

AMOSTRAGEM E PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI
(Caryocar brasiliense Cam.)

JOSIANE SILVA BRUZINGA

DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**AMOSTRAGEM E PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE
FRUTOS DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cam.)**

JOSIANE SILVA BRUZINGA

ORIENTADORA: PROF^A. DR. ALBA VALÉRIA REZENDE
CO-ORIENTADOR: MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA

BRASÍLIA/DF, MARÇO DE 2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“AMOSTRAGEM E PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE
FRUTOS DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cam.)”

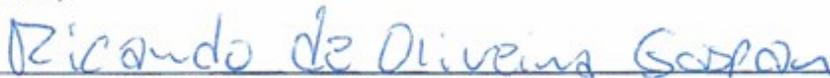
Josiane Silva Bruzinga

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:



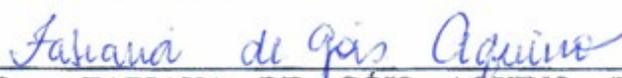
Prof. Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientadora)



Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPARG (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Prof. Dr. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Dra. FABIANA DE GÓIS AQUINO (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa);
(Examinadora Externa)



Dr. HÉLIO TONINI (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 30 de março de 2017.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sa Silva Bruzuinga, Josiane
AMOSTRAGEM E PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE
PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cam.) / Josiane Silva
Bruzuinga; orientador Alba Valéria Rezende; co
orientador Marcio Leles Romarco de Oliveira. --
Brasília, 2017.
146 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências
Florestais) -- Universidade de Brasília, 2017.

1. Produto florestal não madeireiro. 2.
Modelagem. 3. Manejo. 4. Cerrado. 5. Competição. I.
Rezende, Alba Valéria, orient. II. Leles Romarco de
Oliveira, Marcio, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRUZINGA, J.S. (2017). Amostragem e predição da produção de frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cam.). Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD. 077/2017, Programa de Pós graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 146 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Josiane Silva Bruzuinga

TÍTULO: Amostragem e predição da produção de frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cam.).

GRAU: Doutora; ANO: 2017; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Manejo Florestal

Concedo à Universidade de Brasília-UnB permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. Reservo outros direitos de publicação, de forma que nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem minha autorização por escrito.

Josiane Silva Bruzuinga

Endereço eletrônico: bruzinganet@yahoo.com.br

*“O correr da vida
embrulha tudo.
A vida é assim: esquenta e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem”*

Guimarães Rosa

Aos meus pais, meu marido e minha família!
Aos que, tendo o poder de contribuir para o acesso do povo
ao ensino superior, assim o fizeram.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Alba Valéria Rezende, pela amizade e valiosa orientação. Agradeço pelo respeito que sempre teve com minhas opiniões, por sua grande dedicação nas correções e por ter me ajudado em tudo que precisei durante o doutorado. Uma honra ter trabalhado com você!

Ao meu co-orientador Marcio Leles pela amizade, apoio e incentivo de sempre. Ao Prof. Gilciano Nogueira pelo incentivo. Ao Prof. Renato Castro pela amizade e preciosa ajuda em várias etapas desse trabalho. Ao Prof. Eraldo Matricardi e ao Dr. Fabricio Leal pela orientação na geoestatística.

Aos membros da banca, Prof. Renato Castro e Fabiana Aquino, pela colaboração no desenvolvimento do trabalho desde a etapa de qualificação. Ao pesquisador Hélio Tonini, por ter sido a inspiração para o desenvolvimento de grande parte da tese, com seus trabalhos com os produtos não madeireiros. Aos professores Ricardo Gaspar e Eraldo Matricardi, e à pesquisadora Sueli Sano, pela colaboração na melhoria do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível fazer o doutorado.

À Universidade de Brasília (UnB) e ao Departamento de Engenharia Florestal, por proporcionar o desenvolvimento dessa tese.

Ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais – IEF, pelo apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores e funcionários da pós-graduação, sempre dispostos a me ajudar, pelo convívio alegre e pelo respeito.

Aos amigos que ajudaram na árdua coleta de dados: Marcos Paulo, Petrônio, Pedro Henrique, Hérick, Thiago, Geordani, Christiano e Solano. Muita gratidão à vocês!

Aos funcionários do Parque Estadual do Rio Preto, pela presteza durante todo o período de coleta dos dados. Agradeço pela amizade de todos!

Aos novos colegas da pós-graduação e aos queridos amigos mais antigos, em especial, Sílvia, Márcia, Tassi, Milton, Glauce, Gileno, Ludo, Tangre, Henrique, Lamartine, Tita, Glória, Fabrício, Erica e Fabrícia (companheira essencial na reta final), pela amizade e companheirismo.

À Sílvia, amada amiga e ao Milton, querido amigo, que me acolheram aqui em Brasília, sendo, ambos, parte essencial dessa conquista. Serei eternamente grata a vocês!

Aos meus queridos amigos distantes, sempre presentes em pensamento positivo: Elidinha, Bebela, Fernanda Távora e família, Ju, Jimiro, Leonora, Andreza, Magno, Renata Pacheco, Polão, Paula, Pículis, Tati, Venâncio, Carol, Leandro, Mariana, Laurinha, Samuel...etc...

Aos amigos do ESDE I e II, em especial à Ada, Teresinha, Paula, Bruna, Elisa e Priscila, que com seus olhares atentos na espiritualidade me proporcionaram momentos de pura alegria nesse período. Vocês também são parte dessa conquista!

Aos amigos de Diamantina em Brasília. Gratidão por nos encontrarmos aqui! Silvia amada amiga, Milton e Leonidas amigos de longa data. Lidiomar amigo recente, porém como pensamos semelhante, hein! Anne Gander, Guita, Cesar, Marília, Tamires e Raissa.

E aos queridos amigos conquistados em Brasília, Pamela, Márcia, Milton Marques Lydia, Beto, Ângela, Pedro, Tassi, Glauce, Gileno, Tangre, Erika, Fabrícia, Henrique e Lamartine.

A minha abençoada família, primos amados, tios e suas esposas, dentre essas a querida Carlinha sempre desejando o melhor prá mim.

À Nélia Rosa, Maria Flor e Marciane, pelo incentivo e pela disposição em me ajudar em tudo sempre. Muita gratidão a vocês!

Aos meus amados irmãos, Joélcio, sempre interessado e preocupado com meu futuro; Gra, um exemplo de luta e perseverança; e em especial a Geordani, por incentivar meus estudos e dos meus irmãos, por ser o visionário que é, sempre nos incentivando a buscar o melhor.

Aos meus amados cunhados que são como irmãos, Christiano, Bia e Michele. E as bênçãos dos sobrinhos que me deram: Luquinha gracinha, Isa princesa, Cacau princesa e Luna fofura! Bálsamos de pura alegria nessa dura caminhada!

Ao meu amado marido Thiago pelo apoio, pela paciência, por achar minha tese “o máximo” (rsrs), pela valiosa ajuda na coleta dos dados (o único que faria o campo de novo), por me amar...

Aos meus amados pais que me deram tudo nessa vida. Vocês são uma fortaleza! Espero um dia poder retribuir o que fazem por mim, pelo menos uma parte, pois, tudo, nunca será possível... Vocês são os melhores!

A Deus que me propôs esse desafio e nunca me desamparou. Toda honra e toda glória ao Senhor!

RESUMO GERAL

AMOSTRAGEM E PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cam.)

Autora: Josiane Silva Bruzina

Orientador: Alba Valéria Rezende

Coorientador: Marcio Leles Romarco de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília, 30 de Março de 2017

O interesse por produtos não vinculados a atividades de alto impacto aumentou a visibilidade dos produtos florestais não madeireiros (PFNMs). Para alguns pesquisadores, a exploração sustentável desses produtos é uma das principais estratégias para conservação da vegetação nativa. Considerando esta linha de pensamento, é necessário definir técnicas adequadas e precisas para quantificação desses produtos. Outros pesquisadores acreditam que a exploração de PFMNs de algumas espécies esteja entrando em fase de declínio, e, portanto, sugerem pesquisas visando a implantação de plantios dessas espécies, a fim de atender demandas de mercado e reduzir a pressão sobre tais PFMNs em seu ambiente natural. No Cerrado, entre as espécies com potencial não madeireiro, está o *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequi), que do ponto de vista econômico é o principal PFMN do Bioma. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo contribuir com o desenvolvimento de técnicas de quantificação desse importante PFMN e identificar fatores que possam contribuir para a silvicultura da espécie. Estudamos a relação da produção com variáveis dendrométricas quantitativas e qualitativas e índices de copa, e, a partir das variáveis selecionadas, desenvolvemos uma equação de produção para estimar a produção de frutos de pequi em ambientes naturais. Além disso, avaliamos a amostragem adaptativa multivariada para quantificação de frutos, a qual se mostrou bastante precisa quando utilizamos valores específicos de área de copa no critério de inclusão de indivíduos. Foi possível ainda utilizar um fator de correção para melhorar a eficiência do procedimento. Quanto aos fatores limitantes da produção de frutos de pequi, detectamos relações importantes com a competição e que podem ser usadas na silvicultura da espécie. Outras relações com fatores ambientais, como a posição da copa em relação ao sol, foram detectadas e discutidas com o foco na produção. Em resumo, as variáveis passíveis de manejo que melhor descrevem a produção de frutos de pequi são: área da copa, alumínio, potássio, fósforo e competição.

Palavras-chave: Produto florestal não madeireiro; Modelagem; Manejo; Cerrado.

ABSTRACT

Interest in non-high impact products has increased the visibility of non-timber forest products (NTFPs). For some researchers, the sustainable exploitation of these products is one of the main strategies for conserving native vegetation. Considering this line of thought, it is necessary to define adequate and precise techniques for quantification of these products. Other researchers believe that the exploitation of NTFPs of some species is entering a phase of decline, and therefore suggest research aimed at the implantation of plantations of these species in order to meet market demands and reduce the pressure on such NTFPs in their natural environment . In the Cerrado, among the species with non-timber potential is the *Caryocar brasiliense* Cambess. (Pequi), which from an economic point of view is the main NTFPs of the Biome. In this sense, the present work aimed to contribute to the development of quantification techniques of this important NTFP and to identify factors that may contribute to the silviculture of the species. We studied the production relationship with quantitative and qualitative dendrometric variables and cup indexes, and, from the selected variables, we developed a production equation to estimate the production of pequi fruits in natural environments. In addition, we evaluated the multivariate adaptive sampling for fruit quantification, which proved to be quite accurate when using specific crown area values in the criterion of inclusion of individuals. It was also possible to use a correction factor to improve the efficiency of the procedure. Regarding the limiting factors of the production of pequi fruits, we detected important relations with the competition and that can be used in the silviculture of the species. Other relationships with environmental factors, such as the position of the canopy relative to the sun, were detected and discussed with the production focus. In summary, the manageable variables that best describe the production of pequi fruits are: crown area, aluminum, potassium, phosphorus and competition.

Keywords: Non-timber forest product; Modeling; Management; Cerrado.

Sumário

Capítulo 1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVO GERAL.....	3
1.3 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.3.1 O Bioma Cerrado.....	3
1.3.2 Produtos florestais não madeireiros – PFNMs.....	7
1.3.3 Quantificação de produto florestal não madeireiro – PFNMs.....	12
1.3.3.1 Amostragem de PFNM.....	13
1.3.3.2 Modelagem de PFNM.....	18
1.3.4 <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.....	21
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
Capítulo 2. MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess).....	55
2.1 RESUMO.....	55
2.2 ABSTRACT.....	55
2.3 INTRODUÇÃO.....	56
2.4 OBJETIVO PRINCIPAL.....	57
2.4.1 Objetivos Específicos.....	57
2.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.5.1 Descrição da área de estudo.....	58
2.5.2. Coleta de dados.....	58
2.5.3. Análise de dados.....	60
2.6 RESULTADOS E DISCURSSÃO.....	63
2.7 CONCLUSÕES.....	77
2.8 RECOMENDAÇÕES.....	78
2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
Capítulo 3. AMOSTRAGEM ADAPTATIVA MULTIVARIADA PARA QUANTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess).....	85

3.1 RESUMO.....	85
3.2 ABSTRACT.....	85
3.3 INTRODUÇÃO.....	86
3.4 OBJETIVO PRINCIPAL.....	87
3.4.1 Objetivos específicos.....	88
3.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	88
3.5.1 Descrição da área de estudo.....	88
3.5.2 Coleta e obtenção dos dados.....	88
3.5.3 Análise dos dados.....	90
3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
3.7 CONCLUSÕES.....	103
3.8 RECOMENDAÇÕES.....	103
3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
APENDICE 3.1.....	107
Capítulo 4. RELAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI COM A COMPETIÇÃO E ASPECTOS AMBIENTAIS: DIRECIONAMENTO SILVICULTURAL.....	113
4.1 RESUMO.....	113
4.2 ABSTRACT.....	113
4.3 INTRODUÇÃO.....	114
4.4 OBJETIVO PRINCIPAL.....	115
4.4.1 Objetivos específicos.....	115
4.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	115
4.5.1. Descrição da área de estudo.....	115
4.5.2. Coleta e tratamento dos dados.....	116
4.5.3. Análise de dados.....	119
4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	122
4.7 CONCLUSÕES.....	136
4.8 RECOMENDAÇÕES.....	136
4.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
APÊNDICE 4.1.....	144
APÊNDICE 4.2.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Definição dos índices de copa e suas relações esperadas com a produção.....	60
Tabela 2.2	Matriz de confusão para os dados de produção de frutos de pequi por classe para os anos de 2014 e 2015.....	61
Tabela 2.3	Correlação de Spearman entre produção de frutos de pequi e variáveis dendrométricas.....	67
Tabela 2.4.	Média de variáveis dendrométricas quantitativas por classe de produção de frutos e classificação de qualidade de copa predominante por classe. Em que ind. = indivíduo; DAS = diâmetro do fuste a 30 cm do solo; méd. = médio; AT = altura total; Gc = área da copa; IA = índice de abrangência; QC = qualidade de copa e; predom. = predominante.....	68
Tabela 2.5	Modelos estatísticos de regressão testados para estimar produção de frutos de pequi.....	69
Tabela 2.6	Parâmetros das equações ajustadas (modelos lineares e não lineares) para estimativa da produção (em número) de frutos de pequi, para dois anos monitorados (ano de baixa e alta produção) e respectivas estatísticas de precisão (r , S_{xy} e Bias). Valores em vermelho indicam significância do parâmetro pelo teste t a 95% de probabilidade.....	71
Tabela 2.7	Resultado do teste de identidade de modelos para os anos 1 e 2.....	75
Tabela 3.1	Condições C de inclusão de árvores de pequi testadas nos procedimentos da AACM.....	91
Tabela 3.2	Relação de todos os possíveis <i>clusters</i> formados para cada condição de inclusão ($C1$, $C2$, $C3$, $C4$ e $C5$). Valor da Rede se refere ao número de parcelas presente na rede; Σy_i = número de indivíduos na rede; w_i = peso da rede.....	96
Tabela 3.3	Média de 30 simulações de cada procedimento AACM ($C1$, $C2$, $C3$, $C4$ e $C5$). Em que: $nf\%$ = número final de unidades distintas na amostra, em porcentagem, em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; $E\%$ = erro em	

	porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	98
Tabela 3.4	Média da produção de frutos de pequi utilizando os estimadores de Hansen-Hurwitz modificado (\bar{Y}_{HHm}), Hansen-Thompson (\bar{Y}_{HT}) e Hansen-Hurwitz (\bar{Y}_{HH}) e, estimativa e exatidão da produção total de frutos (PF), para as condições C1, C2, C3, C4 e C5.....	100
Tabela 3.5	Cálculo o fator de correção (fc_x), nova simulação do procedimento C4 e cálculo da exatidão para a nova simulação C4 utilizando o fc_x médio (0,87). Em que \bar{Y}_{C3} é a média do procedimento C3, \bar{Y}_{C4} a média do procedimento C4, N.S = nova simulação e Exa. a exatidão.....	101
Tabela 1 ^a	Resultado de 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizado a AACM com a condição C1. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	107
Tabela 2 ^a	Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C2. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	108

Tabela 3A	Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C3. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	109
Tabela 4A	Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizado a AACM com a condição C4. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	110
Tabela 5A	Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C5. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	111
Tabela 6A	Resultado de 30 novas simulações independentes para o procedimento de amostragem com a condição C4. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em	

	relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa.....	112
Tabela 4.1	Classes de produção de frutos de pequi.....	119
Tabela 4.2	Equações estimadas dos semivariogramas da interpolação pela krigagem ordinária e dependência espacial dos atributos.....	128
Tabela 4.3	Coefficientes dos modelos gerados pelo procedimento de eliminação de variáveis <i>Backward</i> . Valores destacados de vermelho possuem significância pelo teste t (5%). Em que R^2 é o coeficiente de determinação; S_{xy} é o erro padrão da estimativa e F o valor do teste F-parcial.....	130
Tabela 4.4	Valores do Fator de Inflação de Variação (FIV) para as variáveis independentes dos modelos avaliados.....	132
Tabela 4.5	Teste SNK a 5% de significância para médias de produção de frutos de pequi por quadrante da copa (NE = nordeste; NO = noroeste; SE = sudeste e; SO = sudoeste) e por classe de produção (2 - baixa, 3 - média, 4 - acima da média e 5 – alta. As letras minúsculas na tabela (a, b, c e d) referem-se a comparação das médias entre quadrantes, dentro de uma mesma classe de produção. As letras maiúsculas (A, B, C e D) referem-se a comparação entre classes de um mesmo quadrante.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Mapa de localização geral do Parque Estadual do Rio Preto (PERP), no Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG.....	58
Figura 2.2	Gráfico <i>Box Plots</i> representando classes de produção de frutos de pequi em função de variáveis qualitativas da árvore.....	64
Figura 2.3	Dispersão dos dados de área da copa (Gc) e diâmetro a 30 cm do solo (DAS) em função da produção de frutos.....	70
Figura 2.4	Distribuição residual dos modelos ajustados para estimar produção de frutos de pequi, mostrando o comportamento do valor observado pelo valor estimado.....	73
Figura 3.1	Censo de árvores de pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess) com $DAS \geq 5$ cm em uma área de 36,5 ha de cerrado <i>sensu stricto</i> , no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG. (Fonte: BRUZINGA et al., 2013).....	90
Figura 3.2	Esquema do processo de amostragem pelo método da AAC, com condição $C = 1$ em que  = unidade de rede;  = unidade de fronteira;  = cluster. (A) Unidades sorteadas em uma amostra inicial aleatória, representadas pela quadrícula preenchida com a cor cinza escuro, nomeada pela letra <i>i</i> ; (B) Investigação das unidades vizinhas para a primeira parcela no canto superior esquerdo; (C) e (D) investigação das demais unidades vizinhas; (E) Formação de um cluster para a primeira unidade <i>i</i> , em que, unidades de cor cinza escuro representam a rede e são aquelas que atenderam a condição C e unidades amarelas são as de fronteira; (F) Clusters formados pelas demais unidades <i>i</i> selecionadas.....	91
Figura 3.3	Relação entre medidas de precisão, exatidão e intensidade de amostragem para os procedimentos de AACM avaliados.....	98
Figura 3.4	Relação entre o tamanho do cluster e a produção total por cluster e produção média por árvore.....	102
Figura 4.1	Distribuição e localização das parcelas de 20 × 50 m onde foram coletadas as amostras de solos no Parque Estadual do Rio Preto	

	(PERP), no Estado de Minas Gerais.....	118
Figura 4.2	Modelo de um semivariograma e suas propriedades. Fonte: LEAL (2013).....	120
Figura 4.3	Comportamento médio dos índices de competição (IC) em função da classe de produção de frutos em pequizeiros amostrados no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), no Estado de Minas Gerais, considerando três tamanhos de copa. Em que: y = índice de competição médio; x = classe de produção; Copa peq = copa pequena; Copa med = copa média; Copa gde = copa grande; R^2 = coeficiente de determinação da equação ajustada.....	125
Figura 4.4	Mapa de interpolação utilizando a densidade de Kernel (primeira imagem da esquerda) e utilizando a krigagem ordinária para as demais variáveis. Cores mais quentes indicam maior valor do atributo e cores mais frias, menor valor (escala de vermelho ao azul escuro). O mapa de orientação possui cores predefinidas: vermelho - face orientada para o norte; laranja – nordeste; amarelo – leste; verde – sudeste; azul turquesa – sul; rosa – noroeste.....	127
Figura 4.5	(A) Proporção de variáveis significativas e não significativas e; (B) Comportamento de β_0 (intercepto) e do erro padrão em função dos modelos avaliados.....	131
Figura 4.6	Gráficos de dispersão para os ajustes e validação dos modelos 22, 23 e 24.....	134

Capítulo 1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos naturais e que preferencialmente estejam vinculados a atividades com pouca intervenção nos ecossistemas nativos, aumentou a visibilidade dos produtos florestais não madeireiros (PFNMs), tanto no mercado nacional quanto internacional. PILZ et al. (1998), definem esses produtos como todo material biológico, exceto madeira roliça e derivados de madeira serrada, extraído de ecossistemas naturais ou de plantios manejados. Segundo Tonini (2013), a exploração sustentável desses produtos é umas das principais estratégias para conservação das florestas tropicais, que abrigam grande parte da biodiversidade do planeta, e, conseqüentemente, de PFNMs.

Nos ecossistemas onde a exploração madeireira não oferece grande retorno financeiro, como é o caso do Cerrado, o uso sustentável dos PFNMs pode ser uma alternativa economicamente viável, que irá, concomitantemente, contribuir para a conservação da diversidade biológica. Sendo assim, é importante garantir que a exploração dos PFNMs seja realizada de forma sustentável, embora, tal prática não seja tão comum para a maioria dos não madeireiros. A exploração de PFNMs ainda carece de muitas informações relacionadas, principalmente, à sua sustentabilidade biológica, a valoração econômica e aos aspectos sociais (BOOT, 1997).

A quantificação dos recursos florestais é fundamental nas decisões de manejo e, no caso específico dos PFNMs, poucos são os estudos que buscam definir técnicas e métodos de quantificar estes produtos (TONINI, 2013). Segundo Wong et al. (2001), as características das diversas espécies que produzem PFNM, como raridade, agrupamento, sazonalidade e necessidade de quantificação por métodos não destrutivos, dificultam a utilização de técnicas tradicionais de quantificação. Para Wickens (1991), ainda faltam informações sobre abundância, distribuição, ecologia, reprodução e até mesmo o cultivo de espécies com potencial para produção não madeireira.

No Cerrado, entre as espécies com grande potencial para produção não madeireira, está o *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequi) (SCHMDLT et al., 2007). Segundo Afonso; Ângelo (2009) do ponto de vista econômico, crescimento da produção e do preço, o pequi é o principal PFNM do Cerrado. Melo Jr. et al. (2012) classificaram o pequi como sendo uma das frutas mais importantes e úteis do Cerrado. A grande

importância da espécie está no seu fruto que é bastante usado na culinária regional, na indústria farmacêutica e na produção de óleo biocombustível (ROESLER et al., 2008).

O pequi, muito apreciado por suas peculiaridades de cor, aroma e sabor, constitui-se em rica fonte de nutrientes, com destaque para os teores de lipídios, proteínas e β -caroteno (RIBEIRO, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; LIMA et al., 2007; ROSSO; MERCADANTE; 2007; RODRIGUES et al., 2009; ALVES et al., 2010). Segundo Carvalho; Burger (1960), de todos os frutos usualmente consumidos no Brasil, o pequi possui a maior quantidade de vitamina A. O óleo extraído da sua polpa e da sua semente produz biodiesel, classificado por Silva et al. (2014) como potencial substituinte do diesel mineral convencional. As vantagens desse óleo se devem a estabilidade térmica e à predominância de ácidos graxos insaturados (OLIVEIRA et al., 2006).

O pequi é amplamente empregado na medicina popular (PROENÇA et al., 2000; KERR et al., 2007), o que aumenta o interesse de cientistas em desenvolver pesquisas, especialmente relacionadas as suas propriedades químicas (MARIANO et al., 2009; GEÓCZE et al., 2013). Paula Jr. et al. (2006), por exemplo, identificaram a capacidade antioxidante e os efeitos leishmanicida e bactericida do extrato das folhas do pequi. Pinho et al. (2012) detectaram a atividade antimicrobiana no extrato da casca. Outras propriedades medicinais também foram atribuídas aos extratos do pequi, como a atividade sequestradora de radicais livres (ROESLER et al., 2007), expectorante, tratamento de edemas e queimaduras (VIEIRA; MARTINS, 2000), e inibição de tumores (VILELA et al., 2011).

