



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**DANIELE ANCELMO SOUZA**

**RECONHECENDO OS MODELOS ARQUITETURAIS BOTÂNICOS DA  
CAATINGA NO NORDESTE BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE- PB  
2024**

DANIELE ANCELMO SOUZA

**RECONHECENDO OS MODELOS ARQUITETURAIS BOTÂNICOS DA  
CAATINGA NO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Artigo) apresentado à  
Coordenação do Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

**Área de concentração:** Botânica

**Orientador:** Prof. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão

**CAMPINA GRANDE- PB  
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729r Souza, Daniele Ancelmo.  
Reconhecendo modelos arquiteturais botânicos da Caatinga no nordeste brasileiro [manuscrito] / Daniele Ancelmo Souza. - 2024.  
26 p. : il. colorido.  
  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.  
"Orientação : Profa. Dra. Dilma Maria de Brito Melo Trovão, Departamento de Biologia - CCBS. "  
1. Arquitetura de dossel. 2. Semi-árido. 3. Architectural models. I. Título

21. ed. CDD 570

DANIELE ANCELMO SOUZA

**RECONHECENDO OS MODELOS ARQUITETURAIS BOTÂNICOS DA  
CAATINGA NO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Artigo) apresentado à  
Coordenação do Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

**Área de concentração:** Botânica

Aprovada em: 09/05/2024.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Dilma Maria de Brito Melo Trovão (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dra. Fernanda Kelly Gomes da Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A todos que de alguma forma  
me ajudaram a chegar até  
aqui,  
**DEDICO.**

“As palavras sempre ficam.  
Lembre-se sempre do poder  
das palavras. Quem escreve  
constrói um castelo, e quem  
lê passa a habitá-lo.”

(A Menina que Roubava Livros)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Localização das áreas de estudo: Vereda Grande e Fazenda Trovão de Mello, município de Barra de Santana, Paraíba, Brasil.....	17
<b>Figura 2</b> - Ilustração dos modelos arquitetônicos descritos por Hallé e Oldeman (1970).....	19
<b>Figura 3</b> - A, <i>Jatropha mollissima</i> , B, <i>Aspidosperma pyriformium</i> , C, O modelo botânico correspondente de Leeuwenberg.....	20
<b>Figura 4</b> - A, <i>C. blanchetianus</i> , B, <i>S. joazeiro</i> , C, O modelo botânico correspondente de Rauh.....	21

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Lista de modelos arquitetônicos descritos na literatura.....	12
<b>Tabela 2</b> - Categorias de eixo encontradas em espécies vegetais da Caatinga: A1 (Modo de crescimento), A2 (Tipos de ramificação), A3 (Geometria dos ramos) e A4 (Estruturas reprodutivas e posição).....	18

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

A1 = Modo de crescimento

A2 = Tipos de ramificação

A3 = Geometria dos ramos

A4 = Estruturas reprodutivas e posição

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>09</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Definição de arquitetura estrutural botânica .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Modelos arquitetônicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Aplicações da arquitetura estrutural botânica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Orientação de eixos como estratégia .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo e espécies estudadas .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Observação das categorias de eixo e identificação das variáveis .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise dos dados .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>23</b>
	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>25</b>

## RECONHECENDO OS MODELOS ARQUITETURAIS BOTÂNICOS DA CAATINGA NO NORDESTE BRASILEIRO

Daniele Ancelmo Souza<sup>1</sup>

### RESUMO

O modelo arquitetônico de uma árvore é o programa genético de crescimento que resulta de um equilíbrio entre os processos endógenos de crescimento e as restrições exógenas exercidas pelo ambiente. Por meio do estudo de suas unidades básicas, denominadas unidades arquitetônicas, categorias de eixo, e chaves de identificação, cada espécie pode ser classificada como pertencente a um dos 23 modelos arquitetônicos. As categorias de eixo são descritas por uma série de características morfológicas que reúnem: 1) Modo de crescimento, 2) Tipos de ramificação, 3) Geometria dos ramos e 4) Presença ou ausência de estruturas reprodutivas e suas posições. Este trabalho buscou identificar modelos arquitetônicos presentes em espécies arbóreas da Caatinga, e observar possíveis padrões dentre estas espécies, com base no estudo de suas categorias de eixo. Todas as espécies apresentaram crescimento ortotrópico e rítmico, que podem estar associados às características peculiares da região, outras categorias de eixo como tipos de ramificação e posição das estruturas reprodutivas variaram. Os modelos arquitetônicos de Leeuwenberg e o de Raul foram os que se destacaram entre as seis espécies estudadas.

**Palavras-chave:** arquitetura de dossel; semi-árido; modelos arquitetônicos.

### ABSTRACT

The architectural model is the genetic program of growth and development of a tree from its juvenile state to its adult state. It results from a balance between endogenous growth processes and exogenous restrictions exerted by the environment. Through the study of their basic units, called architectural units, axis categories, and identification keys, each species can be classified as belonging to one of the 23 architectural models. The axis categories are described by a series of morphological characteristics that bring together: 1) Mode of growth, 2) Types of branching, 3) Geometry of the branches and 4) Presence or absence of reproductive structures and their positions. This work sought to identify architectural models present in tree species from the Caatinga, and observe possible patterns among these species, based on the study of their axis categories. All species showed orthotropic and rhythmic growth, which may be associated with the peculiar characteristics of the region, other axis categories such as types of branching and position of reproductive structures varied. Leeuwenberg's and Raul's architectural models stood out among the six species studied.

**Keywords:** canopy architecture; semi-arid; architectural models.

## 1 INTRODUÇÃO

O modelo arquitetural representa uma estratégia de crescimento inerente que define a maneira pela qual a planta elabora sua forma e arquitetura resultante em dado momento; é a expressão de um equilíbrio entre os processos endógenos de crescimento e as restrições exógenas exercidas pelo ambiente (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007; TAUGOURDEAU

---

<sup>1</sup> Graduanda do curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB);  
danieleancelmo5@gmail.com

et al., 2012). Por meio de vários critérios morfológicos e considerando a planta como um todo, desde a germinação até a morte, a análise arquitetônica é essencialmente uma abordagem detalhada, multinível, abrangente e dinâmica para o desenvolvimento da planta e reúne conceitos e métodos de análise que fornecem uma ferramenta poderosa para estudar a forma e a ontogenia das plantas (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007).

As plantas possuem variabilidade de origens genéticas e plasticidades fenotípicas geradas por meio de variações em resposta a distintas condições ambientais (AGUIAR 2014). Por mais que existam variações, cada árvore tem seu programa específico de desenvolvimento, controlado por genes, desde sua germinação (HALLÉ 2010). A forma da árvore adulta pode ser modificada por fatores ecológicos, mas as regras de desenvolvimento são sempre duradouras; analisar essas regras é o objetivo da arquitetura. O programa genético de crescimento e desenvolvimento de uma árvore jovem é referido como modelo arquitetônico (HALLÉ 2010; SOUZA et al., 2009; PRADO et al., 2020).

