos materiais se perderam. Já o banco da EMBRAPA Algodão, em Monteiro – PB, passou por forte estiagem nos últimos anos, o que pode ter acarretado a redução da diversidade da coleção. Em 2019, a UNICAMP, em parceria com a UFRB e a EMBRAPA, decidiu pela criação de um novo banco para a cultura, com materiais vindo dos bancos já existentes, de comerciantes de plantas e de uma coleta por diversos municípios das áreas produtivas da Bahia. Hoje o banco conta com cerca de 70 acessos, conservados no Laboratório de Genômica e bioEnergia (Unicamp), na estação experimental da EMBRAPA e no campo experimental da UFRB.

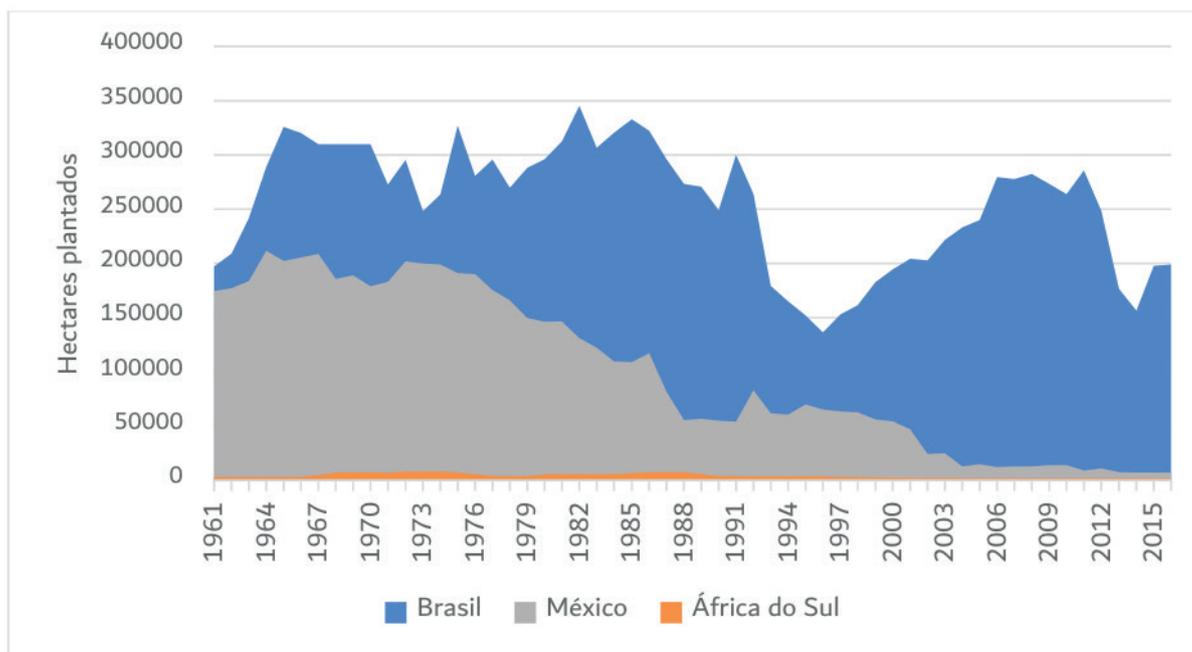


Figura 1: Quantidade de hectares plantados para produção de fibra de sisal nos principais países produtores do mundo desde 1961 até 2016 (FAO, 2020).

Nos últimos anos, um emergente interesse em fibras naturais fez a produção de agave ser retomada (Fig. 1). Esse interesse pode ser atribuído às preocupações ambientais sobre poluição por microplásticos, bem como à demanda por mercados de nicho (DAVIS; LONG, 2015; SALVADOR CESA; TURRA; BARUQUE-RAMOS, 2017).

A Bahia é atualmente o Estado com maior produção no Brasil (Fig. 2), com cerca de 94,4% da produção nacional de fibra, em diversos municípios do semiárido. A região com mais hectares plantados é a de Campo Formoso e a região onde ocorre grande parte do beneficiamento da fibra é a de Valente. O Estado da Paraíba já foi o maior produtor de sisal nos anos 1970, mas a partir dos anos 1990 a Bahia já passou a ocupar a primeira posição (ALVES; SANTIAGO; LIMA, 2005). Atualmente apenas 5,4% da produção de fibra é realizada na Paraíba.