Segundo Kainer et al. (2007), para as espécies florestais, cujos frutos apresentam múltiplos usos e alto valor econômico, como é o caso do pequi, um nível máximo de frutificação e uma mínima variação anual são fatores importantes para o sucesso comercial e para sustentabilidade da colheita da espécie. Assim, é necessário desenvolver pesquisas que visem quantificar a produção de frutos por árvore e determinar os fatores que influenciam a variabilidade da produção individual (TONINI et al., 2008). Nesse sentido, a contribuição desse trabalho está em responder as seguintes questões relacionadas à produção de frutos de pequi: É possível estimar a produção a partir de modelos alométricos em função de variáveis quantitativas e qualitativas da árvore? O método de amostragem adaptativa cluster com aspectos multivariados é eficiente na estimativa da produção? Quais fatores passíveis de manejo limitam essa produção?

1.2 OBJETIVO GERAL

- Modelar a produção de frutos de pequi a partir de variáveis quantitativas e qualitativas da árvore, visando prever quantidade de frutos da espécie produzida em áreas de Cerrado; avaliar a amostragem adaptativa cluster com aspectos multivariados para quantificação indireta dos frutos de pequi em áreas de ocorrência natural; e determinar os fatores que influenciam na produção dos frutos a fim de nortear prescrições para o cultivo da espécie.

1.3 REVISÃO DE LITERATURA

1.3.1 O Bioma Cerrado

As savanas estão distribuídas em toda superfície terrestre, especialmente nas regiões tropicais. Cobrem cerca de um quinto da superfície terrestre global (SANKARAN et al., 2005), estando presentes em 50% dos territórios da África e Austrália, em 10% da Índia e Sudeste da Ásia e 45% da América do Sul (SCHOLES; ARCHER, 1997).

O Cerrado é o segundo maior bioma (KLINK; MACHADO, 2005), ocupando cerca de um quarto do território brasileiro (IBGE, 2004). Junto com áreas do Paraguai e Bolívia, constitui o maior conjunto de ecossistemas de savana neotropical do mundo (MYERS, 2000). No território brasileiro, o Cerrado ocorre principalmente na porção central (maior parte do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Goiás, Distrito Federal, oeste de Minas Gerais e Bahia) (FURLEY, 1999), mas, ocorre também em parte dos estados do Maranhão, Paraná, Piauí e São Paulo (SANO et al., 2008).

De acordo com RIBEIRO; WALTER (2008), o Cerrado é um bioma composto por três formações: florestal, savânica e campestre. Mas, para Batalha (2011), o Cerrado é um complexo de biomas, uma vez que cada formação mencionada por Sano et al. (2010) é um bioma ou seja: Florestal (bioma das Florestas Estacionais); Savânica (bioma das Savanas); e Campestre (bioma dos Campos Tropicais). O cerradão está incluído no bioma das Florestas Estacionais; o campo sujo, o campo cerrado e o cerrado *sensu stricto* no bioma das Savanas; e o campo limpo no bioma dos Campos Tropicais (BATALHA, 2011).

Outros autores consideram o Cerrado como sendo uma Savana (VELOSO et al., 1991; RIZZINI, 1997; FERNANDES, 1998; COUTINHO, 2006), o que é comumente aceito na classificação mundial dos biomas (COUTINHO, 2006). Contudo, os mapas de

distribuição dos biomas no mundo, ao incluírem o Cerrado brasileiro na área correspondente aos biomas do tipo Savana (ODUM, 1959; KORMONDY, 1969;), excluem algumas fisionomias que são pertencentes ao domínio do Cerrado, segundo Oliveira-Filho; Ratter (2002). São excluídas dessa classificação as matas de galeria (um bioma de floresta tropical estacional), os campos paludosos, as florestas tropicais estacionais sempre verdes, as semicaducifólias e as matas secas, descritas em Eiten (1990).

No Brasil, o conceito de Cerrado proposto por Ribeiro; Walter (2008) é amplamente difundido e o mais aceito. Segundo os autores, o Cerrado é uma savana sazonal que apresenta vasta gama de tipos fisionômicos com grande variação na estrutura e biomassa. Esses autores descrevem onze tipos principais de vegetação para o Bioma, enquadrados em formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão), savânicas (cerrado *sensu stricto*, parque de cerrado, palmeiral e vereda) e campestres (campo sujo, campo limpo e campo rupestre). Se forem incluídos neste sistema os subtipos, são reconhecidos 25 tipos de vegetação no bioma Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 2008).

O Cerrado possui uma das floras mais ricas do mundo (SOUZA; FELFILI, 2006), e é a mais rica dentre as savanas (MENDONÇA et al., 1998; MITTERMEIER et al., 2005). Já foram catalogadas no bioma 12.356 espécies de plantas nativas (MENDONÇA et al., 2008) sendo 44% endêmicas (KLINK; MACHADO, 2005; MENDONÇA et al., 2008). As famílias mais representativas no Bioma são Fabaceae seguida por Asteraceae, Orchidaceae, Poaceae, Melastomataceae, Eriocaulaceae, Rubiaceae, Myrtaceae e Euphorbiaceae. Segundo Mendonça et al. (2008), essas 10 famílias compõem somente 5,84% do total das famílias, mas, contribuem com 49,14% das espécies e com 50,30% dos táxons o Bioma. Entre os gêneros com maior destaque por apresentar maior número de espécies, estão o *Paepalanthus* (262 espécies), *Mimosa* (214), *Chamaecrista* (188), *Myrcia* (141), *Hyptis* (130), *Vellozia* (114), *Croton* (111), *Syngonanthus* (107), *Xyris* (104) e *Paspalum* (103).

Grande parte das espécies do Cerrado apresenta alto valor alimentício e medicinal (ALMEIDA et al., 1998). Cerca de 131 espécies estão listadas no Livro Vermelho da Flora do Brasil (MARTINELLI; MORAES, 2013) na categoria risco de extinção. *Caryocar brasiliense* (pequi) também está nesta lista e é considerada uma espécie prioritária para pesquisa e conservação.

Quanto à fauna, foram já registradas 199 espécies de mamíferos (MARINHO-FILHO et al., 2002) e mais de 830 espécies de aves, porém, o nível de endemismo é baixo (3,4%). A riqueza de peixes, répteis e anfíbios também é alta, 1.200, 180 e 150 respectivamente (KLINK; MACHADO, 2005).

O clima dominante da região do Cerrado é Aw (semi-tropical úmido) na classificação de Köppen, com acentuada sazonalidade, caracterizado por temperatura do mês mais frio acima de 22°C e por precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm (RESENDE et al., 1996). A temperatura média anual varia de 26°C ao norte a 20°C ao sul. A precipitação anual varia de 1.200 a 2.000 mm (FURLEY, 1999).

A vegetação do Cerrado ocorre sobre vários tipos de solo, mas, a maioria é bem drenado, profundo, ácido, pobre em nutrientes (especialmente o fósforo) e com alta saturação de alumínio (ADÁMOLI et al., 1987). De acordo com a classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 1999), os Latossolos predominam na região (46%), seguido por Cambissolos (15%) e solos arenosos (Areias Quartzosas; 15%). Segundo Gomes et al. (2004), considerando apenas os remanescentes mais extensos e menos dissecados do Cerrado, os solos restringem-se basicamente aos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, com relevo plano a suave ondulado.

Quanto aos fatores determinantes da distribuição do Cerrado, Gomes et al. (2004) consideram a sazonalidade do clima, com período chuvoso na maior parte da região entre outubro e março, como sendo o fator mais importante. Oliveira-Filho; Ratter (2002) acrescentam também a fertilidade e a drenagem do solo, o regime de fogo e as flutuações climáticas do Quaternário, as quais teriam passado por uma expansão dos climas secos e por um rebaixamento de temperaturas causando a retração das florestas e o avanço das fisionomias de savana para o norte do país.

Segundo Eiten (1972) e Furley (1999), a ocorrência do bioma Cerrado quando comparado a outros ecossistemas, como os ecossistemas florestais, depende, além dos fatores citados por Oliveira-Filho; Ratter (2002), de fatores ambientais locais como topografia e posição do solo na paisagem. Ratter; Dargie (1992) acrescentam as variações altitudinal, latitudinal e longitudinale, Bucci et al. (2008) citam a variação dos recursos subterrâneos, como determinantes da distribuição do Cerrado. Esses fatores geraram grande heterogeneidade ambiental, devido às diversas cotas altitudinais, relevo irregular, vários tipos de solo, sazonalidade da precipitação e históricos de fogo, determinando a heterogeneidade da vegetação desse Bioma.

O cerrado *sensu stricto* é a formação savânica predominante no Cerrado (RIBEIRO; WALTER, 2008) e é comumente confundida com o próprio bioma. Ocupa aproximadamente 70% (EITEN, 1972) do bioma, e normalmente ocorre sobre Latossolos (CASTRO; KAUFFMAN, 1998). É caracterizado pela presença de árvores tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas e, geralmente, com sinais de queimadas. Sua flora é composta por dois grupos: uma camada lenhosa, e uma camada rasteira, com predominância de gramíneas (EINTEN, 2001; FELFILI et al., 2002). Os dois grupos são ricos em espécies, porém, as epífitas são raras (FELFILI et al., 2005). Em geral, a vegetação apresenta adaptações ao fogo como folhas coriáceas, rápida capacidade de regeneração, raízes profundas (BATLLE-BAYER et al., 2010), casca grossa e camadas de cortiça que protegem o floema do fogo (FELFILI et al., 2005). A maioria das árvores tem mais de 50% de sua biomassa abaixo do solo (CASTRO; KAUFFMAN, 1998; SARMIENTO, 1983).

A densidade de árvores adultas no cerrado *sensu stricto* varia de 600 a 1.200 plantas lenhosas por hectare (FELFILI et al., 2005), mas, podem ser encontradas áreas com densidades ainda maiores (SANTOS et al., 2010; GIÁCOMO et al., 2013). A frequência de queimadas, a profundidade do lençol freático e os fatores antrópicos têm nítida influência na distribuição das suas espécies arbóreas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Apesar da sua elevada biodiversidade e da sua grande importância ecológica (MYERS et al., 2000), o Cerrado está na lista dos biomas mais ameaçados do mundo (MITTERMEIER et al., 2005) e incluído entre os 35 ecossistemas com prioridade para a conservação, ou seja, os *hotspots* de biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2011). No Brasil, depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma que mais sofreu impactos antropogênicos (MITTERMEIER et al., 2005). Sua cobertura original já foi reduzida em mais de 39,5% (SANO et al., 2008). Mesmo sendo considerado um *hotspot* para conservação da biodiversidade, possui apenas 8,21% de seus domínios protegidos por UCs Federais, Estaduais e Municipais (IBAMA, 2017), o que segundo Giambelluca et al. (2009), demonstra a pouca atenção que este bioma recebe. Ribeiro; Walter (2008) alertam que tanto o índice de área protegida quanto o tamanho médio das unidades de conservação não garantem sustentabilidade à biodiversidade na atual conjuntura do Cerrado.

Outro motivo de preocupação quanto à preservação da biodiversidade do Cerrado, são as altas taxas de conversão do uso do solo (HOEKSTRA et al., 2004).

Segundo Borlaug (2002), o Cerrado é considerado a última fronteira agrícola do planeta e tem sido fronteira agrícola do Brasil desde o início de 1970 (BATLLE-BAYER et al., 2010). Igualmente grave é a distribuição altamente fragmentada dos habitats remanescentes, o que interfere na viabilidade de manutenção e reprodução de espécies e no próprio potencial para a conservação (CARVALHO et al., 2009). Pelo menos 137 espécies de animais que ocorrem no Cerrado estão ameaçadas de extinção (HILTON-TAYLOR, 2004). Considerando que as espécies de plantas têm uma distribuição restrita (FELFILI et al., 1997), a magnitude da devastação da flora do Cerrado também pode ser muito grande (FELFILI; FELFILI, 2001).

1.3.2 Produtos florestais não madeireiros – PFNMs

O conceito de produtos florestais não madeireiros (PFNMs) é muito divergente entre pesquisadores do mundo inteiro. O mais difundido é apresentado por Pilz et al. (1998), que definem como sendo todos os produtos extraídos da floresta excetuando-se madeira, ou seja, folhas, frutos, fibras, palhas, sementes, óleos, resinas, gomas, borrachas, bambus, corantes, plantas medicinais, flores e cogumelos. Este conceito é também adotado pela FAO (1995), que define os PFNMs como sendo todos os bens de origem biológica e, também, os serviços derivados da floresta e da terra sob uso similar, excluindo a madeira em todas as suas formas. Santos et al. (2003) e Wickens (1991), também consideram que os PFNMs podem ser provenientes tanto da floresta nativa quanto de plantas semidomesticadas em plantios manejados ou sistemas agroflorestais.

Outros cientistas, no entanto, vão além. Wickens (1991) inclui os pássaros, os répteis, os peixes, os insetos, etc., para a obtenção de alimentação, e, também, peles e penas. Ros-Tonen et al. (1995) acrescentam os ovos e o mel. Um conceito mais amplo considera também a lenha (GANESAN, 1993; SHANKAR, 1998), o carvão vegetal, a madeira de pequenas dimensões e os serviços ambientais da floresta (APPASAMY, 1993; SANTOS et al., 2003), como, por exemplo, o sequestro de carbono, a manutenção dos recursos hídricos, a contenção de erosão e os recursos genéticos. Porém, Santos et al. (2003) alertam que nesse conceito mais amplo deve-se ter cautela para não incluir produtos oriundos do corte da árvore, como a polpa de celulose, por exemplo.

No Brasil, a valorização dos PFNMs tornou-se mais evidente no período em que se iniciou o ciclo da borracha e da castanha. Contudo, de uma forma geral, a valorização dos PFNMs no mundo é recente (FAO, 1992) e se deu principalmente a partir do

momento em que um novo perfil de mercado começou a se interessar por produtos advindos de atividades cada vez menos impactantes (SANTOS et al., 2003) e, preferivelmente, associados a uma estratégia de desenvolvimento sustentável (MAY; MOTA, 1994).

Conforme estatísticas do FRA (2009), os principais PFNMs no Brasil são: borracha; goma de maçaranduba; cera de carnaúba; óleo de buriti; fibra de piassava; extratos da casca de angico; fruto do babaçu; óleo de copaíba; semente de cumaru; fruto de licuri; óleo de oiticica; fruto de pequi; folhas; frutos e sementes de tucum; fruto de açaí; castanha de caju; castanha do brasil; folha de erva mate; fruto de mangaba; semente de pinhão; umbu; extrato das folhas e casa de ipecacuanha; óleo de jaborandi; frutos de urucu; nó-de-pinho (parte do galho do pinheiro); tanino de acácia negra e resina de eucalipto. Muitos desses produtos constituem matéria-prima para várias indústrias que produzem óleos essenciais, inseticidas, medicamentos, alimentos e corantes, entre outros (SANTOS; GUERRA, 2009).

Segundo Santos et al. (2003), os PFNMs representam um dos mais desafiadores grupos de produtos, do ponto de vista de mercado, devido ao seu número, versatilidade, variação de uso final, diferenças da base de produtores e riqueza de recursos. O manejo dos PFNMs tem gerado grande interesse devido ao seu potencial tanto na conservação do ecossistema quanto no desenvolvimento rural de uma região (PULIDO; CABALLERO, 2006). Porém, são necessários esforços para documentar as implicações ecológicas da colheita (TICKTIN, 2004), bem como, estudos comparativos das tendências de mercado dos PFNMs (RUIZ-PEREZ et al., 2004).

Com a necessidade de mais estudos sobre os PFNMs, em virtude do aumento de mercado e das incertezas quanto ao manejo, algumas pesquisas relevantes vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Um estudo de grande repercussão realizado por Peters et al. (1989), sugere que a colheita dos PFNMs em florestas tropicais poderia gerar receitas mais elevadas que a própria madeira. Essa declaração despertou o interesse de várias pessoas por esses produtos e, nos anos seguintes, as pesquisas utilizando simulações e estudos de caso com PFNMs cresceram significativamente. Um exemplo é o estudo desenvolvido por León; Tudela (1998), em que foi constatada a viabilidade econômica e biológica do manejo de *Asimina triloba*, uma importante espécie frutífera arbórea, nativa da América do Norte.

Outras pesquisas também vêm examinando a lucratividade da exploração de PFNMs. Shone; Harris (2006) observaram que esses produtos têm níveis

significativamente mais elevados de diversificação que a própria exploração madeireira. Na região do Mediterrâneo, Croitoru et al. (2007) observaram que os PFNMs proporcionam benefícios anuais que representam cerca de um quarto do valor econômico total das florestas dessa região.

No Brasil, em 2015, a produção florestal primária alcançou R\$ 18,4 bilhões, onde a silvicultura contribuiu com 74,3% e a extração vegetal com 25,7% (IBGE, 2015). Conforme esse levantamento, a contribuição dos produtos madeireiros na extração vegetal foi de R\$ 3,2 bilhões e a dos não madeireiros foi de R\$ 1,5 bilhão. Ainda segundo o IBGE (2015), a maior contribuição no valor dos PFNMs foi dos produtos alimentícios (69,4%), seguidos das ceras (14,8%), das oleaginosos (8,3%) e das fibras (7,0%). Os demais não madeireiros contribuíram com apenas 0,5%.

Para o *Forest Stewardship Council* (FSC, 2009), a colheita de PFNMs pode ser um componente importante do manejo florestal, fornecendo um leque de benefícios econômicos. Nesta linha de pensamento, muitos estudos têm sido desenvolvidos no mundo inteiro, visando diagnosticar a viabilidade econômica da inclusão de produtos florestais madeireiros e não madeireiros no manejo florestal (HARTMAN, 1976; CALISH et al., 1978; VAN KOOTEN et al., 1995; LARSEN et al., 2000; GAN et al., 2001; GONG et al., 2005; MCFARLANE et al., 2005; QUANG; ANH, 2006, BALDAUF et al., 2007; GUARIGUATA et al., 2008; NANANG; HAUER, 2008; ROBINSON et al., 2008; ALMEIDA et al., 2009; AFONSO; ÂNGELO, 2009; HEUBACH et al., 2011; MUTENJE et al., 2011; KLIMAS et al., 2012).

Com relação aos sistemas de manejo dos PFNMs, alguns estudos buscaram investigar os impactos desses sistemas na população da espécie explorada e na comunidade de uma forma geral. Nakazono et al. (2004), por exemplo, estudaram, na Amazônia central, o manejo da “haste” da *Ischnosiphon polyphyllus* (arumã), da família Marantaceae, que é uma planta herbácea que ocorre em ambientes de florestas inundáveis na Amazônia e que é utilizada por artesãos na confecção de artigos artesanais, principalmente de tapetes (tupés). Nesse estudo foi constatado que a colheita de talos dessa planta para a retirada de fibras, não causa a mortalidade da planta, exceto no caso de tratamentos onde a colheita é mais intensa. Contudo, esses autores sugerem que a sobrevivência a longo prazo da espécie deve ser estudada.

Seguindo essa mesma linha, Trauernicht; Ticktin (2005) estudaram os efeitos do cultivo da palmeira *Chamaedorea hooperiana* Hodel na estrutura e composição florística da floresta. Endress et al. (2006) estudaram os efeitos de diferentes formas de

colheita de folhas da palmeira *Chamaedorea radicalis* na ecologia da espécie. Ayisso et al. (2009) avaliaram o impacto da colheita do fruto de *Pentadesma butyracea*, na regeneração da espécie. Muler et al. (2014) avaliaram o impacto da colheita do palmito de *Euterpe edulis* na dinâmica da regeneração da espécie em área de Mata Atlântica.

Os estudos acima citados, que avaliaram o efeito do manejo de determinada espécie na sua comunidade mostraram que o manejo pode alterar a dinâmica da regeneração da floresta. Contudo, aqueles que avaliaram o efeito do manejo na ecologia da população da espécie explorada, apresentaram resultados divergentes. No estudo realizado por Endress et al. (2006), por exemplo, foi constatado que em todas as alternativas analisadas sobre colheita de folhas da palmeira *Chamaedorea radicalis*, houve aumento da taxa de mortalidade e redução da taxa de crescimento e da atividade reprodutiva da espécie. Quanto ao estudo realizado por Ayisso et al. (2009), sobre o impacto da colheita de frutos de *Pentadesma butyracea* Sabine na regeneração da espécie, foi observado que tanto a estrutura diamétrica da espécie quanto a sua regeneração independem da intensidade da coleta dos frutos, embora esses autores alertam sobre a importância de realizar estudos semelhantes para outras espécies, considerando que o fruto é o órgão reprodutivo das espécies.

Segundo Hall; Bawa (1993), a colheita excessiva de frutos pode afetar negativamente na sustentabilidade das espécies e na perda da diversidade genética (PERES et al., 2003), porém, essa perda certamente é menor que a colheita (corte) de árvores inteiras. Guedje et al. (2007) acrescentam que para que o manejo seja sustentável, é preciso fazer um estudo sobre a ecologia da espécie, identificando a taxa ótima de coleta de frutos. De forma mais abrangente, Ticktin (2004) afirma que a tolerância para a colheita de PFNMs varia de acordo com o crescimento da planta, com a mortalidade da parte da planta que é colhida, com as condições ambientais e com as práticas de manejo.

Alguns estudos realizados com PFNMs detectaram que algumas espécies são bastante tolerantes a colheita (ZUIDEMA; BOOT, 2002), outras têm a população afetada negativamente com a colheita (OLMSTED; ALVAREZ-BULLYA, 1995; SOEHARTONO; NEWTON, 2001), e outras apresentaram respostas mais sutis ou conflitantes (SVENNING; MACIA, 2002; SIEBERT, 2004). As diferenças no impacto da colheita sobre as espécies dificultam a gestão desses recursos e a definição de prioridades de conservação e dos níveis de colheita sustentável (ZUIDEMA; BOOT, 2002).

Os primeiros estudos envolvendo manejo de PFNMs foram associados ao conceito de exploração florestal sustentável (SANTOS; GUERRA, 2009), em que a floresta deveria manter sua biodiversidade e suas funções ecológicas preservadas, já que a sua utilização iria ser ecologicamente menos destrutiva do que a extração de madeira (MYERS et al., 2000). Para alguns pesquisadores, o manejo de PFNMs em florestas tropicais é considerado uma atividade de baixo impacto (BOOT, 1997; NAKAZONO et al., 2004; MULER et al., 2014), atendendo, desta forma, os objetivos de conservação.

Os PFNMs têm grande importância socioeconômica, especialmente para as comunidades tradicionais. O extrativismo dos PFNMs traz benefícios para as famílias extrativistas, como, por exemplo, amparo as necessidades nutricionais e medicinais, complementação de renda, conservação da biodiversidade, entre outros. Nesse sentido, vários estudos têm sido realizados envolvendo aspectos socioeconômicos dos PFNMs (ANDERSON; IORIS, 1992; REDFORD, 1992; DOVE, 1993; MENDELSON; BALICK, 1995; TEWARI; CAMPBELL, 1996; RUNK, 1998; SALAFSKY; WOLLENBERG, 2000; ARNOLD; RUIZ-PEREZ, 2001; SINHA; BAWA, 2002; SHACKLETON, 2002; ADAM et al., 2013).

Muitos pesquisadores são bastante otimistas em relação ao extrativismo dos PFNMs. De acordo com Ticktin (2005), a colheita de PFNMs representa uma fonte significativa de renda para centenas de milhões de pessoas, e é promovida como uma estratégia de conservação e desenvolvimento em todo o mundo. Outros relatos de extrativismo sustentável de PFNMs são apresentados por Hall; Bawa (1993), Salafsky et al. (1993), Boot; Gullison (1995) e Belcher et al. (2005).

Porém, outros pesquisadores não são tão otimistas em relação ao extrativismo (ARNOLD; PEREZ, 2001; SHEIL; WUNDER, 2002; ALEXIADES; SHANLEY, 2004; ROS-TONEN; WIERSUM, 2005; KUSTERS et al., 2006; ADAM et al., 2013; SHUMSKY et al., 2014). Sheil; Wunder (2002), por exemplo, criticam o entusiasmo e a atenção da comunidade internacional sobre o potencial dos PFNMs, oriundos do extrativismo, em contribuir com os objetivos de desenvolvimento. Para Adam et al. (2013), é limitado o potencial que os PFNMs têm em contribuir com o aumento da renda de famílias rurais, permitindo que estas saiam do nível da pobreza. Isso ocorre em virtude do comércio dos PFNMs ser geralmente complexo e dinâmico, influenciado por um conjunto de fatores inter-relacionados (ALEXIADES; SHANLEY, 2004). Arnold; Perez (2001) alertam ainda para o carácter seletivo da procura do mercado, onde a

distribuição desigual dos não madeireiros dentro de florestas pode tornar a área alterada e degradada.

Segundo Homma (1983), os PFNMs oriundos do extrativismo vegetal seguem um ciclo de vida composto por quatro fases: expansão, estabilização, declínio e plantio racional. Na fase da expansão, a comercialização do produto tem rápido crescimento, pois, o produto ainda é abundante na natureza. Na fase de estabilização há o equilíbrio entre oferta e demanda, com provável elevação de preços, visto que a demanda não é atendida pela capacidade limitada do extrativismo. Para Homma (1990), é nessa fase que o governo deve executar medidas, objetivando o início da produção racional ou a proteção/regulação do setor extrativista de PFNMs.