Até a atualidade 23 modelos arquiteturais foram descritos, porém o número de variantes pode ser tão grande quanto o número de espécies (VESTER, 2002). Existem casos de plantas que podem seguir 2-3 modelos arquiteturais até atingirem a idade adulta (AGUIAR, 2014), e a existência de modelos intermediários é devido à capacidade de muitas árvores de desenvolver estruturas repetitivas, cada uma repetindo o modelo de árvore básico dentro da mesma árvore, processo denominado de reiteração (VESTER, 2002). O mecanismo de reiteração foi descrito pelo botânico holandês Roelof Oldeman 1974, e se refere, de maneira geral, ao desenvolvimento de um modelo dentro de outro modelo (HALLÉ, 2010). A reiteração é um fenômeno em que a arquitetura de uma árvore se ajusta não só a danos sofridos no ambiente, como a perda de galhos ou estresses, como também a pressões ambientais, e assim, passa a obter características arquitetônicas diferentes do modelo a qual ela estava caracterizada. (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978; TOURN; BARTHÉLEMY, 1999)

A identificação dos modelos arquitetônicos de espécies é possível através da observação e análise de suas unidades arquitetônicas. Trata-se do conjunto das diferentes categorias de eixos que uma espécie apresenta até o surgimento de suas estruturas reprodutivas (BARTHÉLEMY et al., 1998; TOURN et al., 1999; BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007). As categorias de eixo são descritas por uma série de características morfológicas que reúnem: 1) Modo de crescimento, que será determinado quando a atividade meristemática é interrompida assim que a estrutura geneticamente determinada é construída, ou será indeterminado, quando o meristema apical permanece com seu funcionamento de forma indefinida. Também pode-se observar a presença de um crescimento contínuo, quando em geral não há interrupções durante toda a fase de desenvolvimento (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007), ou crescimento rítmico, quando o crescimento vegetativo é suspenso ou interrompido durante a estação de desenvolvimento (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007. 2) Tipos de ramificação, variando entre crescimento monopodial, quando os ramos formam uma série de crescimento indefinido, ou simpodial, quando os ramos apresentam uma série de crescimentos definidos. 3) Geometria dos ramos, ortotrópicos quando crescem de maneira vertical, ou plagiotrópicos, quando crescem de maneira horizontal e por fim, 4) Presença ou ausência de estruturas reprodutivas e suas posições, que quando presentes, podem ser terminais ou axilares (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007; PRADO COSTA, 2014).

Os modelos arquitetônicos foram definidos por Hallé e Oldeman (1970) (TOURN et al., 1999), e reconhecem-se 23 modelos arquiteturais (Fig 1) nas plantas com sementes, sejam elas herbáceas ou lenhosas. A maior variabilidade de modelos estruturais é encontrada nos trópicos. Os modelos arquiteturais são determinados geneticamente, têm uma utilidade descritiva na percepção das formas das plantas, o seu significado ecológico e evolucionário não era claro (TOMLINSON, 1983). Atualmente sabe-se que o conhecimento e a compreensão do desenvolvimento arquitetônico das árvores é de extrema importância (REFFYE et al., 1995), e

podem contribuir não só para a descrição do desenvolvimento e a organização das copas das árvores, mas também entender a relação evolutiva entre táxons (VESTER, 2002; PRADO, 2018). Cada modelo é definido por uma combinação de características morfológicas e recebe o nome de um botânico que contribuiu para o seu conhecimento ou fez pesquisas morfológicas sobre plantas exibindo o modelo (HALLÉ et al., 1978).

Trabalhos com a arquitetura vegetal podem ser vistos como um desenvolvimento recente na morfologia vegetal e que possui estreita conexão com outros campos (TOMLINSON, 1987). Estudos envolvendo categorias de eixo e modelos arquitetônicos, como um método para a análise e compreensão do desenvolvimento biológico das árvores foram consolidados como uma disciplina a partir da década de 70 (VESTER, 2002) e vem se tornando comuns por todo o mundo, contudo, relacionados a uma floresta seca ainda são inexistentes e este trabalho passa a ser pioneiro. Deste modo, o presente estudo busca reconhecer modelos arquitetônicos dentre as espécies locais e relacionar suas características a região, abrindo espaço para que mais estudos envolvendo a arquitetura de dossel possam ser realizados na Caatinga.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Definição de arquitetura estrutural botânica**

O conceito de arquitetura foi proposto por Hellé et al. (1978), a partir de trabalhos descritivos de copas de árvores tropicais, onde sugere que o desenvolvimento ontogenético de uma planta se baseia em modelos genéticos (GODIN, 2000). No entanto, é complexa a existência de uma definição única do que é a arquitetura de copas e suas aplicações. De acordo com Godin, 2000, um conceito que resume a arquitetura de uma árvore e suas áreas de aplicação seria o estudo baseado na decomposição de seus componentes, que especificam seu tipo biológico, forma, localização no espaço, e como esses componentes se relacionam entre si. Ou seja, representa a organização tridimensional do corpo da planta, que é específica para cada espécie, estando sob controle genético, mas também que pode ser influenciada por fatores ambientais (REINHARDT; KUHLEMEIER, 2002). E dentre estes fatores estão aqueles que influenciam os processos fisiológicos no corpo de um vegetal, sendo eles a disponibilidade e assimilação de água, luz, carbono, nutrientes e competição (REFFYE et al., 1995; GODIN, 2000; SOUZA, 2010). Sendo assim, a forma de uma planta é orientada de modo que beneficie a aquisição de recursos, e irá responder às variações do ambiente onde se encontram e as condições às quais estarão sujeitas (WALLER, 1986; KUHLEMEIER, 2002; BARTHÉLÉMY et al., 1989).

### **2.2 Modelos arquitetônicos**

Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) citam a possibilidade de 24 modelos (Figura 1) teóricos possíveis com categorias de eixos distintas, dos quais apenas 23 foram reconhecidos (PRADO, 2018; HALLÉ, 1978).

---

**Modelo de Holttum**

---

Eixo aéreo único e sem ramificações, fase vegetativa seguida de uma fase reprodutiva, onde o meristema terminal diferencia-se em uma inflorescência. Crescimento determinado.

---

**Modelo de Corner**

---

Crescimento vegetativo de um único eixo não ramificado, que apresenta o crescimento indeterminado e contínuo, com inflorescências laterais.