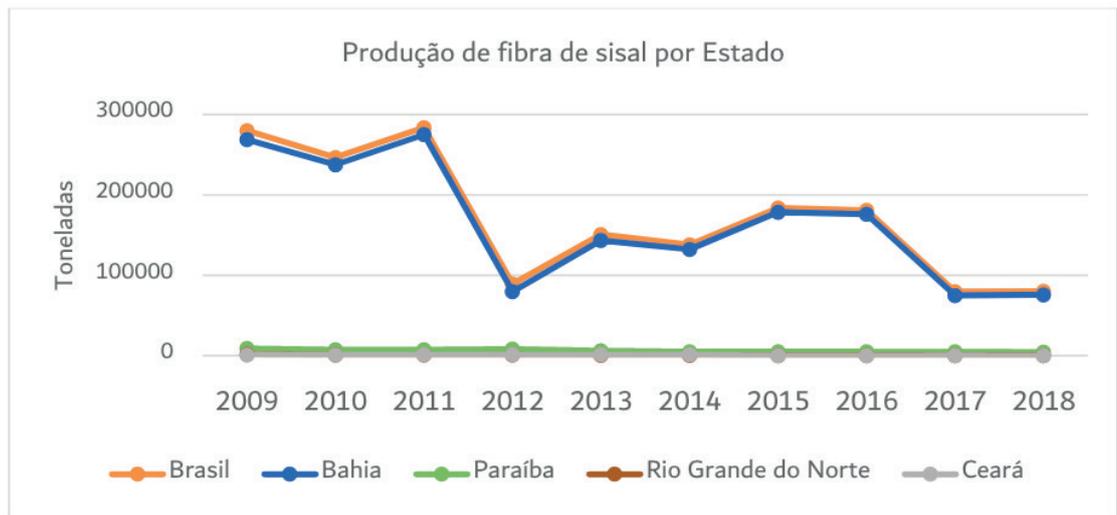


Figura 2: Produção brasileira de fibra de sisal em toneladas dos Estados produtores. Nota-se o destaque da Bahia (Dados: IBGE).

O plantio é feito com pouco manejo agrícola, não havendo normalmente o uso de insumos ou irrigação. Em muitos casos, a cultura é quase um extrativismo de campos anteriormente estabelecidos. Porém, os agricultores mais cuidadosos realizam práticas básicas como a retirada de plantas espontâneas (uma dos principais problemas é o crescimento da planta “catingueira”), a retirada do excesso de brotos (devem ficar apenas 2 ou 3 por planta), a remoção dos pseudo-caules antigos e já apodrecidos, o replantio de mudas em áreas com maior falhamento e a adubação com o bagaço do sisal, ou seja, do material que sobra a partir do desfibramento das folhas maduras.

A colheita pode ser feita anualmente, após cerca de 3 anos do plantio, por até 15 anos antes de ser necessário replantio (SILVA; BELTRÃO, 1999). As folhas mais velhas são retiradas pelo “cortador”, sempre deixando-se um conjunto de 4 a 5 folhas para proteger as folhas centrais (o espigão), de onde são geradas as demais folhas. Após a colheita, essas folhas são recolhidas pelo “botador” e carregadas nos animais (os jegues e jumentos) para serem transportadas até o “motor”, que é um conjunto móvel de equipamentos, constituído por um motor a diesel que movimenta uma pequena máquina desfibradeira. Normalmente são empregados dois homens para a operação do motor: um fazendo o desfibramento, o chamado “cervador”, e o outro fazendo o trabalho de apoio, o “resideiro”. A atividade desse último consiste na movimentação das folhas e fibras, remoção do bagaço com sua aplicação no campo e pesagem das fibras verdes. Um conjunto como esse é capaz de processar cerca de 400 a 500 kg de fibra verde por dia. Após esse processo as fibras vão para a secagem ao sol em varais de arame, um processo que dura cerca de 3 dias e é realizado pelo “extendedor”. Por hectare, esse sistema produtivo gera cerca de 1800 a 2300 kg de fibra seca por ano, que é vendida para empresas de

processamento locais. O dono do campo fica com 45% da renda dessa venda e os demais 55% são administrados pelo dono do motor, que arca com as despesas de todas as operações (corte, transporte, desfibramento e secagem).

O bagaço fermentado é também utilizado para alimentar os ovinos e caprinos, mas é um alimento que pode provocar problemas na digestão dos animais, quando não processado de forma adequada (ALVES; SANTIAGO; LIMA, 2005). Entretanto, esse bagaço é rico em compostos de interesse farmacêutico e diversas moléculas com potencial para a química fina, podendo assim, com tecnologia, gerar produtos muito mais nobres e valiosos (BRANCO et al., 2010; MICHEL-CUELLO et al., 2008; MORÁN et al., 2008; SANTOS et al., 2015). Um fator de atenção é a podridão vermelha do tronco, doença causada pelo fungo *Aspergillus welwitschiae*, a qual tem se disseminado por todas as regiões produtoras, mas que poderia ser convenientemente controlada a partir de um manejo mais adequado (DELLAERT, 2014; DUARTE et al., 2018). Pesquisas para uma maior compreensão dessa enfermidade estão sendo realizadas (DAMASCENO et al., 2019; DUARTE et al., 2018; QUINTANILHA-PEIXOTO et al., 2019) e é importante que se consiga encontrar um controle eficiente.

É interessante perceber que o aumento do preço da fibra nos últimos anos tem levado a um aumento da valorização da cultura, inclusive com programas mais sofisticados de financiamento por parte do Banco do Nordeste (BNB), além daqueles destinados à agricultura familiar. Existem empresários iniciando plantios organizados de maior porte e há significativa valorização das terras nas regiões produtoras.