Passada a fase da produção estável, vem a fase de declínio, que leva ao fim da atividade extrativista comercial (HOMMA, 1990). A fase da produção racional se inicia durante a fase de estabilização da produção extrativista, onde o aumento dos preços leva à domesticação da espécie. Para o sucesso dessa fase ou mesmo para que ela ocorra, faz-se necessário, segundo Homma (1990), a disponibilidade de recursos tecnológicos. É nesse sentido que ressalta-se a importância das pesquisas com os PFNMs de interesse para a geração das tecnologias necessárias para o manejo, proteção ou domesticação das espécies com potencial não madeireiro de interesse.

1.3.3 Quantificação de produto florestal não madeireiro – PFNMs

Embora a madeira seja um dos principais bens fornecidos pelas florestas, o interesse em levantar outros bens, serviços ou produtos, como os produtos florestais não madeireiros (PFNMs), é crescente (ROESCH, 1993). De forma geral, o interesse no uso e no comércio de PFNMs vem aumentando junto à necessidade de mais estudos sobre o manejo sustentável, valoração e quantificação da produção. Segundo Peters (1994), o manejo de um PFNMs deve ser realizado considerando as seguintes etapas: (a) seleção da espécie; (b) quantificação do produto; (c) estudos de produção; (d) avaliação periódica da regeneração; (e) avaliação periódica da extração e (f) ajustes na extração.

A seleção da espécie de interesse geralmente se dá após uso já consolidado por populações locais e a quantificação do produto é obtida a partir de informações sobre a sua densidade, volume ou peso. Determinar ou estimar a quantidade de determinado produto não madeireiro é fundamental para o planejamento do uso sustentável da espécie. Em geral, a obtenção da quantidade do produto se dá por meio do uso de

técnicas de amostragem e de modelos de produção, considerando que, em função da extensão das florestas, a realização do censo é normalmente inviável.

1.3.3.1 Amostragem de PFNMs

Pesquisas com amostragem de espécies não madeireiras ainda são escassas e a maioria dos trabalhos publicados é de pouca consistência estatística, pois, a grande variabilidade das espécies com potencial não madeireiro, bem como de seus produtos, impede a padronização de metodologias de amostragem (WONG et al., 2001). Além disso, há dificuldades de padronização nas variáveis a serem medidas no levantamento (TICKTIN, 2004), pois, a estrutura coletada é diferente para cada espécie de interesse.

Mas, alguns trabalhos com PFNMs de maior interesse, já vêm sendo desenvolvidos. Farias (2012), por exemplo, verificou que em inventários florestais de PFNMs, pode ser necessário utilizar mais de um tamanho de parcela amostral para obter estimativas precisas. Rigamonte-Azevedo (2004), avaliou a estrutura populacional, o potencial de produção e a qualidade física do óleo-resina de populações naturais de *Copaifera* spp em diferentes localidades e utilizou o procedimento de transectos, agrupando os indivíduos em classes de desenvolvimento. Scoles (2010) e Rocha (2004) também utilizaram transectos para amostrar PFNMs de castanha do Brasil e *Euterpe precatoria* Mart, respectivamente.

Parcelas retangulares foram utilizadas por Hoffman (1997), Plowden (2001), Morais (2008) e Silva (2009) para amostrar PFNMs de espécies do gênero *Heteropsis* e, por Zuidema; Boot (2000), para amostrar açaí. Plowden (2001) utilizando parcelas de 250m², apesar de não reportar os valores de erro amostral em seu estudo, verificou estreito intervalo de confiança em torno da média, confirmando a hipótese de Machado (2008), de que, ao delimitar as áreas de coleta ou áreas de produção, é possível obter estimativas com erros amostrais reduzidos utilizando unidades amostrais menores.

Stockdale (2005), com base em trabalhos realizados no sul e sudeste da Ásia, recomenda que, para algumas espécies, as parcelas devem ser grandes o suficiente para incluir, no mínimo, 3 ou 4 plantas de uma espécie, como é o caso da amostragem de ratam. Para Schreuder et al. (1993), outro problema de utilizar parcelas grandes na amostragem de PFNMs é de ordem estatística, pois, geralmente são alocadas poucas parcelas e, portanto, haverá redução dos graus de liberdade para os cálculos do intervalo de confiança e do erro amostral. Uma solução seria o inventário 100%, que foi utilizado, por exemplo, para amostrar castanha do Brasil por Salomão (2009) e para amostrar

epífitas por Benavides et al. (2005). Contudo, segundo Husch et al. (2003), a amostragem pode resultar estimativas mais confiáveis que o censo, pois, a supervisão dos trabalhos em campo é mais efetiva.

Tonini (2013) avaliou o tamanho da unidade amostral necessário para estimar a produção individual e populacional de árvores de castanheira do Brasil e concluiu que a amostragem contínua, estratificada pelo diâmetro à altura do peito em seis estratos, e a alocação proporcional ao número de árvores na classe diamétrica foram os procedimentos de amostragem mais indicados. Esse autor também verificou que para quantificar a castanha, ou seja, para estimar a produção de uma árvore a 1% de probabilidade, é necessário amostrar, em média, 97% dos frutos e, para o limite de erro de 10%, é necessário amostrar 33% dos frutos.

Plowden et al. (2001), Kainer et al. (2007), Pena (2007), Medeiros; Vieira (2008) e Wadt (2008) apresentam homogeneidade nas metodologias utilizadas para avaliação de PFNMs, pois, consideram cada indivíduo da espécie estudada como sendo uma amostra. Cotzoyay (1996) avaliou o tamanho e a forma de parcelas para amostragem de Xate (*Chamaedorea* spp.) e Bayal (*Desmoncus* spp.). Stockdale; Wright (1996) avaliaram tamanho e forma de parcelas para amostragem de espécies de Rattan com base na fixação do erro amostral admissível e na escolha da parcela que resultasse em menores custos no inventário florestal. Evans; Viengkham (2001) avaliaram tamanhos e formas ótimas de parcelas para inventário e monitoramento de *Calamus poilanei* com base nos resultados de coeficiente de variação, erro amostral e tempo.

Machado (2008) sugere a realização do levantamento etnobotânico e do mapa mental, para amostrar espécies com potencial não madeireiro. No levantamento etnobotânico são colhidas informações das pessoas envolvidas na área sobre o local de ocorrência da espécie de interesse, e, no mapa mental é feito um croqui da área que informa sobre a localização das espécies de interesse.

Em geral, qualquer inventário florestal direcionado à quantificação do estoque de uma única espécie, resulta em estimativas com baixa precisão quando essa não é abundante (MACHADO, 1988; UBIALLI et al., 2007; CAVALCANTI et al., 2011) ou quando apresenta padrão de distribuição espacial agregado. Grande parte das espécies florestais com potencial não madeireiro apresenta padrão de distribuição espacial agregado (ALENCAR, 1984; FREITAS, 2001; RESENDE et al., 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004; CABRERA; WALLACE, 2007; SALOMÃO, 2009), como é o caso

do pequi (BRUZINGA et al., 2013). Neste tipo de distribuição, a quantificação da espécie torna-se mais complicada, devido à dificuldade de encontrar os aglomerados pelos métodos de amostragem tradicionais, os quais configuram a distribuição das unidades amostrais de forma aleatória ou uniforme.

Para populações com essas características, a amostragem adaptativa é indicada, pois, permite incrementar a eficiência da amostragem (SOARES et al., 2009) e melhora a precisão dos estimadores, pois, incorpora características inerentes à população (THOMPSON; SEBER, 1996). A amostragem adaptativa cluster (AAC) (REIS; ASSUNÇÃO, 1998; BROWN, 2003; BRUZINGA et al., 2014), que foi introduzida por THOMPSON (1990), vem sendo testada em populações vegetais com padrão de distribuição espacial agregada, por meio de simulações. De acordo com esse método, se os elementos da população amostrada forem encontrados em uma unidade amostral, as unidades vizinhas terão maior probabilidade de possuírem elementos dessa população se o seu padrão de distribuição for agregado.

No esquema da AAC, um conjunto de unidades amostrais (unidades iniciais) é selecionado por algum procedimento probabilístico, e, sempre que a variável de interesse é observada nessas unidades iniciais, as unidades vizinhas também são investigadas (THOMPSON, 1990). Unidade vizinha é aquela que tem pelo menos um lado em comum com uma unidade na qual a variável de interesse foi observada (KREBS, 1999). A investigação somente é cessada quando nas unidades vizinhas não for mais observada a variável de interesse, formando então o *cluster*, sendo um para cada unidade inicial selecionada. A variável de interesse refere-se à condição (C), que é a condição a ser atendida na unidade amostral i , para proceder a investigação nas unidades vizinhas. Um exemplo hipotético é apresentado na Figura 1.1.

Dentro de cada *cluster*, forma-se uma subcoleção de unidades, chamada rede, que são aquelas que atenderam a condição de inclusão C , com a propriedade de que a seleção de uma unidade dentro da rede levará à inclusão de todas as unidades dessa rede (REIS; ASSUNÇÃO, 1998). A unidade que não atende a condição, mas, está na vizinhança de uma unidade que atende, é chamada de unidade de fronteira. Enquanto a seleção de uma unidade na rede resulta na inclusão de todas as unidades dessa rede e de todas as unidades de fronteira, a seleção de uma unidade de fronteira não resulta na inclusão de outras unidades.

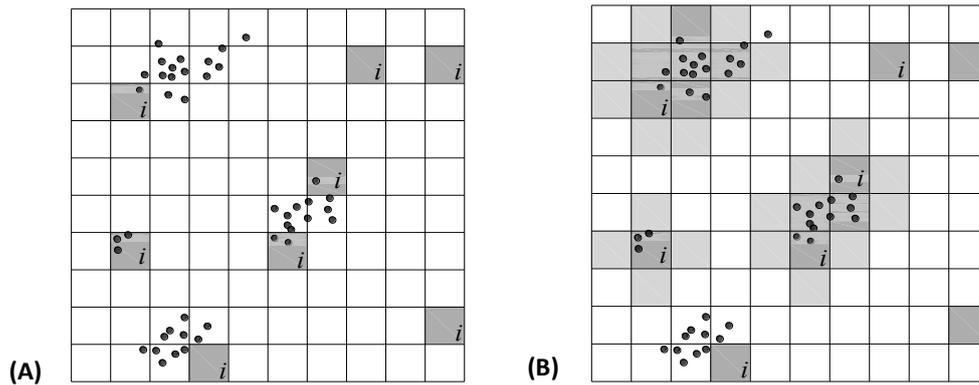


Figura 1.1. Representação do processo de amostragem pelo método da AAC, com condição $C = 1$; (A) Unidades sorteadas em uma amostra inicial aleatória, representadas pela quadrícula preenchida com a cor cinza escuro, nomeada pela letra i ; (B) Clusters formados a partir da seleção da unidade i , onde as unidades de cor cinza escuro representam a rede, que são as unidades que atenderam a condição C , e as de cor cinza claro as unidades de fronteira.

Num inventário florestal, a condição de inclusão C pode considerar apenas a presença de indivíduo(s) da espécie de interesse (BRUZINGA et al., 2014), ou pode ainda considerar aspectos multivariados, exigindo a observação de outras variáveis na condição de inclusão (THOMPSON, 1990). Assim, conhecendo a relação entre produção de frutos e variáveis morfométricas, pode-se incluir tais variáveis na AAC com aspectos multivariados. Por exemplo, se a produção de frutos de determinada espécie estiver correlacionada com o diâmetro de copa, inclui-se essa variável na condição de inclusão dessa amostragem, o que pode ser uma alternativa eficiente para amostragem de PFNMs que ocorrem de forma agregada.

Horvitz; Thompson (1952) apresentaram um estimador para a média da qual derivou todos os demais estimadores para esse procedimento de amostragem. Conforme os autores, primeiramente é preciso definir quais são as probabilidades de seleção para cada unidade de amostra i . Primeiramente é preciso definir quais são as probabilidades de seleção para cada unidade de amostra. Conforme os autores, a probabilidade de seleção da unidade i pode ocorrer de duas formas:

$$E_i(i) = \{\text{uma unidade da rede da qual } i \text{ faz parte ser selecionada na amostra inicial}\}$$

$$E_i(i) = \{i \text{ ser uma unidade de fronteira para determinado cluster}\}$$

Outras definições importantes são a_i , que representa o número total de unidades da rede, sendo i , uma unidade de fronteira, e m_i , que representa o número de unidades da rede em que i faz parte.

No exemplo da Figura 1.1 (B), o valor de a_i para a unidade i da última linha, seria igual a 4, porém, no final desse processo de amostragem somente m_i é conhecido, já que o valor de a_i só poderá ser conhecido pelo censo da área, pois, não se tem o controle se existe outra rede da qual i seja unidade de fronteira.

Affonso (2008), descreve a probabilidade de inclusão de uma unidade na amostra em que $E_1(i) \cup E_2(i)$, cujo complementar (c) é $E_1(i)^c \cup E_2(i)^c$. Assim, o número de possibilidades que satisfaz $E_1(i)^c \cup E_2(i)^c$ é $\binom{N-m_i-a_i}{n_1}$, em que N é o número de unidades cabíveis e n_1 é o número de unidades na amostra. Assim tem-se a probabilidade de seleção de um elemento:

$$\pi_i = 1 - \left[\frac{\binom{N-m_i-a_i}{n_1}}{\binom{N}{n_1}} \right]$$

Com essa teoria, Horvitz; Thompson (1952) propuseram o seguinte estimador para a média populacional da amostragem:

$$\hat{\mu}_{HT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_i I_i}{\pi_i}$$

Em que y_i é a variável de interesse detectada na parcela I_i .

Contudo, como não se conhece a_i , os autores o desconsideram no processo de estimação, ou seja, na amostragem será considerada uma amostra de n_1 redes e não de n_1 clusters. Então refazendo os estimadores, os autores chegaram em uma nova probabilidade e em um novo estimador da média:

$$\pi'_i = 1 - \left[\frac{\binom{N-m_i}{n_1}}{\binom{N}{n_1}} \right] \quad \hat{\mu}_{HT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_i I'_i}{\pi'_i}$$

Para demonstrar a teoria do cálculo da variância, Horvitz; Thompson (1952) usam uma nova notação de modo que ao invés de N unidades tenha-se K redes distintas, onde xk é o número de unidades na rede k . Portanto, a média passa a ser descrita da seguinte forma:

$$\hat{\mu}_{HT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_i I'_i}{\pi'_i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{xk} \frac{y_i I'_i}{\pi'_i}$$

Nesse caso, os autores colocam a probabilidade de seleção de uma unidade i como sendo igual na mesma rede k , ou seja, dentro da mesma rede todas as unidades possuem uma probabilidade α de serem selecionadas, e, dentro da rede k , I_i' é a mesma para todas as unidades (HORVITZ; THOMPSON, 1952). Os autores passam então a chamar a função indicador de J_k :

$$\hat{\mu}_{HT} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{xk} \frac{y_i I_i'}{\pi'_i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{xk} \frac{y_i I_i'}{\alpha_k} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \frac{y_k j_k}{\alpha_k} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \frac{y_k}{\alpha_k}$$

Em que $y_k = \sum_{i=1}^{xk} y_i$, k é o número de redes selecionadas e $\alpha_k = 1 - \left[\frac{\binom{N-x_k}{n_1}}{\binom{N}{n_1}} \right]$

Affonso (2008) calculou a esperança do estimador proposto para verificar que tal estimador é não-viesado:

$$E(\hat{\mu}_{HT}) = E\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \frac{y_k j_k}{\alpha_k}\right) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k \frac{y_k}{\alpha_k} E(j_k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k y_k = \mu$$

Em que $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$

Assim, conforme Horvitz; Thompson (1952), um estimador não enviesado para a variância da média populacional pode ser dado por:

$$\hat{Var}(\hat{\mu}_{HT}) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{y_j y_k}{\alpha_j \alpha_k} (\alpha_{jk} - \alpha_j \alpha_k) j_j j_k = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{y_j y_k}{\alpha_j \alpha_k} (\alpha_{jk} - \alpha_j \alpha_k)$$

1.3.3.2 Modelagem da produção de PFNMs

A modelagem aqui tratada se refere não somente à determinação dos parâmetros de modelos de produção, mas, também, a detecção de fatores influenciando a produção, sejam variáveis da espécie, sejam fatores ambientais. Visto que a detecção dessa relação é a base para construção de equações de produção.

Alguns autores modelaram a produção do fruto da *Bertholletia excelsa*, a castanha do Brasil, considerado o PFNMs mais conhecido e solidamente estabelecido nos mercados doméstico e de exportação, constituindo-se na única colheita de sementes comercializadas internacionalmente que é feita exclusivamente em florestas tropicais primárias (PETERS, 1994; CLAY, 1997; PERES et al., 2003). Tonini et al. (2008) modelaram a produção da castanha do Brasil, por meio de análise de regressão linear (procedimento “stepwise”). Os autores relacionaram a produção com características morfométricas da copa e índices de competição, e verificaram que as árvores mais

produtivas foram aquelas com posições superiores no dossel, com copas bem formadas, mais compridas e com menor relação altura/diâmetro, contudo, os índices de competição utilizados tiveram pouco efeito sobre a produção de sementes.

Ivanov (2011) também modelou a produção de frutos e sementes da castanha do Brasil, a partir da relação da produção com precipitação, variáveis do solo, variáveis quantitativas (dendrométricas) e qualitativas da árvore, índices de competição, área de alburno, classes de tamanho e agrupamento dos vasos. A partir da equação gerada, o autor observou que árvores com mesmo número de frutos geram produções de sementes (em quilos) com diferenças significativas, e árvores com menor afilamento e com copa completa produzem mais sementes.

Kainer et al. (2007) modelaram a produção da castanha do Brasil e verificaram que o modelo selecionado explicou 73% da variabilidade da produção de frutos; apenas o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) explicou mais de 50% da variabilidade da produção; as árvores com diâmetro próximo ao diâmetro médio produziram mais; as árvores mais produtivas estavam dispostas mais aleatoriamente no espaço e a capacidade de troca catiônica e o fósforo (P) também explicaram a variação da produção.

Medeiros; Vieira (2008) modelaram a produção de outro importante PFMN, o óleo de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne). Os autores relacionaram a produção de óleo com o DAP, o intervalo de coleta, o teor de argila do solo, a competição e a infestação de cupins e verificaram que a produção foi positivamente correlacionada com DAP. Rigamonte-Azevedo (2004), também avaliaram o efeito de diversos fatores (ambiente edáfico, tipologia florestal, tipo de copa, DAP) na produção do óleo de copaíba e concluíram que nenhum dos fatores analisados foi determinante para qualquer uma das características físicas do óleo-resina de copaíba.

Buzin (2009), considerando a importância das diversas interações existentes em meios de produção que atingem os fatores biológicos, sociológicos e mercadológicos, desenvolveu um sistema de modelagem e simulação da produção de pequi no território Kalunga de Goiás utilizando a metodologia *system dynamics*, que visa entender, a partir de modelos quantitativos e qualitativos, como um sistema evolui no tempo (COYLE, 1996; MASUDA; FIGUEIREDO, 2001). A análise de sustentabilidade foi aplicada a um conjunto de indicadores que consideraram os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos da região estudada. O autor concluiu que a implementação de um projeto de produção de pequi é um empreendimento lucrativo e sustentável em todos os aspectos considerados.

Maselli et al. (2012) apresentaram uma proposta de modelagem da produção de frutos de oliveira (*Olea europaea*) pelos processos de fotossíntese e respiração na região central da Itália. Os autores utilizaram dados de sensoriamento remoto para extração do índice de vegetação NDVI (índice por diferença normalizada) (ROUSE et al., 1973), combinados com dados meteorológicos, usados no modelo paramétrico modificado (C-Fix) o qual permitiu a predição da produção primária bruta diária de oliveira por dez anos (2000-2009). Estas estimativas em conjunto com as estimativas de respiração, foram usadas no modelo bio-geoquímico (BIOME-BGC) para simular a produção primária líquida de oliveira. O qual se mostrou parcialmente capaz de captar a variabilidade da produção na região estudada.

Lashley et al. (2014) avaliaram métodos para estimativa da biomassa de frutos em um sub-bosque de pinus na região da Carolina do Norte nos EUA. Os autores concluíram que a contagem visual dos frutos é um método mais preciso que os métodos da contagem de semente no chão, da estimativa da cobertura de copas e a da contagem das hastes. Após verificar que o método da contagem visual é o mais preciso os autores avaliaram qual a intensidade de amostragem seria e mais eficiente, concluindo que 0,8% é a intensidade ideal.

Peters et al. (2011) avaliaram a diferença na produção de óleo de 4 espécies de *Copaifera* sp., utilizando testes binômias, (qui-quadrado) e o modelo de regressão logístico. Como variáveis explicativas utilizaram a espécie, o diâmetro do tronco, o tipo de floresta e elevação do terreno. A probabilidade das árvores produzirem foi determinada pela principalmente pela espécie.

Pando-Moreno et al. (2005) construíram uma tabela para prever a produção de fibra seca de *Agave lecheguilla* utilizando equações de regressão polinomial quadrática. A estimativa gerada foi precisa para a produção local.

Dantas et al. (2014) avaliaram a produção de frutos de *Attalea excelsa*, visando facilitar a definição dos estoques disponíveis para gerar estratégias de manejo e conservação da espécie. Os autores monitoraram a produção e mesuraram o comprimento, diâmetro e massa dos cachos e dos frutos e o rendimento da bráctea, endocarpo, mesocarpo e pirênio dos frutos. Para estimativa da produção os autores utilizaram análises de agrupamentos, correlações e estatística descritiva o que permitiu distinguir de cinco a sete grupos de matrizes distintas em relação à produção.

Segundo Paludo et al. (2012), a escassez de informações sobre os PFNMs constitui um dos motivos pelos quais muitas espécies da Mata Atlântica continuam

subutilizadas. Os autores propõem então uma metodologia para tornar comparáveis trabalhos sobre produção de frutos da palmeira *Euterpe edulis* (palmitero), por indivíduo. Por meio de regressões lineares os autores geraram equações para estimativas de produção de infrutescências maduras. Com base na observação da produção em dois anos, foi observado um ano com maior e um com menor produtividade. Com base nas equações obtidas foi possível estimar a produção de frutos apenas conhecendo a densidade de indivíduos por área e o diâmetro mínimo de inclusão de indivíduos utilizado no inventário.

Os demais trabalhos encontrados na literatura que buscaram estimar a produção de não madeireiros, frutos principalmente, utilizaram métodos para estimativa local, sem e intenção de modelar a produção e com baixa precisão (LASHLEY et al. 2014). As técnicas comumente utilizadas foram as armadilhas para coleta de frutas colocadas acima do solo florestal, monitoramento das árvores de interesse e a observações de cobertura do dossel (SMYTHE, 1970; SCHUPP, 1990; PERES, 1994; BORCHERT, 1998; GALETTI; ALEIXO 1998, CHAPMAN et al., 1999; WRIGHT et al., 1999; SCHAEFER et al., 2002; SILVIUS; FRAGOSO, 2003). Nesse sentido Robbins e Matthews (1974) já alertavam que o interesse nos PFNMs iria crescer e que a estimativa da produção de tais produtos não poderia ser apenas especulativa. E hoje ainda são raros os estudos que buscam desenvolver técnicas de estimativa da produção de forma precisa, onde a maioria dos estudos, como apresentado, tem sido realizados para inferência local.

1.3.4 *Caryocar brasiliense* Cambess.

O pequiizeiro, *Caryocar brasiliense* Cambess., é uma árvore típica do bioma Cerrado (SILVA et al., 1994; ALMEIDA, 1998; RATTER et al., 2003), cujo gênero com 16 espécies juntamente com o gênero *Anthodiscus*, com 10 espécies, formam a pequena família Caryocaraceae, que ocorre na América do Sul e América Central (MAIA et al., 2008). A espécie está presente em mais de 50% da área nuclear do Cerrado (RATTER et al., 2003) e vários autores a classificam como uma das espécies mais importantes e úteis do bioma, principalmente devido ao seu papel ecológico e econômico (ALMEIDA et al., 1998; CORREA et al., 2008; MELO JR. et al., 2012; MOURA et al., 2013).

Oliveira (1988) descreve a ocorrência de *C. brasiliensis* no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e na parte alta do Estado de São Paulo. Estes são os estados de maior ocorrência da espécie (ALMEIDA et al., 1998). Gribel; Hay (1993) acrescentam a ocorrência da espécie desde o sul do Pará, ao longo da borda da Região Amazônica, até o Paraná e o Paraguai. Lima et al. (2007) e Correa et al. (2008) descrevem a ocorrência no Piauí, Ceará e Maranhão. Fora do bioma Cerrado, a espécie já foi encontrada em zonas de ecótonos com a Mata Atlântica e com a Caatinga (COLLEVATI et al., 2003).