---

**Modelo de Chamberlain**

---

Superposição determinada de eixos formando um tronco simpodial ascendente linear, os módulos são todos equivalentes e geralmente ortotrópicos, a floração é terminal.

---

**Modelo de Schoute**

---

Meristemas que formam eixos ortotrópicos e plagiotrópicos bifurcados regularmente, com inflorescências sempre laterais.

---

**Modelo de Leeuwenberg**

---

Eixos ortotrópicos com crescimento determinado pela produção de inflorescências terminais. A ramificação produz eixos ortotrópicos, simpodiais e de crescimento determinado.

---

**Modelo de Tomlinson**

---

Eixos ortotrópicos de ramificação basal, apresentam inflorescências que podem ser terminais ou laterais e o crescimento de cada módulo é contínuo ou, menos comumente, rítmico.

---

**Modelo de McClure**

---

Possui dois tipos de eixos, ortotrópicos que se originam por ramificação basal e apicalmente apresentam ramos plagiotrópicos. Ambos possuem crescimento determinado devido a um alto grau de pré-formação.

---

**Modelo de Scarrone**

---

Tronco ortotrópico de crescimento rítmico, ramos simpodiais, e inflorescências terminais.

---

**Modelo de Stone**

---

Tronco e ramos ortotrópicos e simpodiais, com crescimento contínuo e inflorescências terminais.

---

---

**Modelo de Attim**

---

Eixos ortotrópicos, diferenciados em um tronco monopodial com crescimento contínuo e inflorescências sempre laterais.

---

**Modelo de Rauh**

---

Tronco monopodial com crescimento rítmico e ortotrópico, as inflorescências sempre laterais.

---

**Modelo de Koriba**

---

Eixos ortotrópicos com diferenciação secundária que se ramificam tridimensionalmente para produzir uma série de módulos. Um se torna dominante, posteriormente repetindo o padrão de ramificação e os outros funcionam como ramos. As inflorescências são terminais.

---

**Modelo de Prevost**

---

Dois tipos distintos de módulos formando respectivamente tronco e ramo, ambos essencialmente ortotrópicos, mas plagiotrópicos por substituição. O crescimento é determinado, mas a inflorescência é muitas vezes vestigial ou abortada.

---

**Modelo de Fagerlind**

---

Tronco monopodial e ortotrópico, com crescimento rítmico de ramos plagiotrópicos e simpodiais, com inflorescências laterais.

---

**Modelo de Petit**

---

Crescimento contínuo de um tronco monopodial e ortotrópico, que produz continuamente ramos plagiotrópicos e simpodiais, com crescimento determinado e inflorescências terminais.

---

**Modelo de Aubreville**

---

Tronco monopodial ortotrópico com crescimento rítmico e filotaxia em espiral ou oposta, com floração lateral. Os galhos crescem ritmicamente, mas são modulares e são plagiotrópicos. As inflorescências são laterais e os módulos crescem indefinidamente.

---

**Modelo de Nozeran**

---

Tronco ortotrópico e simpodial, com ramos plagiotrópicos, de crescimento determinado, rítmico ou não. A floração pode estar no tronco ou no galho, mas não influencia o modelo.

---

**Modelo de Roux**

---

---

Tronco ortotrópico monopodial com crescimento contínuo, os ramos são plagiotrópicos. A localização da inflorescência não é relevante para este modelo.

---

#### **Modelo de Cook**

O tronco é contínuo e monopodial. Os ramos são filiformes, ou seja, parecem folhas compostas, apresentam um crescimento determinado sem formar ramos simpodiais. A posição das inflorescências não influencia a arquitetura.

---

#### **Modelo de Massart**

Tronco monopodial ortotrópico, com crescimento rítmico e filotaxia espiral ou oposta. Os ramos são plagiotrópicos e a posição das flores não é significativa na definição do modelo.

---

#### **Modelo de Mangenot**

Os eixos são mistos, o meristema produz inicialmente uma parte vertical basal, que será o tronco, seguido por uma parte horizontal distal, que serão os ramos.

---

#### **Modelo de Champagnat**

Superposição dos eixos mistos ortotrópicos. As partes periféricas formam os ramos, e as partes basais formam um tronco simpodial.

---

#### **Modelo de Troll**

Os brotos crescem plagiotrópicos e depois se tornam ortotrópicos, as inflorescências podem ser laterais ou terminais.

---

Fonte: Hallé, 1978; Prado, 2018.

### 2.3 Aplicações da arquitetura estrutural botânica

A definição dos conceitos de modelo arquitetural, unidade arquitetural e reiteração tem fornecido uma metodologia eficiente para o estudo da forma e estrutura das plantas, herbáceas e arbóreas, de regiões tropicais e temperadas (BARTHÉLÉMY et al., 1989). A combinação das categorias de eixo ao longo do tempo permite determinar as formas assumidas pela planta durante o seu desenvolvimento e compreender a sua estrutura, pelo menos em suas linhas gerais (EDELIN, 1991). E devido à sua abordagem dinâmica e global, a análise arquitetônica deu um novo impulso à morfologia vegetal e tornou-se uma nova ferramenta para o estudo de todas as plantas (TOURN, BARTHÉLÉMY, GROSFELD, 1999).

As representações da arquitetura vegetal são usadas para modelar a estrutura e a função das plantas, análise arquitetônica, interação com microambiente, mecânica da madeira, ecologia e modelos visuais ou de desenvolvimento (GODIN, 2000). A partir de técnicas de modelagem, é possível descrever o comportamento de vegetais, desde a germinação, até a fase final de produção (CASTRO; ALVES, 2009).

O estudo da arquitetura também possibilita o desenvolvimento de modelos matemáticos que permitem simular o desenvolvimento de uma planta (BARTHÉLÉMY et al., 1989) através do uso de computadores (REFFYE et al., 1995; PUNTIERI et al., 1995), permitindo assim uma melhor avaliação, previsão e otimização do crescimento de indivíduos, populações ou plantações, sob diferentes condições ou condições ambientais (TOURN, BARTHÉLÉMY, GROSFELD, 1999). Modelos de simulação em computador fornecem resultados mais precisos e quando analisados estatisticamente, podem contribuir para a tomada de decisão e auxiliar na solução dos mais diversos problemas (CASTRO; ALVES, 2009).

Na agronomia, o uso de modelos de simulação arquitetônica, onde se constrói plantas virtuais simulando, individualmente, o desenvolvimento estrutural dos órgãos e estruturas de plantas no espaço tridimensional (CASTRO; ALVES, 2009), permite estimar a densidade ideal para obter determinados tamanhos de plantas e graus de variação entre indivíduos, estimar a magnitude das colheitas e a qualidade dos frutos (SMITH et al, 1992; COSTES et al., 1993). Também é possível obter respostas da população a fatores ambientais como herbivoria, geadas, inundações, incêndios etc. ou simular o desenvolvimento de plantas sob diferentes condições de crescimento (REFFYE et al, 1989, 1993; MASOTTI, 1995). Ainda é possível estimar a produção e qualidade da madeira, a reação dos indivíduos à poda ou desbaste e estimar o futuro dos sistemas silvipastoris ou agroflorestais (HOULLIER et al, 199; REFFYE et al, 1989).