Figura 3: Diferentes estágios da produção de fibra. (a) Folhas cortadas. (b) Fibras após passarem pela desfibradeira. (c) Bagaço, que é 96% da folha. Fotos: Raya, F. T.

3 | ESPÉCIES DE AGAVE DE APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Plantas que usam a fotossíntese CAM carregam o estigma de serem extremamente resistentes à seca, porém de crescimento lento. Contudo, plantas

do gênero *Agave* podem atingir produtividades impressionantes e movimentam indústrias em diversas regiões áridas e semiáridas do globo para a produção de bebidas ou de fibra (DAVIS et al., 2015; GARCIA-MOYA; ROMERO-MANZANARES; NOBEL, 2011; MEDINA, 1954; NOBEL, 1994).

Dentre as espécies utilizadas para a produção de fibras destacam-se o *A. sisalana* (sisal), o *A. fourcroydes* (henequén) e a cultivar híbrida 11648 (*A. amaniensis* x *A. angustifolia*) (DAVIS; LONG, 2015; MEDINA, 1954). A principal característica que determina uma espécie como boa produtora de fibra é o comprimento de folha: as espécies destinadas para este fim facilmente possuem folhas maiores que 1,5m, sendo que alguns acessos depositados no banco de germoplasma da EMBRAPA, da UNICAMP e da UFRB possuem folhas que atingem até 2m. *A. sisalana* é a espécie mais cultivada para este fim e sua popularidade se dá pela grande qualidade da sua fibra e pela ausência de espinhos laterais nas folhas (DAVIS; LONG, 2015; SILVA; BELTRÃO, 1999). O material amplamente disseminado pelo mundo é proveniente das mudas introduzidas no sul da Flórida (EUA) pelo cônsul norte-americano em Campeche, Dr. Henry Perrine, em 1834 (MEDINA, 1954). Entretanto, isto supostamente ocasiona uma baixa diversidade genética dos plantios comerciais fora do México, o tornando potencialmente mais susceptível a pragas e doenças.

A segunda espécie mais utilizada para produção de fibras é o *A. fourcroydes*, sendo considerado mais produtivo e resistente à seca que o sisal. Contudo, a presença de espinhos nos bordos das folhas torna essa espécie mais difícil de ser manipulada e uma escolha impopular entre os agricultores brasileiros (MEDINA, 1954; SUINAGA et al., 2007). Apesar disto, no México, *A. fourcroydes* ainda é a espécie mais cultivada para obtenção de fibras (DAVIS; LONG, 2015).

Apesar das espécies do gênero *Agave* hibridizarem naturalmente, apenas o Híbrido 11648 tem relevância comercial (DAVIS; LONG, 2015; SILVA; BELTRÃO, 1999). Popularmente conhecido como o Híbrido Preto, esta cultivar foi desenvolvida na *East African Agricultural Research Station* (Amani), em 1948, a partir do cruzamento entre o *Agave amaniensis* (Sisal Azul) e o *Agave angustifolia*. O *A. amaniensis* (Sisal Azul) é uma espécie de origem desconhecida que foi encontrada em uma área experimental abandonada em Amani e ganhou popularidade entre os produtores africanos por apresentar crescimento rápido e produção de folhas longas e pesadas contendo fibras de maior qualidade (MEDINA, 1954; SILVA; BELTRÃO, 1999). Já o *A. angustifolia* é considerado como espécie ancestral de diversos agaves domesticados como *A. tequilana* (GENTRY, 1982; RODRÍGUEZ-GARAY et al., 2009; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Ele chama a atenção por sua alta produtividade, sendo capaz de produzir o dobro do número de folhas de *A. sisalana*, em um terço do tempo. Entretanto, suas folhas são mais curtas, leves e com menor teor de teor de fibras, o que fez com que não se tornasse

uma escolha para os cultivos comerciais (MEDINA, 1954). O Híbrido 11648 é o segundo cultivar mais plantado no Brasil e de grande importância para os territórios africanos (ALVARENGA JR., 2012; SILVA; BELTRÃO, 1999; SUINAGA et al., 2007); é considerado menos susceptível a doença mais importante da cultura, a podridão vermelha do tronco, e mais rústico e produtivo que *A. sisalana* (ALVARENGA JR., 2012; MEDINA, 1954, 1959; SUINAGA et al., 2007).

Em comparação com *A. sisalana*, tanto *A. fourcroydes* quanto o Híbrido 11648 produzem fibras consideradas de pior qualidade e apresentam maior dificuldade para o processamento (MEDINA, 1954). Apesar de não haver comparação direta entre os três agaves quanto a resistência a estresses abióticos, aparentemente há um consenso entre os pesquisadores de que *A. sisalana* é mais susceptível a estes estresses (ALVARENGA JR., 2012; MEDINA, 1954; SUINAGA et al., 2007). Outra cultivar híbrida de destaque é o Híbrido de 400 folhas (Híbrido Branco) (SILVA; BELTRÃO, 1999; SUINAGA et al., 2007), embora em termos de fibras seja bem produtivo e produza muitas folhas, sua presença é rara em plantações comerciais e não há registros da origem desta cultivar. Na Bahia, tanto o Híbrido 11648 quanto o Híbrido de 400 folhas têm substituído *A. sisalana* em regiões mais assoladas pela podridão vermelha, especialmente na região de Monte Santo.