Trata-se de uma espécie caducifólia (VILELA et al., 2008), com flores hermafroditas, polinizadas por pequenos morcegos *glossophagine* (GRIBEL; HAY, 1993; COLLEVATTI et al., 2001). Apresenta raízes profundas e pivotantes e desenvolve-se sobre ambientes pobres em nutrientes minerais e com elevado teor de alumínio, tendo ocorrido em todas as classes de solos estudadas por Naves (1999), como Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho, Cambissolo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Litólico.

Segundo França et al. (2014), em um trabalho realizado em Brasília-DF, o pequiheiro apresenta reposição da copa de maneira uniforme ao longo do ano e a duração das noites (noite mais curtas) tem influência positiva em sua brotação. Já Magalhães (2013), observaram perda de folhas entre maio e agosto, na região do Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais. Fagundes et al. (2007), na região do norte de Minas Gerais, observaram que a queda de folhas ocorreu durante todo o ano com picos mais intensos nos meses de agosto e setembro e entre fevereiro e março. Segundo estes autores esse evento é bianual, divergindo de Pirani et al. (2009), que definem o evento como sendo anual.

Já Pirani et al. (2009), para uma área de cerrado sentido restrito em Mato Grosso, detectaram que o referido evento ocorreu de abril a outubro com maior intensidade entre julho e agosto. De acordo com Vilela et al. (2008), a senescência e a queda foliar, provavelmente, estão relacionadas com o início da estação seca, quando ocorre um aumento da evapotranspiração, ou seja, a perda de folhas no período seco constitui um fator de economia hídrica para as plantas, e os baixos índices de umidade estimulam a abscisão foliar (BORCHERT et al., 2002).

Em relação à floração, a luminosidade e a precipitação são os melhores preditores dessa fenofase. Vilela et al. (2008), registraram brotações de *Caryocar brasiliense*, ao longo de quase todo o ano, no Sul de Minas, com exceção dos meses de

junho e julho. A maior frequência de brotação ocorreu na transição entre os períodos de seca e chuva. No estudo desenvolvido por Françaço et al. (2014) não foi observada perda total das folhas em *C. brasiliense*, porém essa espécie é considerada caducifólia por outros autores (VILELA et al., 2008). O período de floração registrado por Françaço et al. (2014) coincide com o relatado por Silva-Júnior (2005) e Vilela et al. (2008), que relataram que o período de floração de pequi em áreas de Cerrado ocorre entre os meses de junho a janeiro.

O fruto (o pequi) é drupóide, de cor verde, depresso-globoso, com epicarpo coriáceo-carnoso, contendo de um a quatro putâmens (CORREA et al., 2008), envolvidos pelo mesocarpo amarelo-claro e carnosos (BERNARDES et al., 2008). O endocarpo é constituído por espinhos, alojando uma semente (amêndoa) composta por dois cotilédones de massa branca, oleosa e adocicada (CORREA et al., 2008). A espécie apresenta deiscência com elevada heterogeneidade em relação ao número de frutos produzidos por planta (SILVA et al., 2001). Segundo Vilela et al. (2008), a partir da antese e polinização, os frutos levam entre três e quatro meses para atingirem a maturação.

A produção de frutos, no geral, é sazonal, com safra entre os meses de novembro e março (período chuvoso), dependendo da região (LORENZI, 2000; PROENÇA et al., 2000; SILVA JR., 2005; LEITE et al., 2006; VILELA et al., 2008; PIRANI et al., 2009; FRANÇAÇO et al., 2014).

Na região do Vale do Jequitinhonha, MG, onde está localizada a área do presente estudo, a frutificação é sazonal, com as datas médias coincidindo com o período chuvoso (MAGALHÃES, 2013), ou seja, de novembro a março. Dentro desse intervalo, Magalhães (2013) observou diferenças entre localidades próximas: de dezembro a janeiro em Diamantina-MG; janeiro a fevereiro, em São Gonçalo do Rio Preto (local da área de estudo) e de maio a junho, em Itamarandiba-MG. Nessa região, o fotoperíodo e a temperatura apresentaram correlação com os frutos maduros e o elemento meteorológico que mais influenciou a dispersão foi a precipitação (MAGALHÃES, 2013).

O padrão reprodutivo de *C. brasiliense* coincide com o observado em espécies sempre-verdes, que florescem na seca e produzem pequenas quantidades de sementes grandes em frutos carnosos (FIGUEIREDO, 2008), que são mais abundantes no período chuvoso (BATALHA; MANTOVANI, 2000). Ainda sobre a ecologia da espécie,

Fagundes et al. (2007) detectaram que o pequi apresenta melhor desenvolvimento vegetativo em habitats em estágios iniciais de sucessão.

A madeira é de boa qualidade com elevado potencial econômico (GRIBEL; HAY 1993; CARVALHO et al., 1994), porém, a parte mais utilizada da planta são os frutos (ALVES et al., 2010). A polpa do pequi de sabor exótico e aroma forte característico é muito apreciada pela população de vários estados do norte, nordeste, centro-oeste (ALMEIDA et al., 1998) e sudeste. Nessas regiões, a polpa é usada como tempero no preparo de arroz, frango, carnes, na fabricação de doces caseiros e licores (LIMA et al., 2007), sucos, sorvetes, geleia e in natura (ROESLER et al., 2008). O óleo da fruta é de excelente qualidade (RIBEIRO, 2000) e também desperta interesse pelo potencial que tem para fabricação de biodiesel, além de muitos outros usos. Portanto, o pequi possui grande potencial para produção não madeireira (RATTER et al., 2003).

Segundo Afonso; Ângelo (2009), do ponto de vista do crescimento da produção e do preço, o pequi é o principal produto florestal não madeireiro (PFNMs) do Cerrado. Dentre 25 PFNMs estudados por Almeida et al. (2009), o pequi e a piaçava foram os únicos produtos caracterizados por um aumento da demanda. Recentemente, a espécie ganhou mais uma importância econômica, com a exportação de seus frutos para a Austrália (ALVES et al., 2010; RODRIGUES et al., 2015). Diante disto, o Governo Federal definiu o preço mínimo da fruta in natura para regulamentar a sua comercialização (GIROLDO; SCARIOT, 2015).

Em alguns estados brasileiros, a participação do pequi na renda de pequenos agricultores é expressiva. No norte de Minas Gerais, por exemplo, a extração e a comercialização da fruta podem representar até 50% da renda anual dos trabalhadores locais (LOPES et al., 2003). Os frutos comercializados são quase que em sua totalidade provenientes de atividade extrativista (MOURA et al., 2013). A lei que impede seu corte em todo o território nacional (Portaria N° 54, de 05/03/1987 - IBDF), não regula, entretanto, a coleta dos frutos, ficando suas populações expostas a diferentes níveis de colheita (OLIVEIRA; SCARIOT, 2010).

Na contramão do extrativismo e graças à iniciativa de alguns agricultores pioneiros, já começaram a surgir alguns plantios da espécie (LEÃO et al., 2012), porém, com pouco apoio das pesquisas. Os estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, atuam como vanguarda desses plantios iniciais, havendo grande demanda por mudas de pequizeiros nessas regiões (SOUZA et al., 2007). Esses fatos têm encorajado algumas

pesquisas na busca de mais conhecimentos sobre a espécie, principalmente em relação às propriedades químicas de seus componentes.

Pesquisadores, detectaram altos teores de β -caroteno ($11,4\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) no pequi em relação às demais frutas brasileiras (RIBEIRO, 2000; OLIVEIRA et al., 2006; LIMA et al., 2007; ROSSO; MERCADANTE, 2007; RODRIGUES et al., 2009; ALVES et al., 2010). Outros carotenoides também foram encontrados como a violanxantina, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, neoxantina (AZEVEDO; RODRIGUEZ, 2004), anteraxantina, zeaxantina, criptoflavina (RAMOS et al., 2001) e o licopeno (OLIVEIRA et al., 2006). A importância dos carotenoides na nutrição humana é sua atividade como precursor da vitamina A (ALVES et al., 2010).

Os teores de proteína também merecem destaque (SILVA et al., 1994; OLIVEIRA et al., 2006). Conforme tabela de composição química dos alimentos (FRANCO, 1982), dos frutos tropicais, o teor proteico do pequi só está abaixo do coco da Bahia. Como fonte de vitaminas destaca-se a vitamina C (RODRIGUES et al., 2009; SANTOS et al., 2010) com teor superior ao encontrado na laranja (FRANCO, 1982). O pequi também é rico em riboflavina, tiamina e provitamina “A” (FACIOLI; GONÇALVES, 1998). O teor de provitamina “A” chega a ser vinte vezes superior ao encontrado na cenoura (RIBEIRO, 2000). Os teores de lipídios também são altos, comparáveis aos encontrados na macaúba, babaçu e abacate (CARVALHO; BURGER, 1960; CORDEIRO et al., 2013). O pequi também possui altas taxas de carboidratos, fibra alimentar e compostos antioxidantes (SANO; ALMEIDA, 1998; PAULA JR. et al., 2006; LIMA et al., 2007; KHOURI et al., 2007; ROESLER et al., 2008; RODRIGUES et al., 2009).

As propriedades químicas e os métodos de extração do óleo do pequi, um subproduto da polpa e da semente, também já foram investigados (MARIANO et al., 2009; GEÖCZE et al., 2013). Segundo Oliveira et al. (2006), o óleo é de excelente qualidade já que a sua maior parte ser constituída por ácidos graxos insaturados. Tal fato tem despertado o interesse da indústria farmacêutica (ALVES, 2004), com recentes pesquisas sendo realizadas pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais. Características como boa clareza, aroma delicado e alta capacidade de ser absorvido pela pele, também asseguram a aplicabilidade do óleo na indústria cosmética, especialmente na produção de hidratantes, sabonetes, cremes e xampus (ARAÚJO, 1995; ALMEIDA et al., 1998; PIANOVSKI et al., 2008; FARIA et al., 2014).

Outra importante aplicação do óleo do pequi é na fabricação de biocombustível (ANTUNES et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008). Tanto a polpa quanto a amêndoa do fruto apresentam alta concentração de ácido C18:1, que é considerado um dos mais recomendados para produção de biodiesel (PINZI et al., 2009). Estudos realizados por Mariano et al. (2009), Borges et al. (2012), Prado et al. (2012) e Silva et al. (2014) demonstraram que as propriedades físico-químicas do óleo são satisfatórias para fabricação do biodiesel, conforme normas da Agência Nacional de Petróleo, que autorizou a mistura de 5% desse biocombustível no óleo diesel. A mistura foi testada com sucesso em carros da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Diamantina/MG) e da USP (Ribeirão Preto/SP) (TRINDADE et al., 2003).

Várias outras pesquisas visando o melhor uso do fruto (RAMOS et al., 2001; ALVES et al., 2008; RABÊLO et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2012), e dos extratos (MAIA et al., 2008; ROESLER et al., 2008; AQUINO et al., 2009; LIMA et al., 2010; LONDE et al., 2010; AGUILAR et al., 2011; MACHADO et al., 2015) também foram desenvolvidas.

Para o armazenamento do fruto, Vilas Boas et al. (2012) afirmam que 12 meses é microbiologicamente seguro. Contudo, Oliveira et al. (2006) recomendam um período de 6 meses. Ambos os estudos sugerem que sejam atendidos vários pressupostos. Por exemplo, Alves et al. (2010) recomendaram a combinação de sacarose e etanol para preservação da poupa. Para o consumo in natura, Oliveira et al. (2006) detectaram que o tempo de três dias entre a coleta e o consumo favorece a qualidade nutricional da polpa.

Em relação ao uso dos extratos, Soares et al. (2002) demonstraram que os extratos da polpa apresentam significativa interferência sobre a curva de parasitemia do *Trypanosoma cruzi*. Lopes et al. (2011) observaram importantes metabólitos secundários nas folhas do pequi com potencial para combate à esquistossomose. Paula Jr. et al. (2006) demonstraram capacidade antioxidante, efeito leishmanicida e bactericida do extrato das folhas e Pinho et al. (2012) detectaram atividade antimicrobiana no extrato da casca.

Diversas propriedades medicinais foram atribuídas aos extratos do pequi, como a atividade antifúngica (PASSOS et al., 2002), expectorante (ALMEIDA et al., 1998), tratamento de edemas e queimaduras (VIEIRA; MARTINS, 2000), atividade sequestradora de radicais livres (ROESLER et al., 2007) e inibição de tumores (VILELA et al., 2011). Na medicina popular, o óleo dos frutos e as folhas são usados no

tratamento de resfriado, tosse, bronquite, edema, queimaduras, asma e doenças bronco pulmonar (PROENÇA et al., 2000). Os frutos são ainda considerados afrodisíacos para os homens e fortificante para as mulheres grávidas (KERR et al., 2007).

Quanto à produção de mudas de pequi, algumas hipóteses têm sido investigadas visando detectar as causas da dormência de suas sementes. Alguns pesquisadores atribuem tal dormência a alguns fatores, como, o tegumento rígido da semente que exerce resistência mecânica à expansão do embrião (OLIVEIRA, 2002); a liberação de substâncias inibidoras de germinação, ou, a presença destas substâncias inibidoras no tegumento (MARCOS FILHO, 2005). Nesse sentido, Souza et al. (2007), Bernardes et al. (2008) e Leão et al. (2012) observaram a eficiência do ácido giberélico na quebra de dormência e emergência das mudas. Os últimos autores recomendam a utilização de 500 mg L do ácido giberélico para minimizar a dormência. O ácido também teve efeito positivo na qualidade e fitossanidade dos alporques de pequi (SANTOS et al., 2006; LEITE et al., 2007).

A germinação das sementes é lenta com índices variando de 2,5 a 68,4%, (PEREIRA et al., 2000), o que pode dificultar a produção de mudas elevando o custo de produção e, principalmente, limitando o planejamento de plantios definitivos (SILVA et al., 2004). Heringer (1970) obteve 45% de germinação cerca de 12 meses após sementeira. Carvalho et al. (1994) observaram a germinação após o nono mês da sementeira e Silva (1989) obteve 30% de germinação 60 dias após sementeira. Já Araújo (1994), observou que o início da germinação pode ocorrer com 40 dias após a sementeira das sementes.

Souza et al. (2007), estudando a propagação sexuada de pequizeiro e o efeito da procedência de frutos na emergência de plântulas, não observaram variação entre as procedências dos frutos, tanto na germinação quanto no índice de velocidade de emergência. Os autores também observaram que as sementes de pequi mesmo sem tratamentos adicionais, apresentam índices de emergência acima de 20%. Por outro lado, a sementeira de putâmens (com a polpa), sem tratamento adicional, praticamente inviabiliza a produção de mudas.

Em relação à micropropagação do pequizeiro, Santos et al. (2006), observaram que a benzilaminopurina no meio de cultivo é eficaz na indução de brotações em segmentos nodais de pequizeiro. Observaram também que o uso do ácido indolbutírico na concentração de 3,0 mg L e do carvão ativado, favorece a indução e o desenvolvimento de raízes em brotações de pequizeiro.

Quanto à produção de mudas, Carvalho et al. (2008), em estudo preliminar, verificaram que a semeadura deve ser feita diretamente em recipiente, uma vez que essa espécie não sobrevive à repicagem. Segundo os autores, as mudas devem permanecer cerca de 1 ano em viveiro, para atingir porte adequado para o plantio. A espécie é heliófila, necessita de podas de condução e de galhos, apresenta brotação vigorosa da touça após corte, podendo ser manejada pelo sistema de talhadia, sendo recomendada para sistemas agroflorestais (CARVALHO et al., 2008).

Devido a insuficiência de informações técnicas para o cultivo do pequi, pouco se sabe sobre as doenças que podem atingir a planta. De acordo com Rigueira, (2003), o fungo *Cylindrocladium clavatum* pode atacar as raízes das mudas, e, alguns sinais iniciais do aparecimento e contaminação pelo fungo são desenvolvimento irregular da planta e amarelecimento e queda das folhas. Para solucionar esse problema, recomenda-se evitar acúmulo de água e excesso de sombra sobre as mudas (EMBRAPA, 2009). Na fase adulta já se sabe que o fungo *Botryodiplodia theobromae* pode causar a morte do indivíduo, sendo o sintoma inicial a secagem dos ramos, chegando a atingir os galhos (RIGUEIRA, 2003). Para controlar a doença é recomendado o corte e queima dos galhos secos (EMBRAPA, 2009).

Quanto aos frutos, Lopes et al. (2003) verificaram que a lepidobroca pode provocar danos superiores a 50% na produção de frutos, destruindo todo o interior dos frutos que se tornam imprestáveis para o consumo. Os frutos mais atacados são os mais jovens.

A maior produção de frutos de pequi ocorre no terço basal da copa, seguido pelo meio e pelas partes apicais (LEITE et al., 2006). O fruto apresenta atividade respiratória extremamente alta que diminui durante o seu amadurecimento, assim como diminui a produção de etileno, e, por isso é classificado como uma fruta não-climatérica (RODRIGUES et al., 2015).

Vilela (1998) e Lorenzi (2000) relatam que a produção de frutos de pequi é maior em um ano e menor no outro, e a curva de crescimento dos frutos é sigmoideal, segundo Rodrigues et al. (2015). É uma espécie que geralmente ocorre em solos de fertilidade baixa (SANTANA; NAVES, 2003; HARIDASAN, 2005). Essa pouca exigência quanto à fertilidade do solo e os elevados teores de minerais de seus frutos, conduzem a hipótese de que se trata de uma planta eficiente na extração de nutrientes, conforme Voigt et al. (2010). Porém, Leite et al. (2006) relatam que solos argilosos, distróficos, ricos em alumínio e com baixo pH, também favorecem a produção do fruto.

Ainda são poucas as informações sobre as condições climáticas ideais para o desenvolvimento do pequi (CAMARGO et al., 2014) e as pesquisas já realizadas ainda não são suficientes para definir protocolos para silvicultura da espécie. Contudo, plantios desta espécie já são uma realidade em algumas regiões do país, como mostra Camargo et al. (2014) (Figura 1.2). Ribeiro (2000) acrescenta ainda que grandes plantações também são encontradas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Piauí e Tocantins.

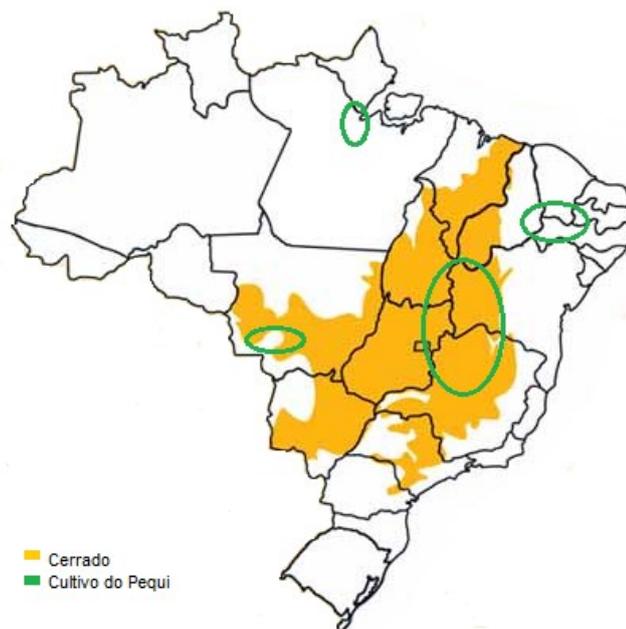


Figura 1.2. Distribuição geográfica do Bioma Cerrado e do cultivo do Pequi no Brasil. Fonte Camargo et al. (2014), extraída do IBGE/SIDRA (2008).

Assim, em virtude de todo esse potencial não madeireiro da espécie, faz-se necessário mais estudos no sentido de verificar os fatores de produção de frutos, visando a domesticação ou otimização dos níveis de colheita em ambiente natural.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, Y. O.; PRETZSCH, J.; PETTENELLA, D. Contribution of Non-Timber Forest Products livelihood strategies to rural development in drylands of Sudan: Potentials and failures. *Agricultural Systems*, v. 117, p. 90-97, 2013.

ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. Pp. 33-98. In: GOEDERT, W. J. (ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987. 422p.

AFONSO, S. R.; ÂNGELO, H. Mercado dos produtos florestais não-madeireiros do Cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 3, p. 315-326, 2009.

AFFONSO, L. H. T. A. **Alguns métodos de amostragem para populações raras e agrupadas**. Dissertação. Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, 2008, 98p.

AGUILAR, E. C.; QUEIROZ, M. G. M. N.; OLIVEIRA, D. A.; OLIVEIRA, N. J. F. Serum lipid profile and hepatic evaluation in mice fed diet containing pequi nut or pulp (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 879-883, 2011.

ALENCAR, J. C. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijulga* HAYNE – LEGUMINOSAE, na Amazônia Central. 3 – Distribuição espacial da regeneração natural pré-existente. **Acta Amazônica**, v. 14, n. 1-2, p. 225-279, 1984.

ALEXIADES, N. M.; SHANLEY, P. **Forest products, livelihoods and conservations: case studies of non-timber forest product systems**. Forest Products and Conservation: Case Studies of Non-timber Forest Product Systems – Latin America, Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), v. 3, p. 1-22, 2004.

ALMEIDA, A. N.; BITTENCOURT, A. M.; SANTOS, A. J.; EISFELD, C. L. SOUZA, V. S. Evolução da produção e preço dos principais produtos florestais não madeireiros extrativos do Brasil. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 282-287, 2009.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. P. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 464 p.

ALVES, C. C. O.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 830-839, 2008.

ALVES, C. S. O.; RESENDE, J. R.; PRADO, M. E. T.; CRUVINEL, R. S. R. The effects of added sugars and alcohols on the induction of crystallization and the stability of the freeze-dried peki (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit pulps. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 934-941, 2010.

ALVES, R. **Novidades do pequi: Estado de Minas**. Belo Horizonte: Agropecuário, 2004. 6p.

ANDERSON, A. B.; IORIS, E. M. The logic of extraction: resource management and income generation by extractive producers in the Amazon. Pp. 175-199. In: REDFORD, K. H.; PADOCH, C. (ed.) **Conservation of Neotropical Forests**. New York: Columbia University, 1992. 475p.

ANTUNES, E. C.; ZUPPA NETO, T. O.; ANTONIO FILHO, N. R.; CASTRO, S. S. Utilização do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) como espécie recuperadora de ambientes degradados no Cerrado e fornecedora de matéria prima para a produção de

biodiesel. In: **Primeiro Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel**, Brasília. 2006.

APPASAMY, P. P. Role of Non-Timber Forest Products in a Subsistence Economy: The Case of a Joint Forestry Project in India. **Economic Botany**, v. 47, n. 3, p. 258-267, 1993.

AQUINO, L. P.; FERRUA, F. Q.; BORGES, L. V.; ANTONIASSI, R.; CORREA, J. L. G.; CIRILLO, M. A. Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 354-357, 2009.

ARAÚJO, F.D. A review of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) – Na economical valuable species of the central Brazilian Cerrados. **Economic Botany**, v. 49, n. 1, p. 40-48, 1995.

ARAÚJO, F. D. de. **The ecology, ethnobotany and management of *Caryocar brasiliense* Camb. around Montes Claros, MG, Brazil.** 1994. 175 f. Thesis (Doctor in Plant Sciences), University of Oxford, Oxford, 1994.

ARNOLD, J. E. M.; RUIZ-PEREZ, M. Can nontimber forest products match tropical forest conservation and development objectives? **Ecological Economics**, v. 39, n.3, p. 437-447, 2001.

AYISSO, A. C.; SINSIN, B.; ADEGBIDI, A.; DOSSOU, G.; VAN DAMME, P. Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 9, p. 1930-1938, 2009.

AZEVEDO, C. H. M; RODRIGUEZ, D. B. A. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.117, n. 3-4, p.385-396, 2004.

BALDAUF, C.; HANAZAKI, N.; REIS, M. S.; Caracterização etnobotânica dos sistemas de manejo de samambaia-preta (*Rumohra adiantiformis* (G. Forst) Ching - Dryopteridaceae) utilizados no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 21, n. 4, p. 823-834, 2007.

BATALHA, M. A. The Brazilian Cerrado is not a biome. **Biota Neotropical**. v. 11, n.1, p. 21-24, 2011.

BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of Cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista Brasileira de Biologia**, v.60, n.1, p.129-145, 2000.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H, BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, p. 47-58, 2010.

BELCHER, B.; RUÍZ-PÉREZ, M.; ACHDIAWAN, R. Global patterns and trends in the use and management of commercial NTFPs: implications for livelihoods and conservation. **World Development**, v. 33, n. 9, p. 1435-1452, 2005.

BENAVIDES, A. M.; DUQUE, A. J.; DUIVENVOORDEN, J. F.; VASCO, G. A.; CALLEJAS, R. A first quantitative census of vascular epiphytes in rain forests of Colombian Amazonia. **Biodiversity & Conservation**, v. 14, n. 3, p. 739-758, 2005.

BERNARDES, T. G.; NAVES, R. V.; REZENDE, C. F. A.; BORGES, J. D.; CHAVES, L. J. Propagação sexuada do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) estimulada por ácido giberélico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 71-77, 2008.