A modelagem do crescimento de plantas ajuda a responder questões de agronomia, silvicultura e ecologia (GRIFFON; COLIGNY, 2014). A arquitetura de plantas também pode ser usada para modelar e simular árvores integradas a ecossistemas florestais, identificar respostas de plantas a ataques de insetos, projetar novas variedades, reconstruir espécies extintas, classificar padrões de ramificação e inflorescências, entre outras aplicações (CASTRO; ALVES, 2009).

### 2.4 Orientação de eixos como estratégia

Na Caatinga as espécies vegetais apresentam características que refletem em adaptações às condições peculiares do ambiente o déficit hídrico relacionado à irregularidade das chuvas, às altas temperaturas e à alta intensidade luminosa, que provocam uma alta evaporação e dessecação do solo. (TROVÃO et al., 2007).

Ao tratarmos do excesso de radiação e perda de água por transpiração, as espécies de ambientes áridos como a Caatinga desenvolvem estratégias específicas de sobrevivência. A inclinação dos ramos e a quantidade de radiação recebida ao longo deles influenciam na arquitetura da copa, bem como em outros processos como na alocação de carbono na planta, eficiência da exposição foliar (TOMLINSON, 1987; SOUZA et al., 2010). Por exemplo, por meio da estruturação arquitetural é possível buscar um equilíbrio entre captar a luz necessária

para a realização da fotossíntese e evitar o superaquecimento das folhas e uma perda excessiva de água para o ambiente (SOUZA, 2009).

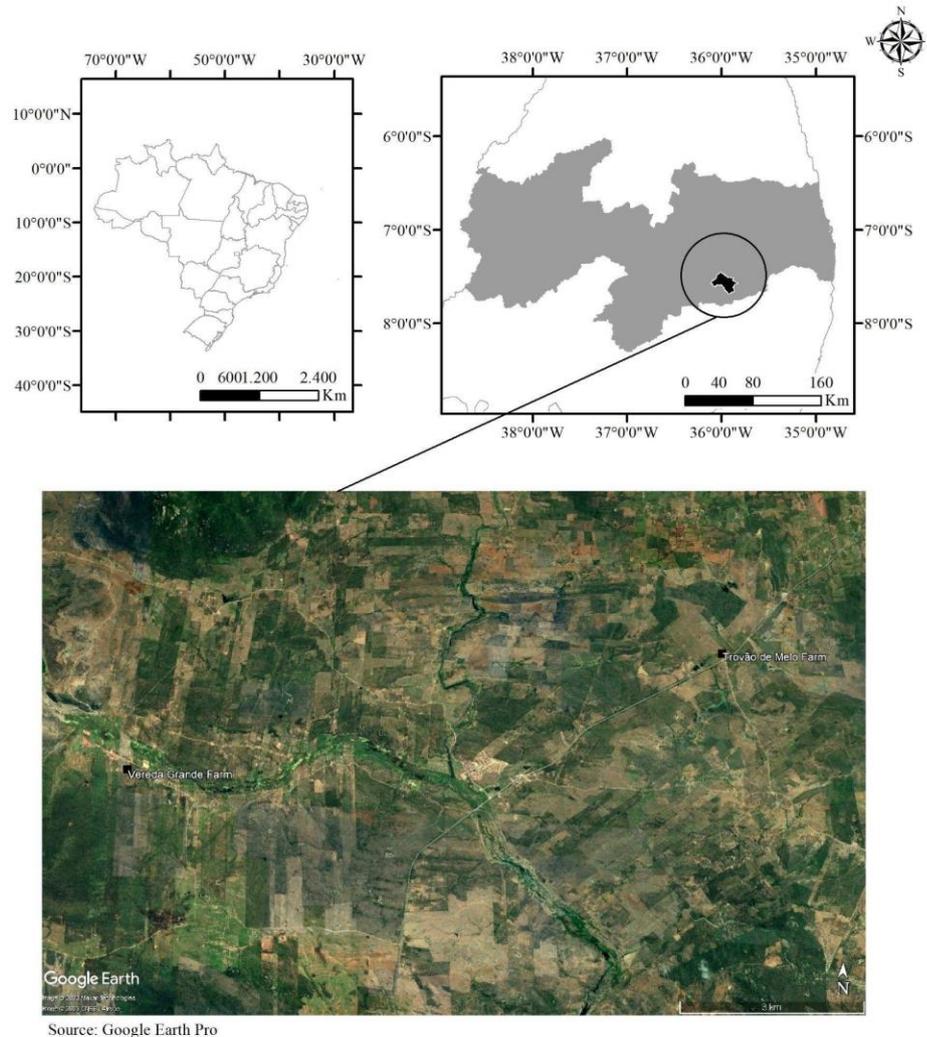
A organização dos eixos de um indivíduo pode variar entre ortotropia estrita e plagiotropia estrita, ou mesmo ambas as orientações em uma mesma árvore (TOMLINSON, 1987), de acordo com seu estágio de desenvolvimento, ou com restrições impostas pelo ambiente, uma vez que os modelos arquitetônicos podem ser fenotipicamente plásticos, e uma árvore pode ou não crescer de acordo com um modelo ao qual estava caracterizada (TOMLINSON, 1987). De todo modo, o desenvolvimento dos ramos pode evitar uma maior exposição das folhas à luz solar, ou mesmo facilitar e contribuir para que haja uma maior área de incidência. Ramos plagiotrópicos, ou seja, que possuem orientação horizontal, crescem menos, desenvolvem mais ramificações inseridas em um mesmo plano e com folhas menores (AGUIAR, 2014). Esta orientação pode resultar em uma exibição de folhas altamente regularizada que maximiza a fotossíntese e minimiza o sombreamento entre as folhas nascidas. Diferentemente dos ramos ortotrópicos, que possuem orientação vertical e são especializados na ocupação espacial (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007; AGUIAR, 2014). São ramos que investem em crescimento e em ramificações tridimensionais, com folhas dispostas de forma espiralada (AGUIAR, 2014). Embora a plagiotropia seja uma estratégia comum em muitas espécies tropicais, nem todos os modelos irão apresentar esta forma de orientação (TOMLINSON, 1987).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo e espécies estudadas

O estudo foi realizado em indivíduos localizados nas fazendas Veredas (7°31'31.5"S 36°03'05.7"W) e Trovão de Mello (7°30'10.7"S 35°57'40.8"W.), ambas localizadas no município de Barra de Santana - PB (Figura 1). As espécies foram escolhidas de acordo com sua abundância na região (SILVA et al. 2014), sendo elas: *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. Var *mollissima*, *Croton blanchetiannus* Baill., *Mimosa paraibana* Barneby, *Aspidosperma pyriformis* Mart. & Zucc., *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W.Jobson e *Sarcomphalus joazeiro* (Mart.) Hauenschild. Ao todo, 30 indivíduos (cinco por espécie) foram selecionados, atendendo a critérios básicos de inclusão conforme a metodologia de Rodal et al. (2013), onde, para ser considerado adulto, o indivíduo na vegetação lenhosa da Caatinga, deve apresentar diâmetro ao nível do solo  $\geq 3$  cm e altura de  $\geq 1$  m.