Figura 4: Os três agaves mais cultivados no Brasil. (a) *A. sisalana*; (b) Híbrido 11648 (seta preta) e Híbrido de 400 folhas (seta branca). Fotos: Raya, F. T.

Entre os agaves utilizados pela indústria de bebidas alcoólicas, destacam-se *A. tequilana* e *A. salmiana*. A grande característica de interesse das plantas destinada para este fim é o acúmulo de carboidratos de reserva no seu caule (VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Para os agaves, os principais carboidratos de reserva são os polímeros de frutose (frutanos) (MANCILLA-MARGALLI; LÓPEZ, 2006; NOBEL,

1988); estes carboidratos são armazenados nos vacúolos das células e, conforme o amadurecimento das plantas, vão se ramificando, o que lhes conferem maior estabilidade (ARRIZON et al., 2010). Uma vez atingido o estado de maturação, a planta inteira é colhida e seu caule (*piña*) é processado para a extração dos açúcares.

A espécie mais utilizada pela indústria de bebidas é o *A. tequilana*, conhecido também como *A. angustifolia* ssp. *tequilana* cult. *azul*. O destilado alcoólico simples desta espécie leva o nome de tequila e movimenta um mercado anual de U\$1,7 bilhão de dólares no Estados Unidos (DISTILLED SPIRITS COUNCIL OF THE UNITED STATES, 2011). Cabe ressaltar que tequila é um produto de denominação de origem controlada (DOC) e, de acordo com a legislação mexicana, só pode ser produzida no estado de Jalisco (México) com a cultivar azul de *A. tequilana* (NOBEL, 1994; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Os demais destilados alcoólicos simples originários de outras espécies de agave também possuem DOC, porém todos recebem o nome de Mescal (VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). Eventualmente as espécies *A. angustifolia*, *A. fourcroydes*, *A. mapisaga* e *A. americana* podem ser utilizadas para a produções de bebidas como o pulque (mosto fermentado de agave) ou o Mescal (NOBEL, 1994; VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004), embora *A. salmiana* seja mais eficiente (VALENZUELA-ZAPATA; NABHAN, 2004). No Brasil, não existem plantações comerciais destas espécies.

4 | AGAVES COMO FONTE DE BIORRENOVÁVEIS PARA O SEMIÁRIDO

Recentemente os agaves vêm sendo considerados como potenciais fontes de biomassa para regiões áridas e semiáridas, principalmente por sua alta produtividade e eficiência de uso da água (BORLAND et al., 2014; DAVIS et al., 2017; NOBEL, 1994; OWEN; FAHY; GRIFFITHS, 2016; SOMERVILLE et al., 2010). Dependendo da espécie e região, os agaves comerciais podem produzir de 8.5 a 22 t ha⁻¹ ano⁻¹ (DAVIS; LEBAUER; LONG, 2014), entretanto algumas espécies não convencionais como *A. salmiana* chegam até 40 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa seca (NOBEL; GARCIA-MOYA; QUERO, 1992). Testes de campo no Arizona (EUA) utilizando *A. americana* encontraram rendimentos entre 4,0–9,3 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa total utilizando irrigação de 300-530 mm ano⁻¹. Tais produtividades são maiores que culturas do semiárido tradicionais no Arizona, como algodão, que atinge 1,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, porém com menor consumo de água (DAVIS et al., 2017). No entanto, a análise teórica indica que *A. tequilana* poderia alcançar produtividades potenciais ainda maiores (38 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa seca) (OWEN; FAHY; GRIFFITHS, 2016). De acordo com o modelo de Owen & Griffiths (2016), as produtividades estimadas de *A.*

tequilana nas condições do semiárido brasileiro poderiam atingir 17-19 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa seca. Considerando a taxa de conversão de biomassa a etanol (OWEN; GRIFFITHS, 2014), estima-se que a produção brasileira de álcool de agave poderia alcançar 5,9 mil L ha⁻¹ ano⁻¹, o que é praticamente o dobro da produtividade média nacional de etanol de cana-de-açúcar obtida em 2017 (2,7 mil L ha⁻¹ ano⁻¹) (CONAB, 2018).