BOOT, R. G. A. Extraction of non-timber forest products from tropical rain forests. Does diversity come at a price? **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 45, p. 439-450, 1997.

BOOT, R.; GULLISON, R. Approaches to developing sustainable extraction system for tropical forest products. **Ecological Applications**, v. 5, n. 4, p. 896-903, 1995.

BORGES K. A.; BATISTA, A. C. F.; RODRIGUES, H. S.; HERNANDES-TERRONES, M. G.; VIEIRA A. T.; OLIVEIRA, M. F. Production of methyl and ethyl biodiesel fuel from pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Chemical Technology Fuels Oils**, v. 48, n. 2, p. 83-92, 2012.

BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica**, v. 34, p. 27-39, 2002.

BORCHERT, R. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes. **Climate Change**, v. 39, p. 381-393, 1998.

BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. Pp. 29-60. In: BAILEY, R. (ed.). **Global warming and other eco-myths** Roseville-EUA: Competitive Enterprise Institute, 2002, 320p.

BOURLIÈRE, F.; HADLEY, M. Present-day savannas: an overview. Pp. 1-17. In: GOODALL, D. W. (ed.). **Ecosystems of the world - tropical savannas**. Amsterdam: Elsevier, 1983, 730p.

BROWN, J. A. Designing an efficient adaptive cluster sample. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, p. 95-105, 2003.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MACHADO, E. L. M.; LEITE, H. G.; PEREIRA, I. M.; NOGUEIRA, G. S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de pequi. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 249-256, 2013.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; NOGUEIRA, G. S.; PEREIRA, I. M.; LEITE, H. G.; MACHADO, E. L. M. Métodos de amostragem para quantificar indivíduos adultos do pequi *Caryocar brasiliense* Cambess. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1341-1347, 2014.

BUCCI, S. J.; SCHOLZI, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; FRANCO, A.; ZHANG, Y.; HAO, G. Y. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 233-245, 2008.

BUZIN, E. J. W. K. **Modelagem e simulação da produção de pequi no território Kalunga de Goiás utilizando a metodologia system dynamics**. Dissertação. Universidade Federal de Goiás, 2009. 67p.

CABRERA, H.; WALLACE, R. Densidad y distribución espacial de palmeras arborescentes em un bosque preandino-amazônico de Bolivia. **Ecologia en Bolivia**. v. 42, n. 2, p. 121-135, 2007.

CALISH, S., FIGHT, R. D.; TEEGUARDEN, D. E. How do nontimber values affect Douglas-fir rotations. **Journal of Forestry**, v. 76, n. 4, p. 217-221, 1978.

CAMARGO, M. P.; ESTEVAM, A.; FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A. A cultura do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na recuperação de áreas degradadas e como alternativa para a produção de biodiesel no Brasil. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p.180-192, 2014.

CARVALHO, C. G. S.; CÔRTEZ, R. A.; CARNEIRO, I. F.; BORGES, J. D. Efeitos de diferentes tratamentos na germinação do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Acta Botânica Brasílica**, v. 8, n. 1, p. 109-120, 1994.

CARVALHO, F. M. V.; DE MARCO, P.; FERREIRA JUNIOR, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1392-1403, 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 3, 2008.

CARVALHO, M. C.; BURGER, O. N. **Contribuição ao estudo do pequi de Brasília**. Brasília: SPS, 1960. 15p. (Coleção Estudo e Pesquisa Alimentar, 50).

CASTRO, A. A. J. F.; MARTINS, F. R. Cerrados do Brasil e do Nordeste: caracterização, área de ocupação e considerações sobre a sua fitodiversidade. **Pesquisa Foco**, v. 7, n. 9, p. 147-178, 1999.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p. 263-283, 1998.

CAVALCANTI, F. J. B.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T.; CUNHA, U. S. Comparação dos valores estimados por amostragem na caracterização da estrutura de uma área de floresta na Amazônia com as informações registradas no censo florestal. **Revista Árvore**, v. 35, v. 5, p. 1061-1068, 2011.

CHAPMAN, C., CHAPMAN, L. J.; WRANGHAM, R.; HUNT, K.; GEBO, D; GADNER, L. Estimators of fruit abundance of tropical trees. **Biotropica**, v. 24, p. 527-531, 1992.

CLAY, J. W. Implications for Biodiversity and Conservation. Pp. 246-282. In: C. H. FREESE (ed.): **Harvesting Wild Species**: Ed. John Hopkins University Press, Baltimore and London, 1997.

COLLEVATI, R.G.; GRATTAPAGLIA, D.; HAY J.D. Evidences for multiple maternal lineages of *Caryocar brasiliense* populations in the Brazilian Cerrado based on the analysis of chloroplast DNA sequences and microsatellite haplotype variation. **Molecular Ecology**, v.12, n.1, p.105-115, 2003.

CORDEIRO, M. W. S.; CAVALLIERI, A. L. F.; FERRI, P. H.; NAVES, M. M. V. Características físicas, composição químico-nutricional e dos óleos essenciais da polpa de *Caryocar brasiliense* nativo do estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1127-1139, 2013.

CORREA, G. C.; NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; CHAVES, L. J.; BORGES, J. D. Physical determinations in fruit and seeds of baru (*Dipteryx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) and pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) aiming genetic breeding. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 42-47, 2008.

COTZOJAY, P. A. P. **Diseño y aplicacion de um inventario forestal diversificado (produtos maderables y no maderables) en Peten**. Magister Science Thesis, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza - CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1996.124p.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasílica**, v. 20, n.1, p. 13-23, 2006.

COYLE. R. G. **System dynamics modelling**; Ed Chapman & Hall, 1996.

CROITORU, L. Valuing the non-timber forest products in the Mediterranean region. **Ecological Economics**, v. 63, n. 4, p. 768-775, 2007.

DANTAS, A. R.; RIBEIRO, G. G.; GUEDES, A. C. L.; GUEDES, M. C. Produção de frutos de urucurizeiros, *Attalea excelsa* mart. (Arecaceae), em floresta de várzea no estuário do rio Amazonas. **Biota Amazônia**, v. 4, n. 4, p. 107-113, 2014.

DOVE, M. A revisionist view of tropical deforestation and development. **Environmental Conservation**, v. 20, n.1, p. 17-24, 1993.

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

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. Pp. 9-65. In: PINTO, M. N. (org.). **Cerrado - caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. UnB, 1990. 657p.

- EITEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: SEBRAE/DF, 2001. 162p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Pequizeiro (*Caryocar brasiliense*). **Comunicado Técnico 230**. Colombo-PR. Julho de 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPI/ CNPS, 1999. 412p.
- ENDRESS, B. A.; GORCHOV, D. L.; BERRY, E. J. Sustainability of a non-timber forest product: Effects of alternative leaf harvest practices over 6 years on yield and demography of the palm *Chamaedorea radicalis*. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1-3, p. 181-191, 2006.
- EVANS, T. D.; VIENGKHAM, O. V. Inventory time-cost and statistical power: a case study of a Lao rattan. **Forest Ecology and Management**, v. 150, n. 3, p. 313-322, 2001.
- FACIOLI, N. L.; GONÇALVES, L. A. G. Modificação por via enzimática da composição triglicéridica do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb). **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 16-19, 1998.
- FAGUNDES, M.; ARAÚJO, L.S.; NUNES, Y.R.F. Efeitos do Estágio Sucessional do Habitat na Fenologia do Pequizeiro (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 144-146, jul. 2007.
- FAO. **Productos forestales no madereros; posibilidades futuras**. Roma: Estúdio FAO Montes, 97, 1992. 36p.
- FARIA, W. C. S.; DAMASCENO, G. A. B.; FERRARI, M. Moisturizing effect of a cosmetic formulation containing pequi oil (*Caryocar brasiliense*) from the Brazilian Cerrado biome. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 50, n. 1, p. 131-136, 2014.
- FARIAS, L. L. **Tamanho e forma de parcela amostral para inventários de espécies não madeiras da Amazônia Central**. Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisas, INPA, Amazônia, 2012. 96p.
- FELFILI, J. C.; FELFILI, J. M. Diversidade alfa e beta no cerrado *sensu stricto* da Chapada Pratinha, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 15, n. 2, p. 243-254, 2001.
- FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e pantanal**. Brasília: Ed. UnB, 2005. 60p.
- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SILVA, J. C. S.; OLIVEIRA, E. C. L.; PINTO, J. R. R.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; RAMOS, K. M. O. **Plantas da APA Gama e Cabeça de Veado**. Brasília, Ed. UnB, 2003. 52p.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; NOGUEIRA, P. E.; WALTER, B. M. T.; SILVA, M. A.; ENCINAS, J. I. Comparação florística e fitossociológica do Cerrado nas Chapadas Pratinha e dos Veadeiros. Pp. 6-11. In: LEITE, L.; SAITO, C. H. (eds.). **Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado**. Brasília: Ed. UnB, 1997. 325p.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340p.

FIGUEIREDO, P. S. Fenologia e estratégias reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semiárido no nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v.2, n.2, p.8-22, 2008.

FRA. **Global Forest Resources Assessment 2010, Brazil**. Country Report. Forestry Department Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. Disponível em: www.fao.org/forestry/fra . Acessado em 18/09/2015.

FRANCO, G. Nutrição: texto básico e tabela de composição química de alimentos. In: **Composição química dos alimentos e valor energético**. Rio de Janeiro: In: Atheneu (6.ed.), p.180-193. 1982.

FRANÇOSO, R.; GUARALDO, A. C.; PRADA, M.; PAIVA, O. A.; MOTA, E. H.; PINTO, J. R. R. Fenologia e produção de frutos de *Caryocar brasiliense* Cambess. e *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J. F. Macbr. em diferentes regimes de queima. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.579-590, 2014.

FREITAS C. V.; OLIVEIRA, P. E. Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 3, p. 311-321. 2002.

FSC. Forest Stewardship Council. **Global FSC certificates: type and distribution**. Bonn, Germany, 2009.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. **Global Ecology Biogeography**, v. 8, n. 3, p. 223-241, 1999.

GALETTI, M.; ALEIXO, A. Effects of palm heart harvesting on avian frugivores in the Atlantic rain forest of Brazil. **J. Applied Ecology**, v. 35, p. 286-293, 1998.

GAN, J.; KOLISON JR., S. H.; COLLETTI, J. P. Optimal forest stock and harvest with valuing non-timber benefits: a case of US coniferous forests. **Forest Policy and Economics**, v. 2, n. 2, p. 167-178, 2001.

GANESAN, B. Extraction of Non-Timber Forest Products, including Fodder and Fuelwood in Mudumalai, India. **Economic Botany**, v. 47, n. 3, p. 268-274, 1993.

GEÓCZE, K. C.; BARBOSA, L. C. A.; FIDÊNCIO, P.H.; SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, M. C. A.; ISMAIL, F. M. D.; LIMA, C. F. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 1-8, 2013.

GIÁCOMO, R. G.; CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, A. B.; GAUI, T. D. Florística e fitossociologia em áreas de campo sujo e cerrado *sensu stricto* na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 29-43, 2013.

GIAMBELLUCA, T. W.; SCHOLZ, F. G.; BUCCI, S. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; BUCHERT, M. P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 8, p. 1365-1376, 2009.

GIROLDO, A. B.; SCARIOT, A. Land use and management affects the demography and conservation of an intensively harvested Cerrado fruit tree species. **Biological Conservation**, v. 191, p. 150-158, 2015.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 137-153, 2004.

GONG, P.; BOMAN, M.; MATTSSON, L. Non-timber benefits, price uncertainty and optimal harvest of an even-aged stand. **Forest Policy and Economics**, v. 7, n. 3, p. 283- 295, 2005.

GRIBEL, R.; HAY, J. D. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Cariocaraceae) in Central Brazil Cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 199-211, 1993.

GUARIGUATA, M. R.; CRONKLETON, P.; SHANLEY, P.; TAYLOR, P. L. The compatibility of timber and non-timber forest product extraction and management. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 7, p. 1477-1481, 2008.

GUEDJE, N. M.; ZUIDEMA, P. A.; DURING, H.; FOAHOM, B.; LEJOLY, J. Tree bark as a non-timber forest product: The effect of bark collection on population structure and dynamics of *Garcinia lucida* Vesque. **Forest Ecology and Management**, v. 240, n 1-3, p. 1-12, 2007.

HALL, P.; BAWA, K. Methods to assess the impact of extraction of non-timber tropical forest products on plant population. **Economic Botany**, v. 47, n. 3, p. 234-247, 1993.

HARIDASAN, M. Competição por nutrientes em espécies arbóreas do Cerrado. Pp. 167-178. In: SCARIOT, A.; SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Orgs.). **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 439 p.

HARTMAN, R. The harvesting decision when a standing forest has value. **Economic Inquiry**, v. 16, n. 1, p. 52-58, 1976.

HERINGER, E. P. Pequiizeiro (*Caryocar brasiliense* Cambess). **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 28-31, 1970.

HEUBACH, K.; WITTIG, R.; NUPPENAU, E. A.; HAHN, K. The economic importance of non-timber forest products (NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities: A case study from northern Benin. **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 1991-2001, 2011.

HILTON-TAYLOR, C. **IUCN red list of threatened species. Species Survival Commission (SSC)**, IUCN – The World Conservation Union, Cambridge, 2004. Reino Unido, Suíça. Disponível em <http://www.redlist.org>. Acessado abril de 2015.

HOEKSTRA, J. M.; BOUCHER; T. M., RICKETTS; T. H.; ROBERTS, C. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. **Ecology Letters**, v. 8, n. 1, p. 23-29, 2004.

HOFFMAN, B. **The biology and use of Nibbi *Heteropsis flexuosa* (Araceae): the source of an aerial root fiber product in Guyana**. Magister Science Thesis, Florida International University, Miami, 1997. 147p.

HOMMA, A. K. O. **A dinâmica do extrativismo vegetal na Amazônia: uma interpretação teórica**. Belém: Embrapa-CPATU, Documentos, 53, 1990. 38 p.

HOMMA, A. K. O. Esgotamento de recursos finitos – o caso do extrativismo vegetal na Amazônia. **Boletim da Fundação Brasileira Para a Conservação da Natureza**, v. 18, p. 44-48, 1983.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW, J. A. **Forest Mensuration**. Fourth Edition. Krieger Publishing Co., Malabar, Florida. 2003, 443pp.

IBAMA. Unidades de Conservação. IBAMA, 2017. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/zoneamentoambiental/ucs/>. Acesso em: 06 mar de 2017.

IBGE. **Produção da extração vegetal e silvicultura**. Rio de Janeiro, v. 30, p.1-48, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2004. **Mapa de Biomas**. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm. Acessado em abril de 2015.

IBGE/SIDRA. **Produção extrativa Vegetal**. Quantidade produzida na extração vegetal por tipo de produto extrativo. 2008. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> .

IBGE. Anuário estatístico brasileiro. Rio de Janeiro: **Diretoria de Pesquisas, Departamento de Agropecuária, Pesquisa Produção Vegetal e da Silvicultura**, 2006.

IVANOV, G. B. **Influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa* H.B.K.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 95p.

KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, 2007.

KERR, W. E.; SILVA, F. R.; TCHUCARRAMAE, B. Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.): informações preliminares sobre um pequi sem espinhos no caroço. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 169-171, 2007.

KHOURI, J.; RESCK, I. S.; FONSECA, M. P.; SOUSA, T. M. M.; PEREIRA, L. O.; OLIVEIRA, A. B. B.; GRISOLIA, C. K. Anticlastogenic potential and antioxidant effects of an aqueous extract of pulp from the pequi tree (*Caryocar brasiliense* Camb). **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, n. 2, p. 442-448, 2007.

KLIMAS, A. D.; CROPPER JR., W. P.; KAINER, K. A.; WALD, L. H. O. Viability of combined timber and non-timber harvests for one species: A *Carapa guianensis* case study. **Ecological Modelling**, v. 246, p. 147-156, 2012.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KORMONDY, E. J. **Concepts of Ecology**. New Jersey: Prentice-Hall Inc. 1969. 209p.

KREBS, C. J. **Ecological Methodology**. 2. ed. Benjamin/Cummings. 1999. 581p.

KUSTERS, K.; ACHDIAWAN, R.; BELCHER, B.; RUIZ PÉREZ, M. Balancing development and conservation? An assessment of livelihood and environmental outcomes of nontimber forest product trade in Asia, Africa, and Latin America. **Ecology and Society**, v. 11, n. 2. p. 1-22, 2006.

LASHLEY, M. A.; THOMPSON, M. A.; CHITWOOD, M. C.; PERNO, C. S.; MOORMAN, C. E. Evaluation of Methods to Estimate Understory Fruit Biomass. **Plos One**, v. 9, n. 5, 2014.

LARSEN, O. H.; OLSEN, C. S.; BOON, T. E. The non-timber forest policy process in Nepal: actors, objectives and power. **Forest Policy and Economics**, v. 1, n. 3-4, p. 267-281, 2000.

LEÃO, E. F.; PEIXOTO, N.; MORAIS JÚNIOR, O. P. Emergência de plântulas de pequi em função da planta matriz e uso de ácido giberélico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 416-423, 2012.

LEITE, G. L. D.; VELOSO, R. V. S.; CASTRO, A. C. R.; LOPES, P. S. N.; FERNANDES, G. W. R. Efeito do AIB sobre a qualidade e fitossanidade dos alporques de influência da *Caryocar brasiliense* Camb (Caryocaraceae). **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 315-320, 2007.

LEITE, G. L. D.; VELOSO, R. V. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, L. A.; ALMEIDA, C. I. M. Phenology of *Caryocar brasiliense* in the Brazilian Cerrado region. **Forest Ecology and Management**, v. 236, n. 2-3, p. 286-294, 2006.

LEÓN, L. F. R. D.; TUDELA, A. N. Playing with *Asimina triloba* (pawpaw): a species to consider when enhancing riparian forest buffer systems with non-timber products. **Ecological Modelling**, v. 112, n. 2-3, p. 169-193, 1998.

LIMA A, SILVA A. M.O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO J. Chemical composition and bioactive compounds in the pulp and almond of pequi fruit. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p.695–703, 2007.

LIMA, F.; LUCCA, B. G.; BARBOSA, A. M. J.; FERREIRA, V. S.; MOCCELINI, S. K.; FRANZOI, A. C.; VIEIRA, I. C. Biosensor based on pequi polyphenol oxidase immobilized on chitosan crosslinked with cyanuric chloride for thiodicarb determination. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 47, n. 4, p. 153-158, 2010.

LONDE, L. N.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E.; BONETTI, A. M. Characterization of DNA polymorphisms in *Caryocar brasiliense* (Camb.) in populations with and without thorn at the endocarp by RAPD markers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, 2010.

LOPES, P. S. N.; SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; OLIVEIRA, J. M.; ROCHA, I. D. F. Caracterização do ataque da broca dos frutos do pequiizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 540-543, 2003.

LOPES, T. C.; GONÇALVES, J. R. S.; SOUZA, N. S.; MORAES, D. F. C.; AMARAL, F. M. M.; ROSA, I. G. Avaliação moluscicida e perfil fitoquímico das folhas de *Caryocar brasiliense* Camb. **Cadernos de Pesquisa**, v. 18, n. 3, p. 23-29, p. 779-789, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 2000. p. 368.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**, 1. SUDAM, Belém, PA, Brazil. 1968.

MACHADO, F. S. **Manejo de produtos florestais não madeireiros: um manual com sugestões para o manejo participativo em comunidades da Amazônia**. PESACRE; CIFOR, Rio Branco, 2008. 105p.

MACHADO, M. T. C.; MELLO, B. C.B.S.; HUBINGER, M. D. Evaluation of pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.) aqueous extract quality processed by membranes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 304-312, 2015.

MACHADO, S. A. Complete enumeration forest inventory versus Cluster sampling methods applied in the Amazonian Rain Forest. **Revista Floresta**, v. 18, n. 12, p. 122-130, 1988.

MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. A.; SILVA, M. H. L. Aroma volatiles of pequi fruit (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 7, p. 574- 576, 2008.

MASELLI, F.; CHIESI, M.; BRILLI, L.; MORIONDO, M. Simulation of olive fruit yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data. **Ecological Modelling**, v. 244, p. 1–12, 2012.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.

MARIANO, R. G. de B.; COURI, S.; FREITAS, S. P. Enzymatic technology to improve oil extraction from *Caryocar brasiliense* camb. (Pequi) Pulp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-643. 2009.

MARINHO-FILHO, J., F. H. G.; RODRIGUES, JUAREZ, K. M. The Cerrado mammals: diversity, ecology, and natural history. Pp. 266-284. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R. J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. 398p.

MARRIS, E. Conservation in Brazil: the forgotten ecosystem. **Nature**, v. 437, n. 13, p. 944-945, 2005.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson/Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS JR., O. P.; CHAVES, F. Uso de instrumentos econômicos para a conservação da biodiversidade em Goiás: reserva legal, servidão florestal e bolsa de reserva florestal. Pp. 165-175. In: FERREIRA, L. G. (org.) **Conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental em Goiás: prioridades, estratégias e perspectivas**. Goiânia, SEMARH / AGMA / World Bank, 2006. 187 p.

MASUDA, G. B.; FIGUEIREDO, R. S. **Desenvolvimento de um simulador dinâmico manual de uma cadeia de distribuição para estudar um sistema submetido ao arquétipo denominado “crescimento e sub-investimento”**; In: Anais do Encontro XXI Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP; Salvador; Brasil; 2001.

MAY, P. H.; MOTTA, R. S. **Valorando a Natureza: Análise Econômica para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994. 195p.

MCFARLANE, E. M; PILZ, D.; WEBER, N. S. High-elevation gray morels and other *Morchella* species harvested as non-timber forest products in Idaho and Montana. **Mycologist**, v. 19, n. 2, p. 62-68, 2005.

MEDEIROS, R. D.; VIEIRA, G. Sustainability of extraction and production of copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oleoresin in Manaus, AM, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 282-288, 2008.

MELO JR., A. F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F. A.; OLIVEIRA, D. A. Spatial genetic structure in natural populations of *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) in the North of Minas Gerais, Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 43, p. 205-209, 2012.

MENDELSON, R., BALICK, M. The value of undiscovered pharmaceuticals in tropical forests. **Economic Botany**, v. 49, p. 223-228, 1995.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do Cerrado. Pp. 289-556. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA CPAC, 1998. 556p.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W.; Pp. 417–1279. Flora vascular do Cerrado: Checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. 1.279p.

MESQUITA, H. N. E. A. **Relatório Técnico de Monitoramento do Desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008**: Dados Revisados. Centro de Sensoriamento Remoto-CSR/IBAMA, 2009, 71p.

MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Virginia: Conservation International, 2005. 392p.

MMA. BRASIL/MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404p.

MORAIS, M. L. C. **Sistemática e ecologia de Heteropsis Kunth (Araceae Juss.) com destaque na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil**. Tese. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal da Amazônia, Manaus, Amazonas. 2008. 207p.

MORSELLO, C. Company–community non-timber forest product deals in the Brazilian Amazon: A review of opportunities and problems. **Forest Policy and Economics**, v. 8, n. 4, p. 485-494, 2006.

MOURA, N. F.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V.; AGUIAR, A. V. de; SOBIERAJSKI, G. da R. Variabilidade entre procedências e progênies de Pequi zero (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 103-112, 2013.

MULER, A. E.; ROTHER, D. C.; BRANCALION, P. S.; NAVES, R. P.; RODRIGUES, R. R.; PIZO, M. A. Can overharvesting of a non-timber-forest-product change the regeneration dynamics of a tropical rainforest? The case study of *Euterpe edulis*. **Forest Ecology and Management**, v. 324. p. 117-125, 2014.

MUTENJE, M. J.; ORTMANN, G. F.; FERRER, S. R. D. Management of non-timber forestry products extraction: Local institutions, ecological knowledge and market structure in South-Eastern Zimbabwe. **Ecological Economics**, v. 70, n. 3, p. 454-461, 2011.

MYERS, G. P.; NEWTON, A.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 127, n. 1-3, p. 119-128, 2000.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 10, p. 853-858, 2000.

NAKAZONO, E. M.; BRUNA, E. M.; MESQUITA, R. C. G. Experimental harvesting of the non-timber forest product *Ischnosiphon polyphyllus* in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 219-225, 2004.

NANANG, D. M.; HAUER, G. K. Integrating a random utility model for non-timber forest users into a strategic forest planning model. **Journal of Forest Economics**, v. 14, n. 2, p. 133-153, 2008.

ODUM, E. **Fundamentals of Ecology**. Philadelphia: W. B. Saunders Co, 1959. 546p.

OLIVEIRA, S. S. **Efeito de giberelina, fungicida, tratamentos mecânicos e período de armazenamento sobre a germinação de sementes de pequi**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

OLIVEIRA, K. A. K. B. de. **Variabilidade genética entre e dentro de populações de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb)**. Dissertação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 1998. 92 p.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N.B.; BARROS, L.M.; ALVES, R.E. **Aspectos Agronômicos e de Qualidade do Pequi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 113), 2008. 32 p.