**Figura 1** - Localização das áreas de estudo: Vereda Grande e Fazenda Trovão de Mello, município de Barra de Santana, Paraíba, Brasil.



Fonte: Google Earth Pro.

### 3.2 Observação das categorias de eixo e identificação das variáveis

Foi realizada a observação dos indivíduos de cada espécie em campo juntamente com registros fotográficos, além de desenhos esquemáticos simples para auxiliar a comparação com as ilustrações dos 23 modelos existentes na literatura (HALLÉ et al., 1978; COSTA et al., 2018). Após a visualização inicial das características de cada espécie e dos modelos, foram selecionados dentre estes aqueles que mais aparentavam semelhança, para que em seguida fosse possível realizar uma investigação mais específica e suas características fossem comparadas. Esta análise consiste em um conjunto de três chaves básicas utilizadas para que seja possível, por meio da combinação destas características determinar a arquitetura (HALLÉ, 2010). Na primeira chave é avaliada a orientação dos eixos, que podem ser ortotrópicos e plagiotrópicos; na segunda chave observa-se a disposição desses eixos, que pode ocorrer de forma contínua ou rítmica, e por fim, na terceira e última chave se analisa a posição das estruturas reprodutivas que assumem posições terminais ou axilares. A partir da observação desta última chave, outras categorias de eixo puderam ser confirmadas, como por exemplo se o modo de crescimento é determinado ou indeterminado, e se a espécie possui eixos monopodiais ou simpodiais. A partir da união desta série de características, e de suas combinações foi possível a busca de modelos arquitetônicos compatíveis.

### **3.3 Análise dos dados**

A partir da obtenção dos resultados destas observações e da identificação do modelo referente a cada planta, os dados foram reunidos em uma tabela descritiva (Tabela 2) com o objetivo de sintetizar as informações e então possibilitar a investigação (ainda descritiva) quanto a possíveis padrões e semelhanças de suas arquiteturas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A tabela 2 reúne as categorias de eixo encontradas nas espécies em estudo.

**Tabela 2** - Categorias de eixo encontradas em espécies vegetais da Caatinga: A1 (Modo de crescimento), A2 (Tipos de ramificação), A3 (Geometria dos ramos) e A4 (Estruturas reprodutivas e posição).

Espécies	A1	A2	A3	A4
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill. Var mollissima	determinado e rítmico	simpodial	ortotrópico	terminais
<i>Croton blanchetiannus</i> Baill	indeterminado e rítmico	monopodial	ortotrópico	laterais e terminais
<i>Mimosa paraibana</i> Barneby	indeterminado e rítmico	monopodial	ortotrópico	laterais
<i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.) Hauenschild	indeterminado e rítmico	monopodial	ortotrópico	laterais e terminais
<i>Aspidosperma pyriformis</i> Mart. & Zucc.	determinado e rítmico	simpodial	ortotrópico	terminais
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	indeterminado e rítmico	monopodial	ortotrópico	laterais

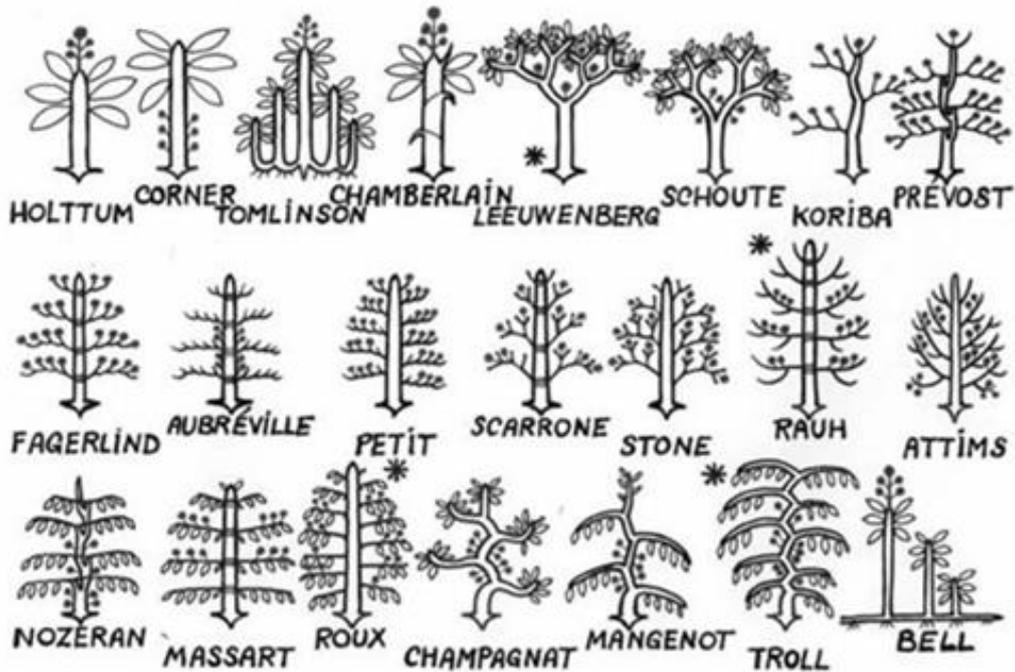
Fonte: elaborada pelo autor, 2024.

Todas as seis espécies analisadas apresentaram o modo de crescimento rítmico, característico de plantas que possuem intermitência de crescimento. Outra característica em comum dentre todas as espécies observadas, foi a presença de eixos de orientação ortotrópica, possuindo crescimento na vertical ou próximo a vertical. Em relação a presença e posicionamento de estruturas reprodutivas, houve variação entre espécies que possuem estruturas de reprodução terminais, laterais, ou mesmo em ambas as posições, como foi o caso de *C. blanchetiannus* e *S. joazeiro*. Plantas onde estas inflorescências são axilares apresentam ramificações simpodiais, pois o meristema apical se diferencia em outras estruturas, neste caso, estruturas reprodutivas (AGUIAR, 2014). Espécies que apresentam estruturas reprodutivas laterais, possuem ramificações monopodiais, o meristema permanece funcional e o alongamento segue por meio da justaposição de unidades de extensão monopodiais (AGUIAR, 2014). Desse modo, foi possível observar um crescimento determinado em plantas que apresentaram ramificação simpodial, e indeterminado em plantas que apresentaram ramificação monopodial.