Além de suas produtividades, os agaves apresentam outras vantagens para a produção de biorrenováveis e biocombustíveis, como abundância de carboidratos não estruturais (polímeros de frutose) que podem ser “estocados” em campo (ARRIZON et al., 2010; BORLAND et al., 2009); alta proporção entre parte aérea e raiz, pois apenas 10% da biomassa é raiz (BORLAND et al., 2009; NOBEL, 1988), o que significa que grande parte da biomassa produzida pode ser colhida; e baixos teores de lignina (BORLAND et al., 2009; DAVIS; LONG, 2015; SMITH, 2008). Sob a perspectiva de produção de biocombustíveis lignocelulósicos, lignina é o polímero da parede celular de maior relevância, sendo a maior causa de recalcitrância e principal barreira para obtenção de produtos derivados de biomassa (RAGAUSKAS et al., 2014; SIMMONS; LOQUÉ; RALPH, 2010).

Embora existam diferenças quanto a espécies e cultivares, a composição da parede celular dos agaves apresenta altos teores de celulose (43-78%) e baixos de lignina, podendo variar entre 4,9 e 16% (BORLAND et al., 2009; DAVIS; LONG, 2015), sendo que as frações de lignina podem alcançar valores muito inferiores a outras culturas energéticas como *Mischantus giganteus* (18-21%), cana-de-açúcar (25-27%) e eucalipto (26-32%) (BORLAND et al., 2009; DAVIS; DOHLEMAN; LONG, 2011; LEÃO et al., 2016; MORGAN et al., 2016; RAYA, 2018). Ademais, estudos com os resíduos agrícolas da produção de tequila e sisal indicam a presença de diversos ácidos orgânicos, como ácido succínico, carboidratos, como manitol, e flavonoides, como o kaempfeol, além de pectinas e saponinas, que apresentam alto potencial tecnológico para a indústria farmacêutica e cosmética e que poderiam ser explorados em sistemas de biorrefinarias (BORLAND et al., 2009; BRANCO et al., 2010; DAVIS et al., 2017; DELLAERT, 2014; LACERDA et al., 2012; MICHEL-CUELLO et al., 2008; MORÁN et al., 2008; SANTOS et al., 2015).

5 | DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A agaveicultura, tanto para produção de fibras como para etanol, possui alguns desafios comuns, destacando-se o tempo de cultivo e a baixa mecanização (NÚÑEZ; RODRÍGUEZ; KHANNA, 2011). Na média, o tempo de maturação dos agaves é de 3-5 anos, o que pode ser menos atrativo em relação a outras culturas. No Brasil, há uma evidente falta de preocupação dos agricultores com a sanidade

vegetal, sendo comum a utilização de mudas de péssima procedência, que oferecem baixa produtividade e estão muitas vezes contaminadas com o fungo da podridão vermelha. Além disso, não há controle das variedades cultivadas e nem indicação de usos das mesmas. É fundamental, para o correto desenvolvimento dessa cultura, que sejam desenvolvidas tecnologias para produção de mudas saudáveis em larga escala, com a micropropagação (HOLTUM et al., 2011; RODRÍGUEZ-GARAY; RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, 2018), e que sejam introduzidas novas espécies e variedades de forma a enriquecer os bancos de germoplasma brasileiros. A partir disso será possível identificar as melhores cultivares para os diferentes usos e regiões, o que poderá tornar a agaveicultura uma das grandes fontes de biomassa para o país. Para se ter uma ideia desse potencial, atualmente, apesar da rusticidade dos plantios, a atividade do sisal emprega, direta e indiretamente, cerca de 850 mil pessoas (DELLAERT, 2014), tendo portanto grande importância econômica, social e ambiental.

O processamento de resíduos do campo também representa uma oportunidade para a exploração comercial dos agaves. Esse material é rico em diversos compostos de interesse industrial que poderiam ser utilizados para outros fins comerciais. A cana-de-açúcar experimentou situação parecida na década de 70, quando o Brasil iniciou o Próálcool e o bagaço era um grande problema ambiental. Nesse setor, a solução encontrada foi a conversão desse material em energia elétrica a partir da queima em caldeiras. Hoje em dia é produzido cerca de 27,1 TWh anualmente desse material, sendo a segunda maior fonte de energia elétrica renovável no país (EPE, 2019). No caso do sisal, entretanto, a situação é diferente. Trata-se de agricultura familiar, com nível de organização muito baixo e pouca capacidade de investimento. Assim, uma possibilidade para geração de energia a partir do bagaço do sisal está na geração de biogás, que é feita a partir de digestão anaeróbia e tem uma contribuição importante para a produção de biometano e biohidrogênio (DAS; VEZIROGLU, 2008). Dessa forma, esta é uma solução simples e eficiente para o uso do bagaço do sisal, consistindo numa grande oportunidade de desenvolvimento agrícola e socioeconômico para o semiárido brasileiro.

Nos últimos 50 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou de valores médios entre 250 e 300 ppm para valores acima de 400 ppm (DLUGOKENCKY; TANS, 2020). A correlação entre esses dados e o aumento da temperatura global é alta e são conhecidos os impactos que isso traz para o ecossistema e a sociedade. Sendo assim, a descarbonização da atmosfera se tornou uma obrigação global e diversos acordos tentam remediar essa situação de aumento de temperatura.