OLIVEIRA, M. N. S.; GUSMÃO, E.; LOPES, P. S. V.; SIMÕES, M. O. M.; RIBEIRO, L. M.; DIAS, S. A. S. Estádio de maturação dos frutos e fatores relacionados aos aspectos nutritivos e de textura da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 380-386, 2006.

OLIVEIRA, P. S. The ecological function of extrafloral nectaries: herbivore deterrence by visiting ants and reproductive output in *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). **Functional Ecology**, v. 11, n. 3, p. 323-330, 1997.

OLIVEIRA, W. L.; SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 85 p.

OLIVEIRA-FILHO, A.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. Pp. 91-120. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.); **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. 424p.

OLIVEIRA, S. de. Pequi. **Globo Rural**, São Paulo, v.4, n.38, p.80-83. 1988.

OLMSTED, I.; ALVAREZ-BUYLLA, E. R. Sustainable harvesting of tropical trees: demography and matrix models of two palm species in Mexico. **Ecol. Appl.** v. 5, n. 2, p. 484-500, 1995.

PASSOS, X. S.; SANTOS, S. C.; FERRI, P. H.; FERNANDES, O. F. L.; PAULA, T. F.; GARCIA, A. C. F. Atividade Antifúngica de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) sobre *Cryptococcus neoformans*. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v, 35, n. 6, p. 623-627, 2002.

PANDO-MORENO, M.; CASTILLO, R. P. D.; JIMENEZ, J. Estimating fiber for lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr., Agavaceae), a traditional non-timber forest product in Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 3686-3690, 2008.

PALUDO, G. F.; SILVA, J. Z.; REIS, M. S. Estimativas de produção de frutos de palmitero (*Euterpe edulis* Mart.) a partir da densidade de indivíduos. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 92-102, 2012.

PAULA JR. W.; ROCHA, F. H.; DONATTI, L.; FADEL-PICHETH, C. M. T., WEFFORT-SANTOS, A. M. Leishmanicidal, antibacterial, and antioxidant activities of *Caryocar brasiliense* Cambess leaves hydroethanolic extract. **Revista Brasileira Farmacognosia**, v. 16, p. 625-630, 2006.

PENA, J. W. P. **Frutificação, Produção e Predação de sementes de *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) na Amazônia Oriental Brasileira**. Dissertação. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, 2007. 67p.

PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; SILVA, D. B. da; GOMES, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C. **Quebra da dormência de sementes de pequi**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 136).

PEREIRA, A.V.; SALVIANO, A.; PEREIRA, E.B.C.; SILVA, J.A. da; SILVA, D.B. da; JUNQUEIRA, N.T.V. **Pequi: produção de mudas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 2p. (Embrapa Cerrados. Recomendações Técnicas, 1).

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. O. H.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.; SALOMAO, R. P.; SIMOES, L. L.; FRANCIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD, J. R. G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5653, p. 2112-2114, 2003.

PERES, C. A. Primate responses to phenological changes in an Amazonian Terra Firme forest. **Biotropica**, v. 26, p. 98-112, 1994.

PETER, N. A.; WATKINSON, A. PERES, C. A. Determinants of yield in a non-timber forest product: *Copaifera oleoresin* in Amazonian extractive reserves. **Forest Ecology and Management**. v. 261, p. 255-264, 2011.

PETERS, C. M. **Sustainable Harvest of Non-timber Plant Resources in Tropical Moist Forest: An Ecological Primer**: 1-45. Biodiversity Support Program, Washington. 1994.

PETERS, C. M.; GENTRY, A. H.; MENDELSON, R. O. Valuation of an Amazonian rainforest. *Nature*, v. 339, n. 6227, p. 655–656, 1989.

PIANOVSKI, A. R.; VILELA, A. F. G.; SILVA, A. A. S.; LIMA, C. G.; SILVA, K. K.; CARVALHO, V. F. M.; MUSIS, C. R.; MACHADO, S. R. P.; FERRARI, M. Uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) em emulsões cosméticas: desenvolvimento e avaliação da estabilidade física. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 44, n. 2, p. 249-259, 2008.

PILZ, D.; MOLINA, R.; LIEGEL, L. **Biological Productivity of Chanterelle Mushrooms in and near the Olympic Peninsula Biosphere Reserve**. Ambio, Special Report, The Biological, Socioeconomic, and Managerial Aspects of Chanterelle Mushroom Harvesting: The Olympic Peninsula, Washington State, USA, n. 9, p. 8-13, 1998.

PINHO, L.; SOUZA, P. N. S.; ALMEIDA, A. C.; SOBRINHO, E. M.; MARTINS, E. R. Atividade antimicrobiana de extratos hidroalcoólicos das folhas de alecrim-pimenta, aroeira, barbatimão, erva baleeira e do farelo da casca de pequi. *Ciência Rural*, v. 42, n. 2, p. 226-231, 2012.

PINZI, S.; GARCIA, I. L.; LOPEZ-GIMENEZ, F. J.; LUQUE DE CASTRO, M. D.; DORADO, G.; DORADO, M. P. The Ideal Vegetable Oil-based Biodiesel Composition: A Review of Social, Economical and Technical Implications. *Energy & Fuels*, v. 23, n. 5, p. 2325-2341, 2009.

PIRANI, F. R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. *Acta Botânica Brasilica*, v.23, n.4, p. 1096-1109, 2009.

PLOWDEN, J. C. **The ecology, management, and marketing of non-timber forest products in the Alto Rio Guamá indigenous reserve (Eastern Brazilian Amazon)**. Doctor Thesis, Pennsylvania State University, 2001. 252pp.

PRADOS, C. P.; REZENDE, D. R.; BATISTA, L. R.; ALVES, M. I. R.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Simultaneous gas chromatographic analysis of total esters, mono-di- and triacylglycerides and free and total glycerol in methyl or ethyl biodiesel. *Fuel*, v. 96, p. 476-481, 2012.

PROENÇA, C.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, A. P. **Flores e frutos do Cerrado**. Brasília, DF: UnB, 2000. 226 p.

PULIDO, M. T.; CABALLERO, J. The impact of shifting agriculture on the availability of non-timber forest products: the example of Sabal yapa in the Maya lowlands of Mexico. *Forest Ecology and Management*, v. 222, n. 1-3, p. 399-409, 2006.

QUANG, D. V.; ANH, T. N. Commercial collection of NTFPs and households living in or near the forests: Case study in Que, Con Cuong and Ma, Tuong Duong, Nghe An, Vietnam. **Ecological Economics**, v. 60, n. 1, p. 65-74, 2006.

RABÊLO, A. M. S.; TORRES, M. C. L.; GERALDINE, R. M.; SILVEIRA, M. F. A. Extration, drying, and toasting of the pequi almond (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 868-871, 2008.

RAMOS, M. I. L.; UMAKI, M. C. S.; HIANE, P. A.; RAMOS FILHO, M. M. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenoides pró-vitâmnicos "A" da polpa do piqui (*Caryocar brasiliense*). **Boletim CEPPA**, v.19, n.1, p.23-32, 2001.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal Botany**. v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.

RATTER, J. A.; DARGIE, T. C. D. An analysis of the floristic composition of 26 Cerrado areas in Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 49, n. 02, p. 235–250, 1992.

REDFORD, K. The empty forest. **BioScience**, v. 42, n.6, p, 412-422, 1992.

REIS, I. K.; ASSUNÇÃO, R. M. Comparando três métodos de amostragem: método de distâncias, contagem de quadrats e conglomerado adaptativo. **Scientia Florestalis**, n.54. p. 119-130, 1998.

RESENDE, J. C. F; KLINK, C. A.; SCHIAVINI. Spatial Heterogeneity and its Influence on *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesapiniaceae). Brazilian Archives of Biology and Technology. **An International Journal**, v. 46, n. 3, p. 405-414, 2003.

RESENDE, M. L. F.; GUIMARÃES, L. L. **Inventários da Biodiversidade do Bioma Cerrado: Biogeografia de Plantas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 14p.

RESENDE, M.; KER, J. C.; BAHIA FILHO, A. F. C. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. Pp.169-199. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (eds.). **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV-DPS, 1996. 930p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 151–212. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. 1279p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp. 89-166. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA CPAC, 1998. 556p.

RIBEIRO, R. F. **Pequi: o rei do Cerrado**. Belo Horizonte: Rede Cerrado, 2000. 62p.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C. **Copaíba**: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do sudoeste da Amazônia. Dissertação. Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, 2004. 83p.

RIGUEIRA, A. J. **Pequi, cultivo, caracterização físico-química e processamento.** Monografia apresentada ao Centro de Excelência em Turismo da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em Qualidade em Alimentos. Brasília-DF, 2003

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil.** Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda., 1997. 747p.

ROBINSON, E. J. Z.; ALBERS, H.; WILLIAMS, J. C. Spatial and temporal modeling of community non-timber forest extraction. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 56, n. 3, p. 234-245, 2008.

ROCHA, E. Potencial ecológico para o manejo de frutos de açazeiro (*Euterpe precatória* Mart.) em áreas extrativistas no Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 237-250, 2004.

RODRIGUES, L. J.; PAULA, N. R. F.; PINTO, D. M.; , VILAS BOAS, E. V. B. Growth and maturation of pequi fruit of the Brazilian Cerrado. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 11-17, 2015.

RODRIGUES, L. J.; VILAS-BOAS, E. V. B.; PAULA, N. R. F.; ALCÂNTARA, E. M. Caracterização do desenvolvimento de pequi (*Caryocar brasiliense*) temporão do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 260-265, 2009.

ROESCH, F. A. Adaptive cluster sampling for forest inventories. **Forest Science**, v. 39, n. 4, p. 655-669, 1993.

ROESLER, R.; CATHARINO, R. R.; MALTA, L. G.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterization of components by electrospray ionization mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 110, n. 1, p. 711-717, 2008.

ROESLER, R.; CATHARINO, R. R.; MALTA, L. G.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterization of components by electrospray ionization mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 110, n. 1, p. 711-717, 2008.

ROESLER, R.; MALTA, L. G.; CARRASCO, L. C.; BARATA, R. H.; SOUSA, C. A. S.; PASTORE, G. Atividade antioxidante de Frutas do Cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 53-60, 2007.

ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC/MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5062-5072, 2007.

ROS-TONEN, M. A. F.; WIERSUM, K. F. The scope for improving rural livelihoods through non-timber forest products: an evolving research agenda. **Forests, Trees and Livelihoods**, v. 15, n. 2, p. 129-148, 2005.

RUIZ-PEREZ, M.; BELCHER, B.; ACHDIAWAN, R.; ALEXIADES, M.; AUBERTIN, C.; CABALLERO, J.; CAMPBELL, B.; CLEMENT, C.; CUNNINGHAM, T.; FANTINI, A.; FLORESTA, H.; GARCIA FERNANDEZ, C.; GAUTAM, K. H.; HERSCH MARTINEZ, P.; JONG, W.; KUSTERS, K.; GOVINDAN KUTTY, M.; LOPEZ, C.; FU, M.; MARTINEZ ALFARO, M.; RAGHAVAN NAIR, T. K.; NDOYE, O.; OCAMPO, R.; RAI, N.; RICKER, M.; SCHRECKENBERG, K.; SCHACKLETON, S.; SHANLEY, P.; SUNDERLAND, T.; YOUN, Y. Markets drive the specialization strategies of forest people. **Ecology and Society**, v. 9, n. 4, p. 1-23, 2004.

RUNK, J. V. Productivity and sustainability of a vegetable ivory palm (*Phytelephas aequatorialis*, Arecaceae) under three management regimes in Northwestern Ecuador. **Economic Botany**, v. 52, n. 2, p. 168-182, 1998.

SALAFSKY, N.; DUGELBY, B. L.; TERBORGH, J. W. Can extractive reserves save the rainforest? An ecological and socioeconomic comparison of nontimber forest products extraction systems in Peten, Guatemala, and West Kalimantan, Indonesia. **Conservation Biology**, v. 7, n. 1, p. 39-52, 1993.

SALAFSKY, N.; WOLLENBERG, E. Linking livelihoods and conservation: A conceptual framework and scale for assessing the integration of human needs and biodiversity. **World Development**, v. 28, n. 8, p. 1421-1438, 2000.

SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 1-25, 2009.

SANKARAN, M., HANAN, N.P., SCHOLLES, R.J., RATNAM, J., AUGUSTINE, D.J., CADE, B.S., GIGNOUX, J., HIGGINS, S.I., LE ROUX, X., LUDWIG, F., ARDO, J., BANYIKWA, F., BRONN, A., BUCINI, G., CAYLOR, K.K., COUGHENOUR, M.B., DIOUF, A., EKAYA, W., FERAL, C.J., FEBRUARY, E.C., FROST, P.G.H., HIERNAUX, P., HRABAR, H., METZGER, K.L., PRINS, H.H.T., RINGROSE, S., SEA, W., TEWS, J., WORDEN, J., ZAMBATIS, N. Determinants of woody cover in African savannas. **Nature**, v. 438, n. 8, p. 846-849, 2005.

SANO, E. E.; ROSA, R., BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado, Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA JR, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 33p.

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina. EMBRAPAC/PAC, 1998. 556p.

SANTANA, J. G.; NAVES, R. V. Caracterização de ambientes de Cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região sudeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2003.

SANTOS, A. J.; GUERRA, F. G. P. DE Q. Aspectos econômicos da cadeia produtiva dos óleos de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) na Floresta Nacional do Tapajós – Pará. **Revista Floresta**, v. 40, n. 1, p. 23-28, 2010.

SANTOS, A. J.; HILDEBRAND, E.; PACHECO, C. H. P.; PIRES, P. T. L.; ROCHADELLI, R. Produtos não madeireiros: conceituação, classificação, valoração e mercados. **Revista Floresta**, v. 33, n. 2, p. 215-224, 2003.

SANTOS, B. R.; PAIVA, R.; NOGUEIRA, R. C.; OLIVEIRA, L. M.; SILVA, D. P. C.; MARTINOTTO, C.; SOARES, F. P.; PAIVA, P. D. O. Micropropagação de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 293-296, 2006.

SANTOS, L. J.; MARMONTEL, C. V. F.; MARTINS, T. M. MELO, A. G. C. Fitossociologia de cerrado *sensu stricto* localizado no município de Carbonita–Mg. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 15, n.1, p. 77-80, 2010.

SANTOS, P; PORTO, A. G; SILVA, F. S; FURTADO, G. F. Avaliação físico-química e sensorial do Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) submetido à desidratação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 2, p. 115-123, 2010.

SARMIENTO, G. The savannas of tropical America. Pp. 245–288. In: BOURLIERE, F. (ed.); **Ecosystems of the World 13: Tropical Savannas**. Amsterdam: Elsevier, 1983. 742p.

SCHAEFER, H. N., SCHMIDT, V.; WESENBERG, J. Vertical stratification and caloric content of the standing fruit crop in a tropical lowland forest. **Biotropica**, v. 34, p. 244-253, 2002.

SCHMDLT, I. B.; FIGUEIREDO, I. B.; SCARIOT, A. Ethnobotany and effects of harvesting on the population ecology of *Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae), a NTFP from Jalapao Region, Central Brazil. **Economic Botany**, v. 61, n. 1, p.73-85, 2007.

SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. Tree–grass interactions in savannas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, p. 517-544, 1997.

SCHOLES, R. **Ecologia e extrativismo da Castanheira (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) em duas regiões da Amazônia Brasileira**. Tese. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, Manaus, Amazonas, 2010. 209p.

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. **Sampling methods for multi-resource forest inventory**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993. 446 p.

SCHUPP, E. W. Annual variation in seedfall, post-dispersal predation, and recruitment of a neotropical tree. **Ecology**, v. 71, p. 504–515. 1990.

SHACKLETON, S. E.; SHACKLETON, C. M.; NETSHILUVHI, T. R.; GEACH, B. S.; BALANCE, A.; FAIRBANKS, D. H. K. Use patterns and value of savanna resources in three rural villages in South Africa. **Economic Botany**, v. 56, n.2, p. 130-146, 2002.

SHANKAR, U.; HEGDE, R.; BAWA, K. S. Extraction of Non-Timber Forest Products in the Forests of Biligiri Rangan Hills, India: 6. Fuelwood Pressure and Management Options. **Economic Botany**, v. 52, n. 3, p. 320-336, 1998.

SHEIL, D.; WUNDER, S. The value of tropical forest to local communities: Complications, caveats, and cautions. **Conservation Ecology**, v. 6, n. 2, p. 257-279, 2002.

SHONE, B. M.; HARRIS, J. L. C. Quantifying and comparing the value of non-timber forest products in the Amazon. **Ecological Economics**, v. 58, n. 2, p. 249- 267, 2006.

SHUMSKY, S.; HICKEY, G. M.; JOHNS, T.; PELLETIER, B.; GALATY, J. Institutional factors affecting wild edible plant (WEP) harvest and consumption in semi-arid Kenya. **Land Use Policy**, v. 38, p. 48-69, 2014.

SIEBERT, S. Demographic effects of collecting rattan can and their implications for sustainable harvesting. **Conservation Biology**, v. 18, n. 2, p. 424-431, 2004.

SILVA JR. M. C. **100 árvores do Cerrado: guia de campo**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2005. 360 p.

SILVA, C. O. **Produção de resina de breu (Burseraceae) no Assentamento Rural Cristo Rei do Uatumã – Amazonas**. Dissertação. Instituto Nacional de Pesquisas de Amazônia, Manaus, Amazonas, 2009. 85p.

SILVA, D. B. da.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SILVA, J. A.; PEREIRA, A. V.; SALVIANO, A.; JUNQUEIRA, G. D. Avaliação do potencial da produção do “pequizeiro-anão” sob condições naturais na região sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 726-729, 2001.

SILVA, J. A.; SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. J.; ANDRADE, L. R. M. **Frutas nativas dos Cerrados**. Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Brasil (EMBRAPA), p. 50-149, 1994.

SILVA, J. F.; FARINAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 536-548, 2006.

SILVA, T. A.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; VIEIRA, A. T.; OLIVEIRA, M. F.; BATISTA, A. C. F. Methylic and ethylic biodiesels from pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.): Production and thermogravimetric studies. **Fuel**, v. 136, p. 10-18, 2014.

SILVIUS, K. M.; FRAGOSO, J. M.; Red-rumped agouti (*Dasyprocta leporina*) home range use in an Amazonian forest: Implications for the aggregated distribution of forest trees. **Biotropica**, v. 35, p. 74–83, 2003.

SINHA, A.; BAWA, K. S. Harvesting techniques, hemiparasites and fruit production in two non-timber forest tree species in south India. **Forest Ecology and Management**, v. 168, n. 1-3, p. 289-300, 2002.

SIQUEIRA, B. S.; ALVES, L. D.; VASCONCELOS, P. N.; DAMIANI, C.; SOARES JÚNIOR, M. Pectina extraída de casca de pequi e aplicação em geleia light de manga. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 560-567, 2012.

SMYTHE, N. Relationships between fruiting seasons and seed dispersal methods in a neotropical rain forest. **American Naturalist**. v.104, p. 25–35. 1970.

SOARES, C. P. B.; RODELLO, M. C.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; SOARES, V. P.; SILVA, G. F. Comparação entre procedimentos de amostragem para espécies florestais raras e padrão de distribuição espacial agregado. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, 2009.

SOARES, J. D. H.; ALVES, R. K.; ISAC, E.; BEZERRA, J. C. B.; GOMES, M. H.; SANTOS, S. C.; FERRI, P; H. Atividade tripanocida in vivo de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão verdadeiro) e *Caryocar brasiliense* (pequi). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 12, p. 01-02, 2002.

SOEHARTONO, T.; NEWTON, A. C. Conservation and sustainable use of tropical trees in the genus *Aquilaria* II. The impact of gaharu harvesting in Indonesia. **Biological Conservation**, v. 97, n. 1, p. 29-41, 2001.

SOUZA, C. D.; FELFILI, J. M. Uso de plantas medicinais na região de Alto Paraíso de Goiás, GO, Brasil. **Acta Botânica Brasílica.**, v. 20, n. 1, p. 135-142, 2006.

SOUZA, O. A.; NASCIMENTO, J. L.; NAVES, R. V.; BORGES, J. D. Propagação sexuada de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.): efeito da procedência de frutos e do ácido giberélico na emergência de plântulas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 131-136, 2007.

STOCKDALE, M. C.; WRIGHT, H. L. Rattan inventory: determining plot shape and size. Pp. 523-533. In: EDWARDS, D. S., BOOTH, W. E., CHOY, S. C. **Tropical Rainforest Research – Current Issues**. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1996.

STOCKDALE, M. **Steps to sustainable and community-based NTFP management**. Non Timber Forest Products-Exchange Programme for South and Southeast Asia, Philippines. 2005.

SVENNING, J. C.; MACIA, M. J. Harvesting of *Geonoma macrostachys* Mart. leaves for thatch: an exploration of sustainability. **Forest Ecology and Management**, v. 167, n. 1-3, p. 251-262, 2002.

TEWARI, D. D.; CAMPBELL, J. Y. Increased development of non-timber forest products in India: some issues and concerns. **Unasyuva**, v. 47, n. 187, p. 26-31, 1996.

THOMPSON, S. K. Adaptive cluster sampling. **Journal of the American Statistical Association**, v. 85, n. 412, p. 1050-1059, 1990.

THOMPSON, S. K.; SEBER, G. A. F. **Adaptive Sampling**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 265p.

TICKTIN, T. Applying a metapopulation framework to the management and conservation of a non-timber forest species. **Forest Ecology and Management**, v. 206, n. 1-3, p. 249-261, 2005.

TICKTIN, T. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1, p. 11-21, 2004.

TICKTIN, T. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, p. 11-21, 2004.

TONINI, H. Amostragem para a estimativa de produção de sementes de castanheira-do-Brasil em floresta nativa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 519-527, 2013.

TONINI, H.; KAMISKI, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1509-1516, nov. 2008.

TONINI, H.; COSTA, P.; KAMISKI, P. E. Estrutura, distribuição espacial e produção de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) no sul do estado de Roraima. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 3, p. 247-255, 2009.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1509-1516, 2008.

TRAUERNICHT, C.; TICKTIN, T. The effects of non-timber forest product cultivation on the plant community structure and composition of a humid tropical forest in southern Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 219, n. 2-3, p. 269-278, 2005.

TRINDADE, M. da G.; CHAVES, L. J.; VELOSO, R. N.; BORGES, J. D. Variabilidade genética entre progênies e subpopulações de caracteres do fruto e da semente de pequi USP. Agência USP de Notícias. **Laboratório testa biodiesel com óleos de plantas brasileiras em veículos e locomotivas**. São Paulo, 12/12/2003 - Boletim nº 1336.

UBIALLI, J. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos e estimativas de estoque de uma Floresta Ecotonal na região norte mato-grossense**. Tese. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007. 241p.

VAN KOOTEN, G. C., BINKLEY, C. S., DELCOUT, G. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon service. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 77, n. 2, p. 365-374, 1995.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124p.

VERA, R. **Caracterização física e química de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) de diferentes regiões do Estado de Goiás**. Dissertação. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás. 2004, 50 p.

VERA, R.; SOUZA, E. R. B.; FERNANDES, E. P. NAVES, R. V.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; XIMENES, P. A. Caracterização física e química de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) oriundos de duas regiões no estado de Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 93-99, 2007.

VIEIRA, R. F.; MARTINS, M. V. M. Recursos genéticos de plantas medicinais do Cerrado: uma compilação de dados. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 3, n. 1, p. 13-36, 2000.

VILAS BOAS, B. M. V.; VALÉRIO, J. M.; GONÇALVES, G. A. S.; ALVES, T. C.; RODRIGUES, L. J.; VILAS BOAS, E. V. B.; ALVES, J. A.; PICCOLI, R. H. Qualidade de pequis fatiados e inteiros submetidos ao congelamento. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 904-910, 2012.

VILELA, A. L. M.; PORTILHO, F. A.; ARAUJO, V. G. B.; ESTEVANATO, L. L. C.; MEZZOMO, B. P.; SANTOS, M. F. M. A.; LACAVAL, Z. G. M. The protective effects of nutritional antioxidant therapy on Ehrlich solid tumorbearing mice depend on the type of antioxidant therapy chosen: histology, genotoxicity and hematology evaluations. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 22, n. 11, p. 1091-1098, 2011.

VILELA, G. F. **Variações e populações naturais de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae): fenológicas, genéticas e de valores nutricionais de frutos**. Dissertação. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 88 p, 1998.

VILELA, G. F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F. A. Fenologia de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) no Alto Rio Grande, Sul de Minas Gerais. **Cerne**, v.14, n.4, p. 317-329, 2008.

VOIGT, A. R. A.; SOFFIATTI, P.; MAZELLO FILHO, T.; LISI, C. S.; BOEGER, M. R. T. Anatomia comparada do lenho de *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) em fisionomias de cerradão e *sensu stricto*. **Rodriguésia**, v. 61, n. 4, p. 603-613, 2010.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; SERRANO, R. O. P. Sustainable forest use in Brazilian Extractive Reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332-346, 2008.