Foram reconhecidos dois modelos arquitetônicos, sendo eles o Modelo de Leeuwenberg e o Modelo de Rauh. O modelo de Leeuwenberg (Figura 3 A, B e C) é caracterizado por uma série de módulos ortotrópicos, com ramificações simpodiais tridimensionais, cada um dos quais é determinado em seu crescimento em virtude da produção de uma inflorescência terminal (HALLÉ et al., 1978). As espécies que reúnem as características desse modelo foram *J. mollissima* e *A. pyriformis*. Já o Modelo de Rauh (Figura 4 A, B, C) é definido pela arquitetura determinada por um tronco monopodial que cresce ritmicamente e assim desenvolve camadas de ramos morfogeneticamente idênticas ao tronco, as flores são laterais e sem efeito sobre crescimento do sistema de brotação. As espécies da Caatinga estudadas neste trabalho que

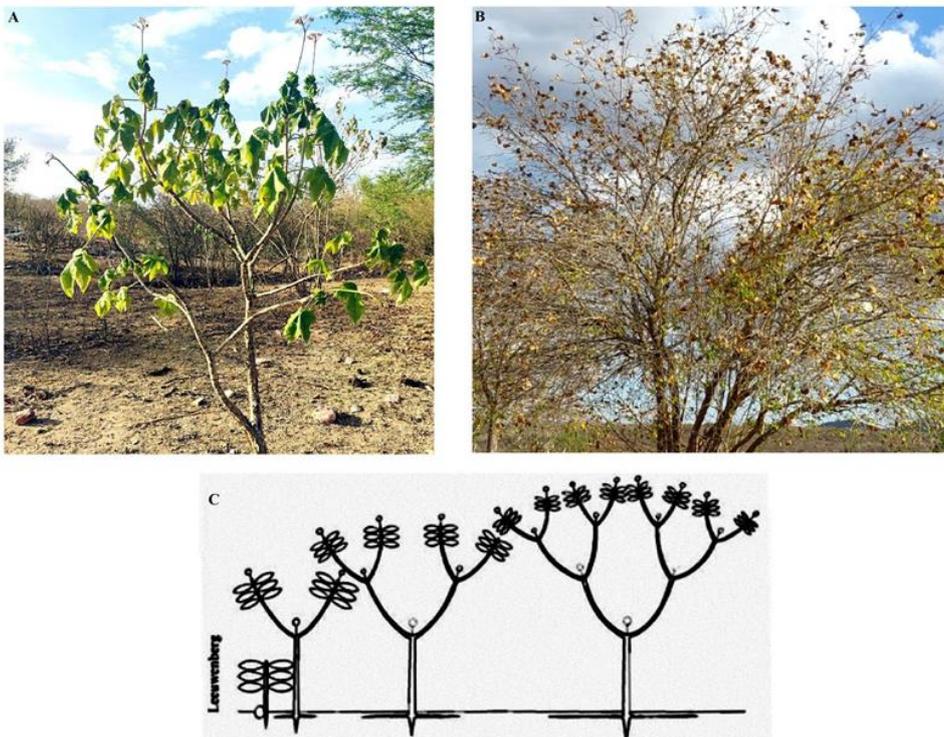
reúnem as características pertencentes a este modelo foram *C. blanchetiannus*, *M. paraibana*, *S. joazeiro*, e *P. moniliformis*.

**Figura 2** - Ilustração dos modelos arquitetônicos descritos por Hallé e Oldeman (1970).



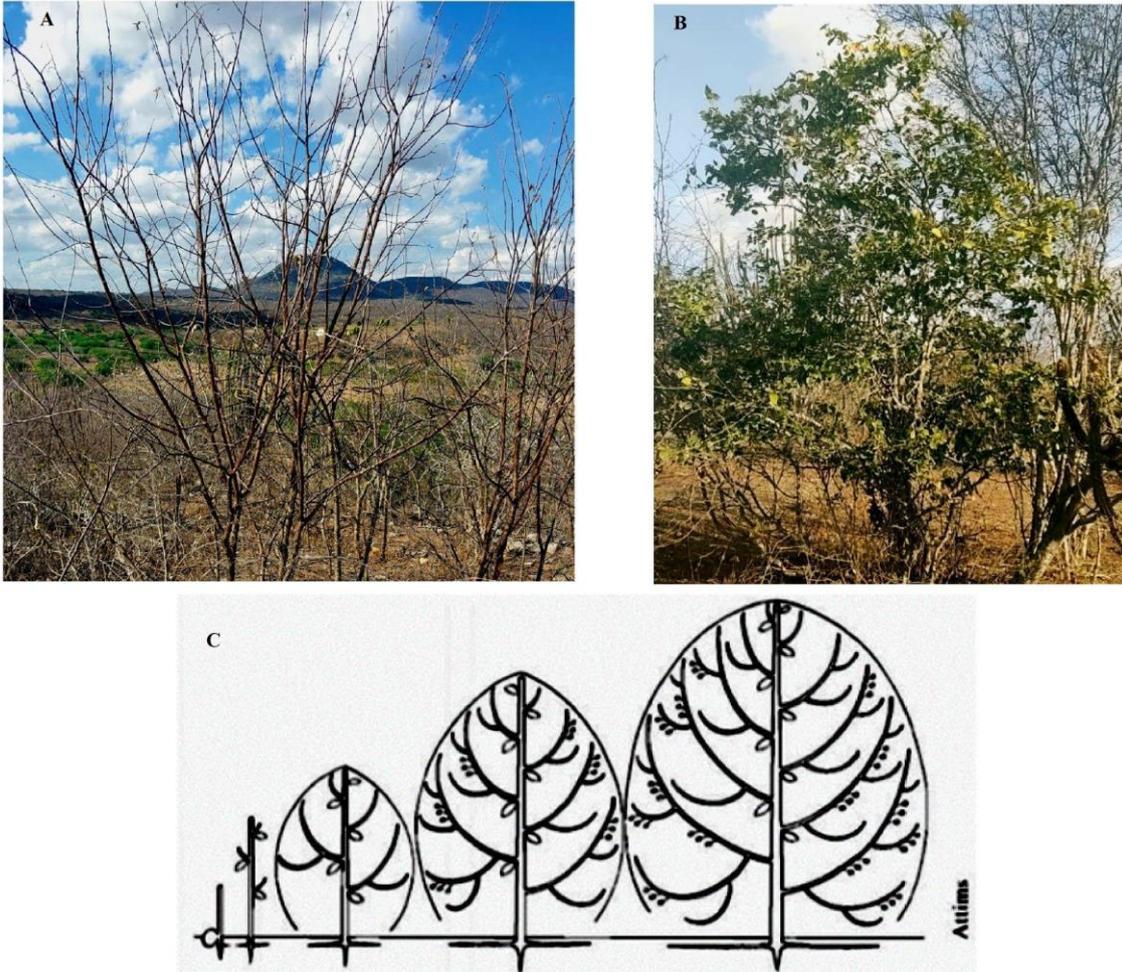
Fonte: Hallé, 2010.