O Brasil é um país com grande importância no setor bioenergético e de sustentabilidade e o programa RenovaBio é uma surpreendente contribuição para a redução dos efeitos das mudanças climáticas, focando em promover o aumento dos

combustíveis renováveis na matriz energética brasileira. Este programa visa tornar o mercado de biocombustíveis mais competitivo e diminuir as emissões de gases de efeito estufa, a partir de um mecanismo de mercado: as emissões evitadas se tornarão um título, o Cbio, que será negociado no mercado da bolsa de valores. Em um primeiro momento, as distribuidoras de combustíveis serão obrigadas a adquirir Cbios para descarbonizar uma parte do volume de combustíveis fósseis comercializados, mas espera-se que, mais adiante, tal crédito seja visto como um ativo de alto valor. Dessa forma, é fundamental que identifiquemos fontes renováveis de carbono e energia capazes não só de substituir as fontes fósseis, mas também de corrigir os danos já provocados por essas fontes de energia.

O RenovaBio é uma maneira de impulsionar o aumento do interesse em pesquisas sobre bioenergia e biorrenováveis a partir de agaves, por conta do grande potencial apresentado por estas plantas e também pelo iminente aumento da temperatura global (BORLAND et al., 2009). Entretanto, é necessário também investimento público para que se possa organizar o setor de modo a trazer desenvolvimento sustentável à região, para possibilitar a retomada das atividades diminuídas desde o final dos anos 70. É essencial estudar plantas capazes de sobreviverem com excelência e que possuem grandes produtividades em ambientes tão inóspitos. O Brasil tem um enorme potencial para desenvolver essa região de modo sustentável, gerando empregos, energia e resultados econômicos atraentes, os quais podem ser muito maiores se pudermos melhorar o cultivo e as suas aplicações.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, projeto Nexus: Intergração Sisal-Caatinga (CNPq processo n. 441625/2017-7).

REFERÊNCIAS

ALVARENGA JR., E. R. **Cultivo e aproveitamento do Sisal (Agave sisalana)**. Dossiê técnico, p. 24, 2012.

ALVES, M. O.; SANTIAGO, E. G.; LIMA, A. R. M. **Diagnóstico socioeconômico do setor sisaleiro do Nordeste brasileiro**. 4. ed. [s.l.] Série Documentos do ETENE, 2005.

ARRIZON, J. et al. **Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of Agave tequilana plants of different ages**. Food Chemistry, v. 122, n. 1, p. 123–130, set. 2010.

- BLUNDEN, G.; YI, Y. I.; JEWERS, K. **The comparative leaf anatomy of Agave, Beschorneria, Doryanthes and Furcraea species (Agavaceae: Agaveae)**. Botanical Journal of the Linnean Society, v. 66, n. 2, p. 157–179, 1 fev. 1973.
- BORLAND, A. M. et al. **Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands**. Journal of Experimental Botany, v. 60, n. 10, p. 2879–2896, 2009.
- BORLAND, A. M. et al. **Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency**. Trends in Plant Science, v. 19, n. 5, p. 327–338, 2014.
- BRANCO, A. et al. **D-Mannitol from Agave sisalana biomass waste**. Industrial Crops and Products, v. 32, n. 3, p. 507–510, 2010.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar - Terceiro levantamento, safra 2018/19, dezembro/2018**. p. 73, 2018.
- COUSINS, S. R.; WITKOWSKI, E. T. F. **African aloe ecology: A review**. Journal of Arid Environments, v. 85, p. 1–17, out. 2012.
- DAMASCENO, C. L. et al. **Postharvest biocontrol of anthracnose in bananas by endophytic and soil rhizosphere bacteria associated with sisal (Agave sisalana) in Brazil**. Biological Control, v. 137, p. 104016, out. 2019.
- DAS, D.; VEZIROGLU, T. **Advances in biological hydrogen production processes**. International Journal of Hydrogen Energy, v. 33, n. 21, p. 6046–6057, nov. 2008.
- DAVIS, S. C. et al. **Toward systems-level analysis of agricultural production from crassulacean acid metabolism (CAM): Scaling from cell to commercial production**. New Phytologist. n. February 2016, 2015.
- DAVIS, S. C. et al. **Productivity and water use efficiency of Agave americana in the first field trial as bioenergy feedstock on arid lands**. GCB Bioenergy, v. 9, n. 2, p. 314–325, 2017.
- DAVIS, S. C.; DOHLEMAN, F. G.; LONG, S. P. **The global potential for Agave as a biofuel feedstock**. GCB Bioenergy, v. 3, n. 1, p. 68–78, 2011.
- DAVIS, S. C.; LEBAUER, D. S.; LONG, S. P. **Light to liquid fuel: theoretical and realized energy conversion efficiency of plants using Crassulacean Acid Metabolism (CAM) in arid conditions**. Journal of Experimental Botany, v. 65, n. 13, p. 3471–3478, jul. 2014.
- DAVIS, S. C.; LONG, S. P. **Sisal/Agave**. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Eds.). Handbook of Plant Breeding. New York, NY: Springer New York, 2015. v. 9p. 335–349.
- DELLAERT, S. N. C. **Sustainability Assessment of the Production of Sisal Fiber in Brazil**. n. 2009, p. 84, 2014.
- DISTILLED SPIRITS COUNCIL OF THE UNITED STATES. **U.S. tequila market at a glance**. Distilled Spirits Council of the United States, 2011.
- DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL), 2019.
- DUARTE, E. A. A. et al. **Putting the mess in order: Aspergillus welwitschiae (and not A. niger) is the etiological agent of sisal bole rot disease in Brazil**. Frontiers in Microbiology, v. 9, n. JUN, 2018.

- EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2018**. p. 77, 2019.
- FAO. **FAO Statistics Division**.
- GARCIA-MOYA, E.; ROMERO-MANZANARES, A.; NOBEL, P. S. **Highlights for Agave Productivity**. GCB Bioenergy, v. 3, n. 1, p. 4–14, 2011.
- GENTRY, H. S. **Agaves of Continental North America**. Tucson: University of Arizona Press, 1982.
- HOLTUM, J. A. M. et al. **Agave as a biofuel feedstock in Australia**. GCB Bioenergy, v. 3, n. 1, p. 58–67, 2011.
- KEELEY, J. E.; RUNDEL, P. W. **Evolution of CAM and C4 Carbon-Concentrating Mechanisms**. International Journal of Plant Sciences, v. 164, n. S3, p. S55–S77, 2003.
- LACERDA, T. M. et al. **Saccharification of Brazilian sisal pulp: Evaluating the impact of mercerization on non-hydrolyzed pulp and hydrolysis products**. Cellulose, v. 19, n. 2, p. 351–362, 2012.
- LEÃO, D. A. S. et al. **Production of Energy—The Second Generation Ethanol and Prospects**. In: [s.l.: s.n.], p. 165–179, 2016.
- MANCILLA-MARGALLI, N. A.; LÓPEZ, M. G. **Water-Soluble Carbohydrates and Fructan Structure Patterns from Agave and Dasyliirion Species**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 54, n. 20, p. 7832–7839, out. 2006.
- MEDINA, J. C. **O Sisal**. [s.l.] Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1954.
- MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. [s.l.] Instituto Agronômico de Campinas, 1959.
- MICHEL-CUELLO, C. et al. **Quantitative Characterization of Nonstructural Carbohydrates of Mezcal Agave (Agave salmiana Otto ex Salm-Dick)**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 56, n. 14, p. 5753–5757, jul. 2008.
- MORÁN, J. I. et al. **Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers**. Cellulose, v. 15, n. 1, p. 149–159, 2008.
- MORGAN, T. J. et al. **Fast Pyrolysis of Tropical Biomass Species and Influence of Water Pretreatment on Product Distributions**. PLOS ONE, v. 11, n. 3, p. e0151368, mar. 2016.
- NAVES, I. **Sisal Brasil – Observações 2018**.
- NOBEL, P. S. **Environmental biology of agaves and cacti**. [s.l.] Cambridge University Press, 1988.
- NOBEL, P. S. **Remarkable Agaves and Cacti**. [s.l.] Oxford University Press, 1994.
- NOBEL, P. S.; GARCIA-MOYA, E.; QUERO, E. **High annual productivity of certain agaves and cacti under cultivation**. Plant, Cell and Environment, v. 15, n. 3, p. 329–335, abr. 1992.
- NÚÑEZ, H. M.; RODRÍGUEZ, L. F.; KHANNA, M. **Agave for tequila and biofuels: an economic assessment and potential opportunities**. GCB Bioenergy, v. 3, n. 1, p. 43–57, fev. 2011.
- OWEN, N. A.; FAHY, K. F.; GRIFFITHS, H. **Crassulacean acid metabolism (CAM) offers sustainable bioenergy production and resilience to climate change**. GCB Bioenergy, v. 8, n. 4, p.

737–749, 2016.

OWEN, N. A.; GRIFFITHS, H. **Marginal land bioethanol yield potential of four crassulacean acid metabolism candidates (Agave fourcroydes, Agave salmiana, Agave tequilana and Opuntia ficus-indica) in Australia.** GCB Bioenergy, v. 6, n. 6, p. 687–703, 2014.

QUINTANILHA-PEIXOTO et al. **Calm Before the Storm: A Glimpse into the Secondary Metabolism of Aspergillus welwitschiae, the Etiologic Agent of the Sisal Bole Rot.** Toxins, v. 11, n. 11, p. 631, out. 2019.

RADDING, C. **The children of mayahuel: Agaves, human cultures, and desert landscapes in northern Mexico.** Environmental History, v. 17, n. 1, p. 84–115, 2012.

RAGAUSKAS, A. J. et al. **Lignin valorization: Improving lignin processing in the biorefinery.** Science, v. 344, n. 6185, 2014.

RAYA, F. T. **Agave gene expression for bioenergy.** [s.l.] University of Campinas, 2018.