WICKENS, G. E. Management issues for development of non-timber forest products. *Unasylva*, v, 42, n. 165, p. 3-8, 1991.

WONG, J.L.G.; THORNBUR, K.; BAKET, N. **Resource assessment of non-wood forest products**: experience and biometric principles. Rome: FAO, 2001. 110p. (FAO. Non-wood forest products technical papers, 13).

WRIGHT, S. J., CARRASCO, C.; CALDER, O.; PATON, S. The El Nino Southern Oscillation, variable fruit production, and famine in a tropical forest. *Ecology*, v. 80, p. 1632-1647, 1999.

ZUIDEMA, P. A., BOOT, R. G. A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, n. 1, p. 1-31, 2002.

ZUIDEMA, P. A.; BOOT, R. G. A. Demographic constraints to sustainable palm heart extraction from a sub-canopy palm in Bolivia. Pp.53-79. In: ZUIDEMA, P.A. (ed.) **Demography of exploited tree species in the Bolivian Amazon**. Universiteit Utrecht e Programa de Manejo de bosques de la Amazônia boliviana. Riberalta, Bolívia. 2000.

Capítulo 2. MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DO PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cambess).

2.1 RESUMO

Em função da demanda por quantificar os produtos florestais não madeireiros, esse trabalho teve por objetivo investigar quais atributos morfométricos do pequi, *Caryocar brasiliense*, estão relacionados com a produção de frutos e, a partir dessas relações, modelar a produção. O estudo foi conduzido em uma área de 36,5 ha de cerrado *sensu stricto*, na região da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais, onde foi realizado o censo de árvores adultas de pequi. Do censo, selecionamos aleatoriamente 10% das árvores de cada classe de diâmetro para compor a amostra de árvores para modelagem. Em dois anos consecutivos foi realizado o censo dos frutos nas árvores selecionadas e coletadas variáveis quantitativas e qualitativas da copa e do fuste das árvores. A partir dessas variáveis geramos índices de copa, que foram avaliados para verificar se existe diferença morfométrica entre classes de produção de frutos. Esses índices juntamente com as variáveis medidas em campo, foram também avaliados nos modelos de produção. Detectamos que árvores com fustes não tão altos e copas abrangentes produzem mais frutos; a qualidade de copa, dada pela assimetria da projeção da copa, influência na produção de frutos; o diâmetro do fuste, tomado a 0,30 m do solo, e a área da copa são as variáveis mais importantes nos modelos de produção de frutos de pequi; e o modelo logístico em função da área da copa é o mais adequado para estimativa de frutos de pequi por árvore, contudo, é necessário utilizar equações diferentes para estimar a densidade de frutos em anos de baixa e alta produtividade.

Palavras-chave: Quantificação não madeireira; morfometria; produção.

2.2 ABSTRACT

Due to the demand for quantification of non - timber forest products, the objective of this work was to investigate which moriometric attributes of pequi, *Caryocar brasiliense*, are related to fruit production and, from these relationships, to model production. The study was conducted in an area of 36.5 ha of cerrado *sensu stricto*, in the Serra do Espinhaço region of Minas Gerais, where census of pequi adult trees was carried out. From the census, we randomly selected 10% of the trees of each diameter class to compose the sample of trees for modeling. In two consecutive years the census of the fruits in the selected trees was carried out and quantitative and qualitative variables of the canopy and stem of the trees were collected. From these variables we generated cup indexes, which were evaluated to verify if there is a morphometric difference between classes of fruit production. These indices along with the variables measured in the field were also evaluated in the production models. We have found that trees with not-so-tall shafts and broad canopies produce more fruit; The crown quality, given by the asymmetry of the canopy projection, influence on the production of fruits; The diameter of the stem, taken at 0.30 m from the ground, and the crown area are the most important variables in the production of pequi fruit; And the logistic model as a function of crown area is the most adequate for estimation of pequi fruits per tree, however, it is necessary to use different equations to estimate the density of fruits in years of low and high productivity

Keywords: Non-timber quantification; Morphometry; production.

2.3 INTRODUÇÃO

A quantificação dos recursos florestais, sejam provenientes de ecossistemas naturais ou não, pode ser obtida a partir de métodos diretos (determinação) ou indiretos (estimativos). Dentre os métodos indiretos, as técnicas de modelagem ou uso de modelos estatísticos, têm se destacado, especialmente, na estimativa de estoques em volume e biomassa, até mesmo, ao nível de árvores individuais (MABVURIRAA; MIINA, 2002; MENDES et al., 2006; CASTRO, 2013).

Entretanto, para outros recursos florestais, como é o caso dos produtos não madeireiros (PFNMs), as técnicas de modelagem ainda são raras em função, principalmente, da diversidade desses produtos e da falta de técnicas de amostragem apropriadas e cientificamente consolidadas para cada tipo de produto (frutos, sementes, folhas, resinas, etc). A grande maioria das estimativas, em geral, é ainda realizada de forma empírica, com pouca fundamentação estatística.

Em particular no Brasil, que detém a maior biodiversidade de espécies florestais do mundo (LEWINSOHN; PRADO, 2002) e, conseqüentemente, grande variedade de multiprodutos, poucos trabalhos foram desenvolvidos para quantificação PFNMs. Entre as espécies mais estudadas, destaca-se a castanha do Brasil, *Bertholletia excelsa* (KAINER et al., 2007; TONINI et al., 2008; IVANOV, 2011), o açaizeiro, *Euterpe precatoria* Mart. (ROCHA, 2004; MULER, 2014), a copaíba (RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004; SANTOS; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; GUERRA, 2012) e a andiroba (HAMMER; JOHNS, 1993; FERRAZ et al, 2002; SILVA et al., 2004)

Um dos biomas brasileiros que se destaca pelo grande potencial não madeireiro é o Cerrado (AFONSO; ÂNGELO, 2009). Apontado como a savana mais rica do mundo em diversidade de espécies vasculares (WALTER, 2006), esse bioma sofre com a destruição de seus habitats naturais (SANO et al., 2010), sendo, por isso, incluído entre os 35 ecossistemas do mundo com prioridade para a conservação (WILLIAMS et al., 2011). A pressão sobre muitas áreas naturais do Cerrado se deve, principalmente, ao fato de ocorrerem sobre solos profundos e bem drenados, muito visados para a implantação de atividades agropastoris (CARVALHO et al., 2009).

Além disso, deve ser considerado também o fato alguns não valorizarem a vegetação do Cerrado simplesmente porque quase todas as suas espécies não produzem madeira nobre de valor econômico, como é o caso de outros ecossistemas tropicais, como a Floresta Amazônia. Na realidade, muitos desconhecem ou ignoram o potencial

não madeireiro do Cerrado, que, acreditamos que se explorado racionalmente, pode, certamente, ser uma opção econômica viável para o uso alternativo do solo.

Dentre as espécies com grande potencial não madeireiro na região do Cerrado está o pequi, *Caryocar brasiliense* Cambess., cujo fruto é bastante conhecido por seu valor nutricional e econômico (CORREA et al., 2008, MOURA et al., 2013) e, também, muito apreciado pela população de vários estados do norte, nordeste, sudeste e centro-oeste (ALMEIDA et al., 1998, AFONSO, 2008). O fruto do pequi é muito rico em proteínas e carotenoides (OLIVEIRA et al., 2006), que atuam como antioxidantes (OLIVEIRA et al., 2010; CORDEIRO et al., 2012) e são fonte de vitaminas. O óleo extraído do fruto também tem excelente qualidade para fabricação de cosméticos (ALMEIDA; SILVA, 1994) e biodiesel (SILVA et al., 2014).

Embora o pequi seja uma espécie importante na região do Cerrado devido, principalmente, ao seu papel ecológico e econômico (ALMEIDA et al., 1998; CORREA et al., 2008; MELO JR. et al., 2012; MOURA et al., 2013), faltam ainda alguns estudos que possam subsidiar o seu uso sustentável. Um dos requisitos fundamentais para o estabelecimento de estratégias que viabilizem o manejo de um PFSM é a sua quantificação (PETERS, 1994). Assim, neste estudo, buscamos investigar atributos morfométricos da espécie *Caryocar brasiliense* e relacioná-los a produção de frutos, visando modelar a produção. Nesta pesquisa procuramos responder as seguintes questões: A produção de frutos de pequi está condicionada a características morfométricas das árvores? É possível modelar a produção de frutos com base em uma ou mais características morfométricas? Sendo possível a modelagem, poderemos utilizar um único modelo para estimar a produção em anos de baixa ou de alta produção?

2.4 OBJETIVO PRINCIPAL

- Modelar a produção de frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) em função de variáveis morfométricas da copa e do tronco de suas árvores.

2.4.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a correlação da produção de frutos de pequi com variáveis morfométricas de suas árvores (tronco e copa).
- Avaliar a variação de variáveis morfométricas qualitativas e quantitativas (tronco e copa) por classe de produção de frutos.

2.5 MATERIAL E MÉTODOS

2.5.1 Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em uma área de 36,5 ha de cerrado *stricto sensu* (RIBEIRO; WALTER, 2008), do Parque Estadual do Rio Preto (PERP), localizado no Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG, na Serra do Espinhaço (Figura 2.1). O PERP possui 12.184 ha de área preservada e está totalmente inserido nos domínios do Bioma Cerrado. O clima da região é mesotérmico, CWb na classificação de Köppen, e os solos são constituídos por sedimentos aluviais formados a partir do intemperismo de rochas quartzíticas (SILVA; CARMO, 2003). A temperatura média anual é de 18,7 °C, com invernos frios e secos e verões brandos e úmidos, e a precipitação média anual de 1.500 mm (SILVA, 2005). A umidade relativa do ar está em torno de 70,6% (NEVES et al., 2005). A vegetação predominante do PERP é representada por formações campestres e savânicas, mas, embora sejam encontradas áreas com floresta estacional semidecidual, afloramentos de rocha, campos e cerrados rupestres (IEF, 2004).

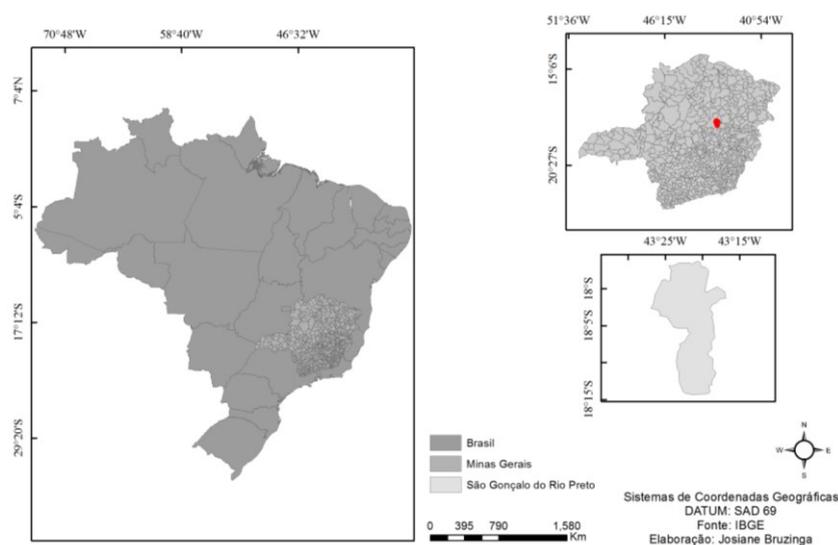


Figura 2.1. Mapa de localização geral do Parque Estadual do Rio Preto (PERP), no Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG.

2.5.2. Coleta de dados

Em 2011 foi realizado na área de estudo, o censo dos pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Cambess) com diâmetro a 30 cm do solo (DAS) \geq 5 cm, sendo registrados 2.201 indivíduos (BRUZINGA et al., 2013). Os pequizeiros foram distribuídos em

classes de DAS com intervalo de 5 cm para posterior seleção aleatória de 10% dos indivíduos em cada classe, resultando em uma amostra de 225 árvores que seriam utilizadas na modelagem da produção de frutos de pequi. Em fevereiro e março de 2014 (ano 1) e 2015 (ano 2), durante o período de máxima maturação dos frutos de pequi no PERP, registramos para cada árvore selecionada a produção total de frutos (PF) e algumas características morfométricas (qualitativas e quantitativas) do tronco e da copa.

A PF por árvore foi obtida a partir da contagem de todos os frutos na árvore e dos frutos caídos sob sua respectiva copa. Realizamos a contagem por galho, com auxílio de escada e binóculo. Cada galho recebia um marcador para evitar a recontagem.

As variáveis morfométricas quantitativas mensuradas foram: DAS; altura de inserção da copa – AIC (distância da base do tronco até o início da copa considerando a tortuosidade do tronco); altura do solo – AS (distância da base do tronco ao topo da copa desconsiderando a tortuosidade do tronco); altura total – AT (distância da base do tronco ao topo da copa considerando a tortuosidade do tronco – Ver fotos Apêndice 4.1); altura da copa – AC; e diâmetro da copa – DC (média entre o maior diâmetro da copa e o diâmetro perpendicular à este). Indivíduos que perderam a copa em função da idade, por exemplo, e atualmente se encontra com pequenas rebrotas, foram considerados tendo diâmetro de copa igual a zero.

A partir destas variáveis foram geradas as variáveis combinadas: área da copa – Gc e os índices: proporção de copa ($PC = \frac{AC}{AT} \times 100$), índice de abrangência ($IA = \frac{DC}{AT}$), formal da copa ($FC = \frac{DC}{AC}$) e índice saliência ($IS = \frac{DC}{DAS}$) (CUNHA; FINGER, 2013). Devido à grande variação (26%) entre o maior diâmetro da copa e o diâmetro perpendicular a este, calculamos a área da copa pela fórmula de elipse. As definições e relações esperadas para os índices de copa são listados na Tabela 2.1.

Quanto às variáveis morfométricas qualitativas foram avaliadas a qualidade do fuste (Qf), a qualidade da copa (Qc) e a iluminação da copa (IL), considerando três níveis de classificação (SOUZA; SOARES, 2013). As classes para qualidade do fuste foram: 1 = fuste tortuoso e com defeitos (rachaduras, fungos, insetos); 2 = fuste tortuoso e livre de quaisquer defeitos; e 3 = fuste com pouca tortuosidade e livre de quaisquer defeitos. Para qualidade da copa: 1 = copa permeável e com assimetria alta, ou seja, num perfil transversal abrange apenas um quadrante projetado, partindo do eixo central da árvore; 2 = copa densa e com assimetria média, ou seja, num perfil transversal abrange de dois a três quadrantes projetados, partindo do eixo central da árvore; e 3 =

copa densa e perfeita, ou seja, num perfil transversal abrange todos os quadrantes projetados, partindo do eixo central da árvore. E, para iluminação da copa: 1 = copa sem iluminação; 2 = copa com iluminação parcial e 3 = copa a pleno sol.

Tabela 2.1. Definição dos índices de copa e suas relações esperadas com a produção

Índice	Definição e relações esperadas
Proporção de copa (PC)	Relação entre a altura copa e altura total da árvore. Esse índice, juntamente com características qualitativas da copa, é um indicador da vitalidade das árvores. Quanto maior a porcentagem de copa, tanto mais vital e produtiva é a árvore (HASENAUER, 1997).
Índice de abrangência (IA)	Relação entre diâmetro da copa e altura total da árvore. Tende a diminuir com a altura, porque o aumento na altura não é acompanhado, proporcionalmente, pelo aumento do DC. Pode ser utilizado como indicador da necessidade de intervenções silviculturais, informando o número de árvores que pertencem a um hectare sem sofrer concorrência (DURLO; DENARDI, 1998; ROMAN et al., 2009).
Formal de copa (FC)	Relação entre o diâmetro de copa e a altura total. Para uma mesma espécie e sítio, quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade da árvore (DURLO; DENARDI, 1998), ou seja, produz mais (madeira) a árvore que tiver copa mais esbelta, pois, terá maior manto de copa, para uma mesma área de projeção.
Índice de saliência (IS)	Expressa quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o DAP. Quando se prevê o manejo de um povoamento pelo diâmetro atingido, o número máximo de árvores por unidade de área pode ser determinado pelo índice de saliência, se existir uma correlação significativa entre este e o DAS (DURLO; DENARDI, 1998).

2.5.3. Análise de dados

As produções de frutos de pequi obtidas em 2014 e 2015 foram agrupadas em cinco classes de produção de frutos (PF), conforme classificação abaixo, para verificar a possibilidade de usar a média dos dois anos na classificação.

- a) Classe 1: Produção nula ($PF = 0$);
- b) Classe 2: Produção baixa ($0 < PF \leq \bar{X} - 1s$);
- c) Classe 3: Produção média ($\bar{X} - 1s < PF \leq \bar{X} + 1s$);
- d) Classe 4: Produção alta ($\bar{X} + 1s < PF \leq \bar{X} + 2s$);
- e) Classe 5: Produção muito alta ($PF \geq \bar{X} + 2s$).

em que \bar{X} é a média da produção total de frutos e s o desvio padrão.

Em seguida construímos uma matriz de confusão (CONGALTON, 1991) (Tabela 2.2) e verificamos que grande percentual dos indivíduos de cada classe mudou para as classes de menor produção no ano de 2015. Na classe 3, por exemplo, do total de indivíduos que compunham essa classe em 2014 (42,2%), 17,8% migraram para a classe 2 e 15,1% para a classe 1 no ano de 2015. Assim, optamos por usar a classificação do primeiro ano (2014) ao invés da média, para as análises que se seguem.

Tabela 2.2. Matriz de confusão para os dados de produção de frutos de pequi por classe para os anos de 2014 e 2015

2015 \ 2014	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Total
Classe 1	22,7%	5,3%	15,1%	2,7%	0,9%	46,7%
Classe 2	5,8%	4,4%	17,8%	4,9%	1,3%	34,2%
Classe 3	1,8%	0,0%	4,9%	3,1%	0,9%	10,7%
Classe 4	0,0%	0,4%	3,1%	0,4%	0,4%	4,4%
Classe 5	0,4%	0,0%	1,3%	0,0%	2,2%	4,0%
Total	30,7%	10,2%	42,2%	11,1%	5,8%	100%

A modelagem da produção de frutos de pequi foi baseada na seleção de variáveis morfométricas, quantitativas e qualitativas, mais relacionadas com produção. A variável DAS não foi avaliada previamente, devido a facilidade de sua obtenção e, também, pelo fato da sua relação com a produção de pequi já ser conhecida (SANTANA; NAVES, 2003).

Para avaliar a influência das variáveis Gc e Pc e dos índices IA, FC e IS na produção de frutos e posterior escolha das variáveis que seriam incluídas na modelagem, utilizamos o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (GUIMARÃES, 2003), e, para avaliar a influência das variáveis AT, AF, AC e AS na produção e entre estas selecionar as mais significativas, foi utilizada a análise de correlação de Spearman, considerando um nível de significância de 5%.

Usamos o teste de Kruskal-Wallis para avaliar possíveis diferenças na morfometria da árvore entre as classes de produção. A escolha deste teste se deu em função da não normalidade dos dados, observada dentro das classes (Kolmogorov-Smirnov significativo para todas as classes, $p = 0,0003$). Para identificar os contrastes utilizamos o teste de Mann-Whitney com a aplicação da correção de Bonferroni para comparações múltiplas (GUIMARÃES, 2003). A hipótese nula do teste de Kruskal-Wallis é que não existe diferença entre as médias avaliadas.

A relação prévia das variáveis morfométricas qualitativas (QF, QC e IC) com a produção de frutos de pequi foi avaliada por meio de gráficos *Box plots* (BUSSAB; MORTTIN, 2013), por se tratar de variáveis categóricas.

Após todas as análises e de posse das variáveis independentes pré-selecionadas, testamos diversos modelos estatísticos de regressão, lineares e não lineares, para estimar a produção de frutos de pequi. O pressuposto da normalidade dos dados foi avaliado pelo teste de Lilliefors (GUJARATI, 2006). Para a formulação dos modelos lineares consideramos as relações empíricas esperadas entre variáveis.

Em relação aos modelos não lineares, testamos os modelos Logístico e de Gompertz, já utilizados em estimativa de produção de frutos (GÉNARD et al., 1991; PRADO et al., 2013; MATTOS, 2016). Para estes modelos consideramos como variável independente, aquelas que apresentaram tendência não linear com a produção. Os parâmetros foram estimados pelo método iterativo de Gauss Newton (SOUZA, 1998) no software Curve Expert, versão 1.3, para Windows (HYAMS, 1997). A significância estatística das variáveis independentes dos modelos lineares e não lineares foram avaliadas pelo teste t (5% de significância).

Cada modelo foi ajustado para o ano 1 (2014), ano de alta produção e para o ano 2 (2015) ano de baixa produção. A diferença de produção entre os anos avaliados, que permitiu designá-los como ano de alta e baixa produção, foi verificada pela significância do teste t ($p=0,00618$).

Para o ajuste dos modelos foram selecionados, aleatoriamente, em cada ano, 80% dos pequizeiros (dados do ajuste), sendo os 20% restantes utilizados para a validação do modelo selecionado. Quando necessário foi aplicado o Fator de Inflação de Variação (FIV) (MATOS, 2000) para inferir sobre a multicolinearidade.

A avaliação dos modelos para o ano 1 e 2, foi feita por meio da análise do sinal dos coeficientes, análise gráfica dos resíduos e das estatísticas de precisão: coeficiente de correlação (r), erro padrão residual (S_{xy}) (MURPHY; STERNITZKE, 1979) e *bias* (SIIPILEHTO, 2000), dados por:

$$r = \sqrt{\frac{SQ_{Reg}}{SQ_{total}}}$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n - p - 1}} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$$

em que SQ_{Reg} = soma de quadrados da regressão; SQ_{total} = soma de quadrados total; n = o número de árvores de pequi; p = número de variáveis independentes; Y_i = produção observada de frutos de pequi (número de frutos) na árvore i ; \hat{Y}_i = produção estimada de frutos de pequi (número de frutos) na árvore i .

Aos modelos com coerência dos sinais, $r \geq 0,7$ e boa distribuição dos resíduos, em ambos anos modelados, foi aplicado o critério de informação de Akaike (1974), visando a seleção do modelo mais adequado. Para validação do modelo selecionado, como objetivo de verificar a aderência dos dados observados aos dados estimados, foi aplicado o teste de X^2 (Qui-quadrado), ao nível de 5% de significância. A hipótese nula do teste X^2 diz que as frequências observadas não diferem das frequências esperadas. O teste de X^2 é dado por:

$$X^2 = \sum [(\theta - e)^2 / e]$$

em que:

θ = frequência observada para cada classe de produção;

e = frequência esperada para cada classe de produção.

À equação selecionada foi aplicado o teste de identidade de modelos, conforme descrito em Regazzi (2003), a fim de verificar a possibilidade de uso de uma única equação para estimativa da produção de frutos tanto em anos de baixa quanto de alta produção. Equações auxiliares também foram ajustadas, visando estimar as variáveis do modelo selecionado em função de variáveis cuja medição em campo requer menor esforço.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No censo da produção de frutos de pequi (PF) realizado nas 225 árvores amostradas, registramos 2.471 frutos no ano 1 e 1.656 frutos no ano 2. Os diâmetros dos indivíduos variaram de 5 a 81 cm. A distribuição dos indivíduos por classe diamétrica para os dois anos, bem como a produção de frutos por classe, não apresentaram

tendência definida em suas frequências (Figura 2.2). Nos dois anos as classes de 12,5, 17,5 e 22,5 produziram juntas mais da metade da produção total nos referidos anos. Porém a produção média por indivíduo nessas classes é baixa. Existem indivíduos produzindo na menor classe (7,5), contudo mesmo sendo uma classe de alta densidade de indivíduos a produção total de frutos é baixa. Indicando, a priori, que alguma característica dendrométrica, provavelmente relacionada com a idade, tem influência na produção de frutos, o que será averiguado com as demais análises. Seguindo essa mesma hipótese, observa-se que as maiores classes possuem as maiores médias de produção por indivíduo.

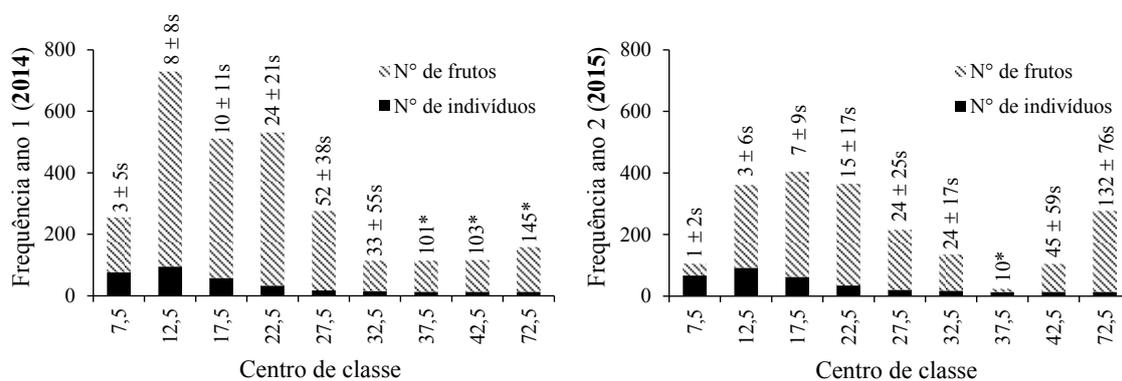


Figura 2.2. Distribuição de árvores de pequi e da produção de frutos por classe diamétrica para o ano 1 (2014) e para o ano 2 (2015). O valor informado acima da barra com listras na diagonal, indica a produção média por árvore e o desvio padrão (s), e o símbolo asterisco (*) indica que só ocorreu 1 indivíduo na classe.