**Figura 3:** A, *J. mollissima*, B, *A. pyrifolium*, C, O modelo botânico correspondente de Leeuwenberg.



Fontes: D. A. Souza; Hallé, 2010.

**Figura 4:** A, *C. blanchetianus*, B, *S. joazeiro*, C, O modelo botânico correspondente de Rauh.



Fontes: D. A. Souza C; Hallé, 2010.

A vegetação da Caatinga apresenta como característica uma intermitência no seu crescimento devido à sazonalidade climática que influencia na disponibilidade hídrica e, portanto, no crescimento das plantas perenes (FERNANDEZ, 2018; PRADO & TROVÃO, 2023). A oscilação da disponibilidade hídrica faz com que essa vegetação dinâmica e sazonal utilize de adaptações que reflitam as condições de clima e de solo nesta vegetação dinâmica e sazonal (SILVA; CRUZ, 2018; SOUZA et al., 2017), portanto o fato das espécies terem apresentado o modo de crescimento rítmico não surpreende, pois em áreas onde existem estações secas as espécies lenhosas interrompem o crescimento, para que garantam sua sobrevivência durante os período menos desfavorecidos, e o retomam com o início das chuvas (AGUIAR, 2014; BATHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007).

A orientação ortotrópica foi outra característica dominante nas espécies analisadas, comum em espécies de regiões tropicais, padrão também encontrado por Costa e Longhi (2018) estudando uma floresta subtropical decidual. Eixos ortotrópicos apresentam, além de uma orientação vertical ou próximo a vertical, uma simetria radial com folhas espiraladas, e ramos que seguem em todas as direções (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007) - aspectos também observados nas espécies estudadas, as quais apresentam ramos dispostos tridimensionalmente. A disposição de eixos e folhas de maneira tridimensional contribui para um maior sombreamento entre as diferentes camadas de ramificação (TOMLINSON, 1987; SOUZA et al., 2009; AGUIAR, 2014) e garante que haja captação de luz suficiente para a realização da fotossíntese, porém, sem prejudicar completamente as folhas. Espécies de regiões semiáridas, onde a incidência solar é grande durante todo o ano, podem desenvolver a ortotropia, justamente como uma estratégia para garantir seu estabelecimento e o estado adequado de suas folhas mesmo com os altos graus de incidência solar. Em seu estudo, Costa e Longhi (2018) identificaram o modelo de Rauh (Figura 3C) como o mais abundante, sendo este um dos modelos mais comuns em regiões temperadas e tropicais, devido ao seu sucesso na natureza, que se deve, segundo Hallé et al. (1978), a sua flexibilidade na construção da estrutura arbórea e rápida capacidade de regeneração (VESTER; SALDARRIAGA, 1993; VESTER & CLEEF, 1998; VESTER, 2002; COSTA; LONGHI, 2018).

O segundo modelo identificado foi o modelo de Leeuwenberg (Fig 2C), caracterizado por apresentar categorias de eixo semelhantes ao modelo de Rauh, diferindo primeiramente na posição das inflorescências (que são terminais, e conseqüentemente influenciando em um crescimento determinado de eixos simpodiais). Sabe-se que as espécies possuem padrões de crescimento e de organização arquitetônica determinados geneticamente, porém questões ambientais também influenciam seu desenvolvimento (BARTHÉLEMY; CARAGLIO, 2007; HELLÉ, 2010; AGUIAR, 2014). O modelo de Leeuwenberg é característico não só de espécies de vegetações secundárias, como também de espécies de áreas com intensos distúrbios, como a Caatinga (BELTRÁN-RODRÍGUEZ, 2015; MORENO et al., 2017). Da mesma forma, estudo em uma Floresta Estacional Tropical Semidecidual em Yucatan, México, onde Vester (2018) identificou 108 espécies distribuídas em 15 modelos, outro estudo em Floresta Pluvial Tropical Perenifólia realizado na Amazônia colombiana resultou na distribuição de 306 espécies em 17 modelos arquitetônicos (VESTER; SALDARRIAGA, 1993; COSTA; LONGHI, 2018), o que pode vir a corroborar com a ideia de que a quantidade de modelos tende a diminuir com o aumento de estresses ambientais advindos da sazonalidade, comum em florestas estacionais, atendendo as expectativas de Hallé, Tomlinson e Oldeman (1978). Por isso se espera encontrar menor riqueza de modelos em florestas estacionais, devido às estações secas, em comparação com florestas pluviais COSTA; LONGHI, 2018).

Sendo assim, ambos os modelos identificados neste estudo apresentam características compatíveis com as da região em estudo, e através da observação das categorias de eixo das espécies, não surpreende que os dois modelos pelos quais as mesmas foram distribuídas tenham sido o modelo de Rauh e o modelo de Leeuwenberg, modelos característicos de climas temperado e tropical, e de regiões que acabam passando por constantes distúrbios.

## 5 CONCLUSÃO

Em um universo de seis espécies foi possível identificar dois modelos arquitetônicos bem caracterizados, Leeuwenberg e Rauh. Padrões foram observados não somente entre os modelos identificados, mas também entre os mesmos e o ambiente em qual o estudo foi realizado. Todas as espécies analisadas apresentam crescimento ortotrópico e rítmico, categorias de eixo associadas às características da região semiárida. Este trabalho tem um

caráter pioneiro e exploratório e abre espaço para que mais estudos sobre arquitetura estrutural botânica sejam realizados em regiões semiáridas do Brasil.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Carlos. *Arquitetura de Plantas*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, 2014. 46 p.

BELTRÁN-RODRÍGUEZ, Leonardo *et al.* Historia natural y cosecha de corteza de quina amarilla *Hintonia latiflora* (Rubiaceae). **Botanical Sciences**, v. 93, n. 2, p. 261-272, 30 maio 2015. Trimestral. Botanical Sciences, Sociedad Botánica de México, AC.  
<http://dx.doi.org/10.17129/botsci.231>.