RODRÍGUEZ-GARAY, B. et al. **Morphological and molecular diversity of Agave tequilana Weber var. Azul and Agave angustifolia Haw. var. Lineño.** Industrial Crops and Products, v. 29, n. 1, p. 220–228, jan. 2009.

RODRÍGUEZ-GARAY, B.; RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, J. M. **Micropropagation of Agave Species.** In: [s.l.] Humana Press, 2018. p. 151–159.

SALVADOR CESA, F.; TURRA, A.; BARUQUE-RAMOS, J. **Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings.** Science of The Total Environment, v. 598, p. 1116–1129, nov. 2017.

SANTOS, J. D. G. et al. **Chemicals from agave sisalana biomass: Isolation and identification.** International Journal of Molecular Sciences, v. 16, n. 4, p. 8761–8771, 2015.

SARWAR, M. B. et al. **De novo assembly of Agave sisalana transcriptome in response to drought stress provides insight into the tolerance mechanisms.** Scientific Reports, v. 9, n. 1, p. 1–14, 2019.

SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. DE M. **O agronegócio do sisal no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 1999.

SIMCHA, L. Y. **How monocarpic is Agave?** Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, v. 230, p. 12–13, 2017.

SIMMONS, B. A.; LOQUÉ, D.; RALPH, J. **Advances in modifying lignin for enhanced biofuel production.** Current Opinion in Plant Biology, v. 13, n. 3, p. 312–319, jun. 2010.

SMITH, A. M. **Prospects for increasing starch and sucrose yields for bioethanol production.** The Plant Journal, v. 54, n. 4, p. 546–558, maio 2008.

SOMERVILLE, C. et al. **Feedstocks for lignocellulosic biofuels.** Science, v. 329, n. 5993, p. 790–792, 2010.

STEWART, J. R. **Agave as a model CAM crop system for a warming and drying world.** Frontiers in Plant Science, v. 6, n. September, 2015.

SUINAGA, F. A. et al. **Avaliação agrônômica de Oito Genótipos de Sisal (Agave spp.).** Comunicado Técnico, p. 3–5, 2007.

UNESCO. **Botanical Garden (Orto Botanico), Padua**, 2020.

VALENZUELA-ZAPATA, A. G.; NABHAN, G. P. **¡Tequila!: A Natural and Cultural History**. Tucson: University of Arizona Press, 2004.

WINTER, K.; SMITH, J. **Crassulacean acid metabolism: biochemistry, ecophysiology and evolution**. [s.l: s.n.].

YANG, X. et al. **A roadmap for research on crassulacean acid metabolism (CAM) to enhance sustainable food and bioenergy production in a hotter, drier world**. *New Phytologist*, v. 207, n. 3, p. 491–504, 2015.

YIN, H. et al. **Diel rewiring and positive selection of ancient plant proteins enabled evolution of CAM photosynthesis in Agave**. *BMC Genomics*, v. 19, n. 1, p. 1–16, 2018.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS - Graduado em Tecnologia em Agroecologia, Mestre e Doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Atualmente é pesquisador pós-doutorado (PNPD – CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UFGD, desenvolvendo atividades de pesquisa e docência na graduação, mestrado e doutorado. Tem experiência em Ciências Agrárias, atuando nos seguintes temas: Agricultura Sustentável, Uso de Resíduos Sólidos Orgânicos, Indicadores de Sustentabilidade, Substratos e Propagação de Plantas, Plantas nativas e medicinais, Estresse por Alumínio em Sementes, Crescimento, Ecofisiologia, Nutrição e Metabolismo de Plantas, Planejamento e Análises de Experimentais Agrícolas. e-mail: cleber_frs@yahoo.com.br. ORCID: 0000-0001-6741-2622. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6639439535380598>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácido Láurico 1, 7, 8, 9, 10, 11

Agave 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57

Arecacea 1, 2

B

Bem-estar social 41

Bioenergia 41, 53

Biomassa 41, 50, 51, 52

Biorrenováveis 41, 50, 51, 53

C

Caatinga 2, 4, 7, 9, 12, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 53

Certificação 23, 24, 25, 32

Construção civil 22, 23, 24, 25, 32, 33, 35, 36

Construção sustentável 23, 24, 25

F

Fibras naturais 41, 45

Fundo Rotativo Solidário 14, 18, 19

G

Gestão Ambiental 23

I

Importância nutricional 3

M

Meio Ambiente 26, 28, 32, 33, 35, 36, 38

N

Nordeste 3, 7, 8, 9, 12, 16, 35, 37, 38, 40, 47, 53

P

Palma 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Preservação 24, 27, 28, 31, 32, 35, 36, 37, 38

S

Segurança forrageira 14, 16, 18, 20

Semiárido 1, 7, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 35, 36, 43, 45, 50, 51, 52

Sisal 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Sustentabilidade 7, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 52, 58

U

Unidades de conservação 35, 36, 37, 38

 **Atena**
Editora

2 0 2 0