BARTHÉLÉMY, D.; CARAGLIO, Y.; COSTES, E.. Architecture, gradients morphogénétiques et âge physiologique chez les végétaux. In: BOUCHON J.,

BARTHELEMY, D.; CARAGLIO, Y. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. **Annals of botany**, v. 99, n. 3, p. 375-407, 2007.

CASTRO, Alexandre de; ALVES, Domingos. Modelagem e simulação de padrões arquiteturais de plantas. **Embrapa: Comunicado técnico**, Campinas, Sp, v. 00, p. 1-9, dez. 2009.

COSTA, Malcon do Prado; LONGHI, Solon Jonas. Modelos arquitetônicos para as espécies arbóreas de uma floresta estacional subtropical no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1418-1430, 16 dez. 2018. 00. Universidad Federal de Santa Maria.  
<http://dx.doi.org/10.5902/1980509835050>.

EDELIN, Claude. Quelques aspects de l'architecture végétative des Conifères. **Bulletin de La Société Botanique de France. Lettres Botaniques**, Montpellier, v. 128, n. 3, p. 177-188, jan. 1981. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01811797.1981.10824502>.

GODIN, Christophe. Representing and encoding plant architecture: a review. **Annals Of Forest Science**, Montpellier, France, v. 57, n. 5, p. 413-438, jun. 2000. EDP Sciences.  
<http://dx.doi.org/10.1051/forest:2000132>.

GODIN, Christophe. Representing and encoding plant architecture: A review. **Annals Of Forest Science**, Montpellier, France, v. 57, n. 5-6, p. 413-538, 2002.

GRIFFON, Sébastien; COLIGNY, François de. AMAPstudio: an editing and simulation software suite for plants architecture modelling. **Ecological Modelling**, v. 290, p. 3-10, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.10.037>.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A.A. **Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux**. Paris: Masson, 1970.

HALLÉ, Francis; OLDEMAN, Roelof AA; TOMLINSON, Philip Barry. **Tropical trees and**

**forests: an architectural analysis.** Berlin: Springer-Verlag, 1978.

HALLÉ, Francis. Arquitectura de los árboles. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 45, n. 3-4, p. 405-418, 2010.

MORENO, Eleonora Camacho *et al.* Fenología y arquitectura arbórea de *Calyptanthus schiedeana* O. Berg, *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson en agroecosistemas de veracruz: não. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 8, n. 40, p. 19-36, abr. 2017. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63454557003>. Acesso em: 28 jul. 2023.

OLIVEIRA, O. F. de. Algumas árvores do Município de Mossoró. *Caatinga*, Mossoró, v. 1, n. 1, p. 7-17, 1976.

PRADO, C. H. B. de A; TROVÃO, D. M. de B. M; SOUZA, J. P. A Network model for determining decomposition, topology, and properties of the woody crown. **Journal of Theoretical Biology**, volume 499, 2020.

PRADO, C. H. B. de A; TROVÃO, D. M. de B. M (2023). The woody crown network model incorporates maximum height. **Ecological Modelling**. Vol 481, July 2023.

REFFYE, P. de *et al.* A model simulating above- and below-ground tree architecture with agroforestry applications. **Agroforestry Systems**, [S.L.], v. 30, n. 1-2, p. 175-197, maio 1995. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00708920>.

REINHARDT, Didier; KUHLEMEIER, Cris. Plant architecture. **Embo Reports**, Bern, Switzerland, v. 3, n. 9, p. 846-851, set. 2002. EMBO. <http://dx.doi.org/10.1093/embo-reports/kvf177>.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico—Ecosistema caatinga.**

SILVA, Diego Vicente Sperle da; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Tipologias de Caatinga: uma revisão em apoio a mapeamentos através de sensoriamento remoto orbital e geobia. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 35, p. 113-120, 24 jul. 2018. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v35i0.142710>.

SOUZA, João Paulo *et al.* Network analysis of tree crowns distinguishes functional groups of Cerrado species. **Plant Ecology**, v. 212, n. 1, p. 11-19, 15 jun. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11258-010-9797-7>.

SOUZA, Mailson Pereira de *et al.* Composição e estrutura da vegetação de caatinga no sul do Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, Pb, v. 12, n. 2, p. 210, 17 jun. 2017.

TOMLINSON P.B. Tree Architecture. **American Scientist**, v. 71, p. 141-149, 1983.

TOURN, G. Monica; BARTHÉLÉMY, Daniel; GROSFELD, Javier. Una aproximación a la

arquitectura vegetal: conceptos, objetivos y metodología. **Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica**. v. 34, n. 1-2, p. 85-99, 1999.

TROVÃO, D. M. B. BM; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. de A; DANTAS NETO, J. (2007). Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, 11(3), 307–311.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300010>

VESTER, H. F. M. Modelos arquitectónicos en La Flora arbórea de La península de Yucatán. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**, Distrito Federal, n. 71, p. 45-57, 2002.

VESTER, Hans F.M; SALDARRIAGA, Juan G. Algunas Características Estructurales, Arquitectónicas y Florísticas de la Sucesión Secundaria sobre Terrazas Bajas en la Región de Araracuara (Colombia). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 64, n. 1-2, p. 15-45, 01 jan. 1993. Disponível em:  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28489>. Acesso em: 02 ago. 2023.

## AGRADECIMENTOS

Foram anos desafiadores e que me trouxeram experiências e saberes que levarei para toda minha vida, então agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a coragem e a força necessária para seguir em frente.

Aos familiares que acreditaram em mim, que foram minha motivação nos momentos em que pensei que não conseguiria, que pensei ter feito escolhas erradas. Principalmente minha mãe, sem ela eu nunca conseguiria chegar até aqui, também não valeria a pena.

As minhas melhores amigas e companheiras de uma vida Isthefanny, Helen, Maria Eduarda e Samyra. E as que o tempo me trouxe, Kamilly e Natally. Já disse e repito, sem vocês eu não seria ninguém, obrigada por todos esses anos, pelo companheirismo e por todo apoio que me deram ao longo dessa amizade.

As minhas colegas de curso que o tempo aproximou, Daniela e Demy, obrigada por dividirem os fardos dessa jornada comigo, espero ter sido pra vocês um terço do suporte que vocês foram pra mim. Especialmente Dani por todos os surtos literários, acadêmicos e artísticos compartilhados, nós duas temos uma quantidade de coisas em comum que eu nunca pude imaginar. Obrigada pelos momentos de descanso de toda semana. Espero também levar vocês duas para a minha vida, desejo todo o sucesso do mundo.

A minha orientadora Profa. Dra. Dilma Trovão por todo o suporte, por ter me acolhido no LEPCaa e por ter me apresentado a essa pesquisa. Espero ter feito um bom trabalho.

Foi difícil, mas aqui estamos.