Para ambos os anos, verificamos que os dados de produção não apresentaram normalidade pelo teste de Lilliefors ($p < 0,05$). Tal fato se deve a grande porcentagem de pequizeiros com produção nula (31% no ano 1 e 46% no ano 2), o que é uma característica comum da espécie (SANTANA; NAVES, 2003, LEITE et al., 2006, ZARDO, 2008) e não um problema da amostra (GUJARATI, 2006). Portanto, assumimos o risco de avaliar as relações propostas sem a transformação dos dados.

Das árvores que apresentaram produção zero no ano 1, 74% também tiveram produção zero no ano 2. No ano 1, tais árvores apresentaram valores médios de DAS, altura e altura de copa, iguais a, respectivamente, 11,1 cm, 3,6 m e 4 m. No ano 2, estes valores foram iguais a, respectivamente, 12,0 cm, 4,1 m e 5,8 m. Apesar do grande percentual de árvores que não produziram nos anos 1 e 2, não podemos afirmar que árvores pertencentes a estas dimensões ainda não produzem frutos, pois, além dessas

informações não terem sido observadas num longo prazo, e esta não era a intensão, verificamos que 33% dos indivíduos com produção zero no ano 2 estavam na classe 3 de produção no ano 1.

Para as árvores amostradas verificamos que a proporção de copa (PC), fração (%) em profundidade que a copa abrange em relação à árvore, variou de 6,7% a 75,1%. Contudo, pelo teste de Kruskal Wallis, não detectamos diferença significativa entre as médias desta variável e as classes de PF ($U = 3,428$; $p = 0,488$). Estudo realizado por Durlo; Denardi (1998) em florestas fechadas, mostrou que quanto maior o porcentual de copa, mais produtiva será a árvore e maio será a sua vitalidade. Os resultados encontrados por Leite et al. (2006) podem explicar porque essa relação não se aplicou a produção de pequi. Segundo Leite et al. (2006), o pequi produz maior quantidade de frutos no terço basal, seguido pelo meio e pelas partes apicais da copa, ou seja, copas mais profundas podem reduzir a quantidade de luz interceptada no terço de maior produção.

Quanto ao índice formal de copa (FC), verificamos valores variando entre 0,46 e 10,43, o que significa que a população estudada apresenta tanto árvores com copas esbeltas (FC baixo) quanto árvores com copas achatadas (FC alto). Em média, o diâmetro de copa dos pequizeiros da área estudada chega a ser três vezes maior que a altura da copa (FC médio = 2,99). Esta média é bem superior a encontrada para algumas espécies que também tiveram esse índice avaliado, como: *Laurus nobilis*, 0,63 (MATTOS, 2007), *Cabralea canjerana*, 0,74 (DURLO; DENARDI, 1998) e *Ocotea odorífera*, 1,3 (ORELLANA; KOEHLER, 2008).

Não observamos também qualquer diferença significativa entre as médias de FC e as classes de PF ($U = 6,351$; $p = 0,1744$), portanto, a interpretação clássica do FC (quanto menor FC maior PF, devido ao maior manto de copa para uma mesma área de projeção) não pode ser aplicada à produção de frutos de pequi. Esse resultado é coerente com a forma da copa da maioria das espécies do Cerrado, onde a expansão da copa ocorre horizontalmente em função da baixa densidade de indivíduos arbóreos da baixa competição por luz.

Já para os índices de saliência (IS) e abrangência (IA) e também para a área da copa (Gc), constatamos a existência de diferença significativa ($p = 0,0001$) entre seus valores e as classes de PF ($U = 27,287$; $U = 28,642$; $U = 112,048$, respectivamente). Aplicamos então o teste de Mann-Witney, ao nível de 5% de significância, para detectar

tais diferenças e utilizamos a correção de Bonferroni para comparações múltiplas, multiplicando a probabilidade do teste pelo número de comparações.

O índice de saliência, que representa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o diâmetro do fuste, foi maior na classe mais produtiva (classe 5), que diferiu significativamente das classes nula ($U = 19,839$; $p = 0,0001 \times 5$), baixa ($U = 11,109$; $p = 0,0009 \times 5$) e média ($U = 13,543$; $p = 0,0002 \times 5$), contudo, não diferiu da classe 4. Em média, a copa de um pequizeiro superou 24 vezes o diâmetro do seu fuste.

Se considerarmos o valor médio encontrado para IS e a hipótese de que este índice é invariável com a mudança nas dimensões das árvores (DURLO; DERNARDI, 1998), é possível recomendar que, para produzir pequizeiros com 30 cm de DAS (média da classe mais produtiva) teríamos copas com 7,2 m (30 cm \times 24 cm) de diâmetro. Este valor é próximo a média do diâmetro de copa registrado na maior classe de PF, que foi de 8 metros. Portanto, sabendo que IS pode ser usado como indicador para desbaste (DURLO; DENARDI, 1998), podemos indicar uma densidade de 246 árvores/ha (1ha/40,7m²) como sendo ideal em testes de espaçamentos, visando a otimização da produção de frutos de pequi.

No que se refere ao índice de abrangência (IA), observamos que os pequizeiros mais produtivos apresentam maior IA, o qual diferiu significativamente dos valores registrados em todas as demais classes de PF, ou seja, nula ($U = 18,359$; $p = 0,0002 \times 5$), baixa ($U = 7,929$; $p = 0,0049 \times 5$), média ($U = 11,909$; $p = 0,0006 \times 5$) e alta ($U = 14,016$; $p = 0,0002 \times 5$). Assim, pequizeiros não tão altos e com copas abrangentes, produzem mais.

O IA médio encontrado para o pequi (0,82) foi bem maior que o valor médio registrado para outras espécies, como 0,33 para *Cabrlea canjerana* (DURLO; DENARDI, 1998) e 0,26 para *Cordia trichotoma* (MATTOS, 2007).

O mesmo comportamento do IA foi observado também para a área da copa (Gc). Em média, maior PF (classe muito alta) ocorreu nos pequizeiros com maior Gc e essa produção diferiu significativamente das demais: nula ($U = 32,422$; $p = 0,0001 \times 5$), baixa ($U = 24,243$, $p = 0,0001 \times 5$), média ($U = 33771$; $p = 0,0001 \times 5$) e alta ($U = 19,768$; $p = 0,0001 \times 5$). Uma observação importante a ser considerada ainda é que, médias de Gc para classes de PF próximas não diferiram significativamente entre si, ou seja, classes nula e baixa ($U = 3,013$; $p = 0,0826 \times 5$) e classes baixa e média ($U = 5,931$; $p = 0,0149 \times 5$).

Os resultados obtidos mostram o potencial da variável Gc em quantificar PF de pequi, mesmo que Gc seja bidimensional. Relação positiva e significativa entre estas variáveis já foi observada para *Bertholletia excelsa* (NEVES et al., 2015; ZUIDEMA, 2003) e *Carapa guianensis* (PENA, 2007).

Portanto, comparando todas as variáveis acima apresentadas, selecionamos Gc e IA para compor os modelos de PF a serem analisados.

Quanto as alturas mensuradas em cada árvore, constatamos que altura total (AT) apresenta maior correlação com PF (Tabela 2.3). A correlação entre AT também é alta com as demais alturas (AIC = altura de inserção da copa, AC = altura da copa e AS = altura do solo), e isto reforça o seu potencial em representar todas as alturas nos modelos de PF.

Tabela 2.3. Correlação de Spearman entre produção de frutos de pequi e variáveis dendrométricas

	AT	AF	AS	AC
Produção	0,55*	0,49*	0,42*	0,42*
AF	0,90*			
AS	0,87*	0,79*		
AC	0,64*	0,57*	0,62*	

*Significativo a 5%; ^{ns} = não significativo; AT = altura total; AF = altura do fuste; AS = altura do solo; AC = altura da copa.

Em geral, a variável altura total (AT) demanda maior esforço de medição, já que representa a soma dos segmentos retilíneos da árvore (APENDICE 4.1). Como no cerrado *stricto sensu*, a diferença entre AT e AS (não considera a tortuosidade do tronco) é de aproximadamente 23% (BRUZINGA et al., 2016), se adotamos AS em detrimento de AT para estimar a biomassa, por exemplo, estaremos subestimando essa produção. Sabendo da estreita relação entre acúmulo de biomassa e idade em espécies florestais (REIS et al., 1985), e desta com a fase reprodutiva, aceitamos AT como a mais indicada para compor os modelos de produção.

Avaliando as variáveis qualitativas, verificamos que a qualidade de copa (QC) foi a que mais se distinguiu entre as classes de PF (Figura 2.2). Visto que a Gc teve forte influência sobre PF, era esperado que a qualidade de copa (representada pela densidade e assimetria da projeção da copa) também influenciasse na produção. Portanto, a variável QC foi outra variável utilizada para descrever a copa, dada a impossibilidade prática de medir todos os diferentes raios da mesma.

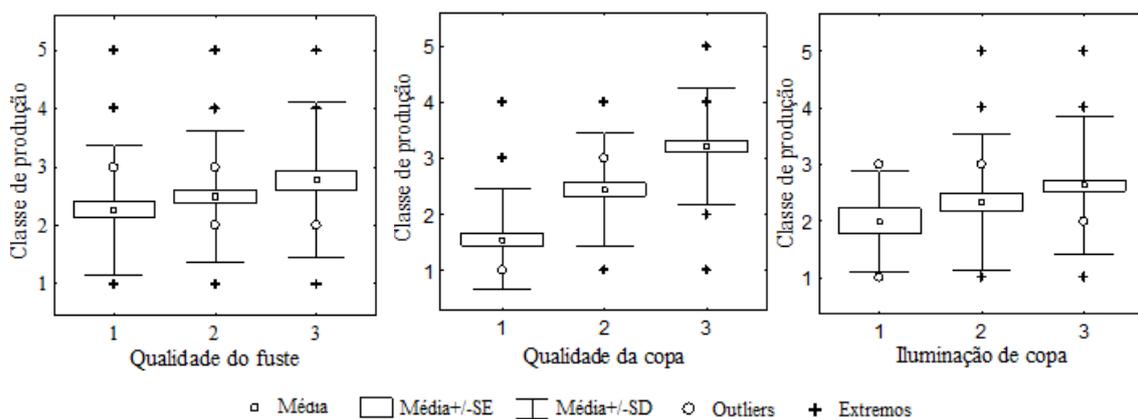


Figura 2.2. Gráfico *Box Plots* representando classes de produção de frutos de pequi em função de variáveis qualitativas da árvore.

Alves et al. (2011) verificaram relação positiva da qualidade fitossanitária do fuste com a produção de frutos, mas, no presente estudo, a qualidade do fuste não apresentou tanto efeito sobre a produção de frutos como a qualidade da copa. Menos influencia ainda teve a iluminação da copa (IL), pois, sendo a área estudada um cerrado *stricto sensu*, isto é, uma fitofisionomia aberta, com 20 a 50% de cobertura (RIBEIRO; WALTER, 2008), esta falta de correlação entre IL e PF era esperada, já que ocorrência de sobreposição de copas tende a ser rara.

Na realidade, não podemos afirmar que a iluminação não seja um fator importante para a produção de frutos. Podemos dizer apenas que, em geral, os pequizeiros da população amostrada estão sob a mesma condição de interceptação de luz. Assim, diante dos resultados observados, selecionamos a variável qualitativa QC para compor o conjunto de variáveis explicativas dos modelos de produção a serem avaliados.

No total foram selecionadas cinco variáveis explicativas para o ajuste de modelos lineares e não lineares para estimar a produção de frutos de pequi para cada ano monitorado (Ano 1 e Ano 2). As variáveis selecionadas foram: DAS, Gc, IA, AT e QC. As médias dessas variáveis por classe de produção e a qualidade de copa predominante em cada classe são apresentadas na Tabela 2.4. Ressaltamos que a diferença das médias entre os anos não dever ser interpretada como crescimento, pois, pode ocorrer, por exemplo, de uma árvore com copa grande (muito acima da média) mudar de classe de produção de um ano para o outro e assim contribuir com o aumento da área média de copa daquela classe.

Tabela 2.4. Média de variáveis dendrométricas quantitativas por classe de produção de frutos e classificação de qualidade de copa predominante por classe. Em que ind. = indivíduo; DAS = diâmetro do fuste a 30 cm do solo; méd. = médio; AT = altura total; Gc = área da copa; IA = índice de abrangência; QC = qualidade de copa e; pred. = predominante

Classe	Ano	% de ind.	DAS méd.	AT méd.	Gc méd.	IA méd.	QC pred.
1	ano 1	30,7%	11,1	3,7	4,0	0,6	1
	ano 2	46,7%	12,1	4,1	5,8	0,7	3
2	ano 1	10,2%	12,5	3,9	5,7	0,7	2
	ano 2	34,2%	15,1	5,0	11,1	0,8	3
3	ano 1	42,2%	13,7	4,5	8,2	0,8	3
	ano 2	10,7%	17,7	5,7	15,4	0,9	3
4	ano 1	11,1%	15,6	5,7	17,8	0,9	3
	ano 2	4,4%	21,9	5,6	29,6	1,2	3
5	ano 1	5,8%	31,1	7,8	45,5	1,0	3
	ano 2	4,0%	37,7	8,2	55,1	1,1	3

Testamos 9 modelos de regressão (Tabela 2.5), sendo um linear completo (M_{LC}), quatro lineares apenas em função de variáveis da copa (M_{copa1} ; M_{copa2} ; M_{copa3} ; M_{copa4}), dois lineares em função de DAS ($M_{Padrão}$; M_{Basal}) e dois não lineares em função apenas ou de DAS ou de Gc. Nos modelos não lineares usamos apenas as variáveis DAS e Gc, por apresentarem tendência não linear com PF (Figura 2.3). Ao formular cada um dos modelos, assumimos a dependência, em princípio empírica, entre as variáveis envolvidas no modelo.

Tabela 2.5. Modelos de regressão testados para estimar produção de frutos de pequi

Formulação	Forma	Modelo
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAS + \beta_2 Gc + \beta_3 AT + \beta_4 IA + \beta_5 QC + \varepsilon_i$	Linear	M_{LC} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAS + \beta_2 AT + \varepsilon_i$	Linear	$M_{Padrão}$ (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAS + \varepsilon_i$	Linear	M_{Basal} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 Gc + \beta_2 IA + \beta_3 QC + \varepsilon_i$	Linear	M_{copa1} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 Gc + \beta_2 IA + \varepsilon_i$	Linear	M_{copa2} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 Gc + \beta_2 QC + \varepsilon_i$	Linear	M_{copa3} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 + \beta_1 IA + \beta_2 QC + \varepsilon_i$	Linear	M_{copa4} (Proposto)
$Y_i = \beta_0 / (1 + \beta_1 \exp(-\beta_3 a_i)) * \varepsilon_i$	Não linear	Logístico
$Y_i = \beta_1 \exp\{-\exp(\beta_2 - \beta_3 a_i)\} * \varepsilon_i$	Não linear	Gompertz

Em que Y_i = produção individual de frutos; β_n = parâmetros dos modelos lineares; DAS = diâmetro do fuste a 30 cm do solo; Gc = área da copa; AT = altura total; IA = índice de abrangência; QC = qualidade da copa; exp = exponencial na base 10. Nos modelos não lineares o β_1 é o parâmetro assintótico; β_2 o parâmetro de escala; β_3 = parâmetro associado à variação da produção individual e; a_i = variável independente (DAS e G); ε_i = erro aleatório.

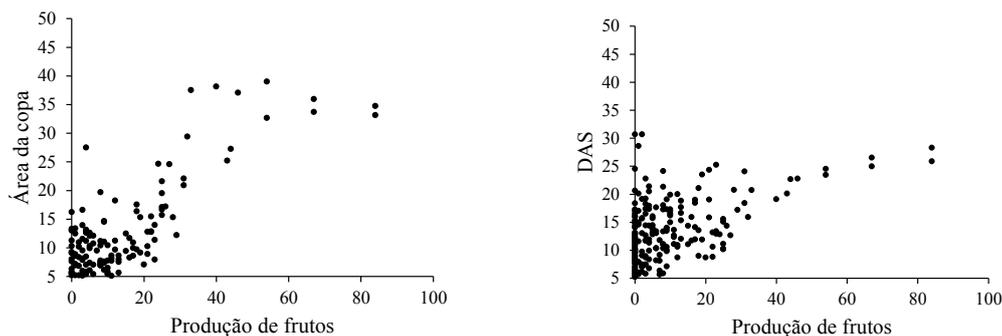


Figura 2.3. Dispersão dos dados de área da copa (Gc) e diâmetro a 30 cm do solo (DAS) em função da produção de frutos.

A Tabela 2.6 apresenta os resultados dos ajustes dos modelos. Entre os modelos testados, verificamos que aqueles com a variável área da copa (Gc) presente em sua formulação apresentaram menores erros de estimativa (S_{xy}), ou seja, a priori, esses modelos seriam os mais adequados. Um modelo adequado está condicionado, dentre outros fatores, à sua correta especificação (GUJARATI, 2006) e por consequência à coerência biológica das variáveis explanatórias com a variável dependente.

Nesse sentido, a área copa se apresentou como uma variável importante na estimativa da produção de frutos de pequi nos dois anos monitorados, mesmo na presença de outras variáveis, sendo significativa em todos os modelos que compôs. Para Taiz; Zeiger (2004), quanto maior a copa de uma árvore maior a sua capacidade fotossintética, devido a maior quantidade de folhas para capturar carbono. Esses autores também ressaltam a relevância da área foliar nos aspectos relacionados com a reprodução. Segundo Snook et al. (2005), árvores de copas maiores possuem maior biomassa radicular, o que reduz o stress de umidade, condicionando a uma maior produção de frutos. Portanto, considerando que o pequi é uma espécie de grande porte, de folhas largas, e que não apresenta caducifolia em suas fenofases (FRANÇOSO et al., 2014), é provável que a relação aqui observada não seja estocástica. Relação semelhante foi encontrada por Zuidema (2003), Wadt et al. (2005) e Neves et al. (2015).

O diâmetro do fuste também foi outra variável importante influenciando na produção de frutos de pequi. Tal variável não foi significativa apenas no modelo linear completo (M_{LC}), conforme verificamos na Tabela 2.6. A relação funcional entre diâmetro e produção de frutos também foi observada por outros autores. Wadt et al. (2005) detectaram relação positiva entre o diâmetro do tronco e a produção de sementes de castanha-do-brasil nas classes intermediárias de produção. O número de plantas com

frutos de pequi foi maior que o de plantas sem frutos a partir do diâmetro de 10 cm, sendo esta uma relação que aumenta com o diâmetro (SANTANA; NAVES, 2003). Na região norte de Minas Gerais, os pequizeiros com troncos mais grossos que 25 cm de diâmetro produzem o dobro de frutos que as árvores com troncos mais finos (OLIVEIRA; SCARIOT, 2010).

Tabela 2.6. Parâmetros das equações ajustadas (modelos lineares e não lineares) para estimativa da produção (em número) de frutos de pequi, para dois anos monitorados (ano de baixa e alta produção) e respectivas estatísticas de precisão (r , S_{xy} e Bias). Valores com asteriscos (*) indicam significância do parâmetro pelo teste t a 95% de probabilidade

	Coeficientes						r	S_{xy}	Bias
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
ano 1	-10,4894*	0,2178	1,2000*	0,9489	0,9235	1,3162*	0,888	8,723	0,000
ano 2	-1,3996*	0,5176	1,1968*	-1,7064	-6,1474	0,37664*	0,943	6,165	0,000
ano 1	-19,6187*	1,6990*	1,5585*				0,767	12,572	0,000
ano 2	-16,8710*	1,5152*	0,2822				0,777	11,520	0,000
ano 1	-16,5924*	1,9698*					0,758	12,745	0,000
ano 2	-16,2295*	1,5598*					0,776	11,493	0,000
ano 1	-2,6114	1,4251*	-4,6339	1,9406*			0,894	8,816	0,000
ano 2	-2,4950	1,2985*	-3,3413	-0,5770			0,931	6,679	0,000
ano 1	-9,7878*	1,1800*	8,5011				0,920	11,236	0,000
ano 2	-3,7060*	1,2898*	-3,3967				0,931	6,675	0,000
ano 1	-5,5057*	1,3901*	1,8557*				0,944	8,870	0,000
ano 2	-18,2221	0,7326*	6,7740				0,630	16,045	0,000
ano 1	-16,8756*	14,7629*	7,9924*				0,414	17,732	0,000
ano 2	-17,4951*	19,5801*	4,1917*				0,356	17,091	0,000
ano 1		144,1432*	142,3857*	0,1471*			0,804	11,631	-0,544
ano 2		136,4832*	162,6023*	0,1143*			0,832	10,112	-0,398
ano 1		144,1432*	44,8159*	0,1011*			0,920	7,683	-0,464
ano 2		136,8507*	94,4456*	0,1070*			0,918	7,220	-0,478
ano 1		158,9242*	0,0644*	31,8425*			0,849	11,681	0,432
ano 2		185,2030*	0,0411*	47,2972*			0,854	10,115	-0,153
ano 1		148,5711*	0,0472*	31,8851*			0,939	7,590	-0,108
ano 2		158,8584*	0,0369*	44,3565*			0,937	6,786	-0,560

A variável altura total apresentou correlação relativamente alta com a PF ($r = 0,59$), mas, sua presença somente foi significativa no modelo padrão ($M_{\text{Padrão}}$) e, apenas para o ajuste da produção do ano 1. Tonini et al. (2008) observaram que para as árvores de castanha do Brasil mais produtivas, as taxas de crescimento em diâmetro são maiores do que em altura. Por se tratar de espécie de fisionomia fechada, onde a competição por luz é maior, Zuidema (2003) explica que após atingir o dossel, a espécie não investe

mais em altura e a relação altura/diâmetro decresce com o aumento do tamanho da árvore. A explicação de Zuidema (2003) está diretamente relacionada ao status reprodutivo da espécie. De acordo com Leite et al. (2006), como o pequi é uma espécie de fisionomia aberta, a produção total de frutos é sempre maior em áreas onde a altura total das árvores também é maior. Isto é esperado devido a baixa competição por luz, justificando assim a presença dessa variável nos modelos.

Apesar do índice IA não ter sido significativo em todos os modelos que compôs, sua presença foi importante na melhoria da precisão do modelo copa2 (M_{copa2}) em relação ao modelo copa3 (M_{copa3}). O M_{copa2} diferencia do M_{copa3} por apresentar o IA em detrimento da variável QC, o que afetou sobremaneira no erro padrão da estimativa (58,3% para o ano 1 e 49,9% para o ano 2). Tonini et al. (2008) também relatam a importância dessa variável para descrição da produção de frutos da *Bertholletia excelsa* (castanha do Brasil).

O índice de abrangência (IA) tende a aumentar com o engrossamento das árvores (ROMAN et al., 2009), ou seja, o sinal negativo e a não significância dessa variável no modelo linear completo (M_{LC}), por exemplo, poderiam indicar multicolinearidade com o diâmetro do fuste. Mas, esta hipótese foi refutada após avaliar o Fator de Inflação de Variação (FIV). Os valores de FIV para DAS, Gc, AT, IA e QC, foram, respectivamente, 2,03; 1,93; 2,79; 2,19 e 3,17. Segundo Kleinbaum et al. (1988), valor de FIV maior que 10 indica que a variável é altamente colinear, o que não ocorreu para as variáveis no modelo M_{LC} . A qualidade da copa (QC) também foi uma variável importante nos modelos, apresentando significância em pelo menos um dos anos avaliados para todos os modelos que compôs (Tabela 2.6).

De um modo geral, os modelos ajustados apresentaram coeficiente de correlação (r) e erro padrão da estimativa (S_{xy}) altos. O alto erro padrão apresentado para todos os modelos pode ser observado nos gráficos de dispersão (Figura 2.4) que mostram a variação dos erros, mesmo com *bias* tendendo a zero nos modelos lineares e se aproximando de zero nos modelos não lineares (Tabela 2.6). A tendência dos *bias* tanto para os modelos lineares quanto para os não lineares era esperado em função do método de ajuste de cada um deles tentar minimizar a soma de quadrados dos erros (KENNEDY, 1998). O mesmo comportamento foi observado para os dados da validação (Figura 2.4).

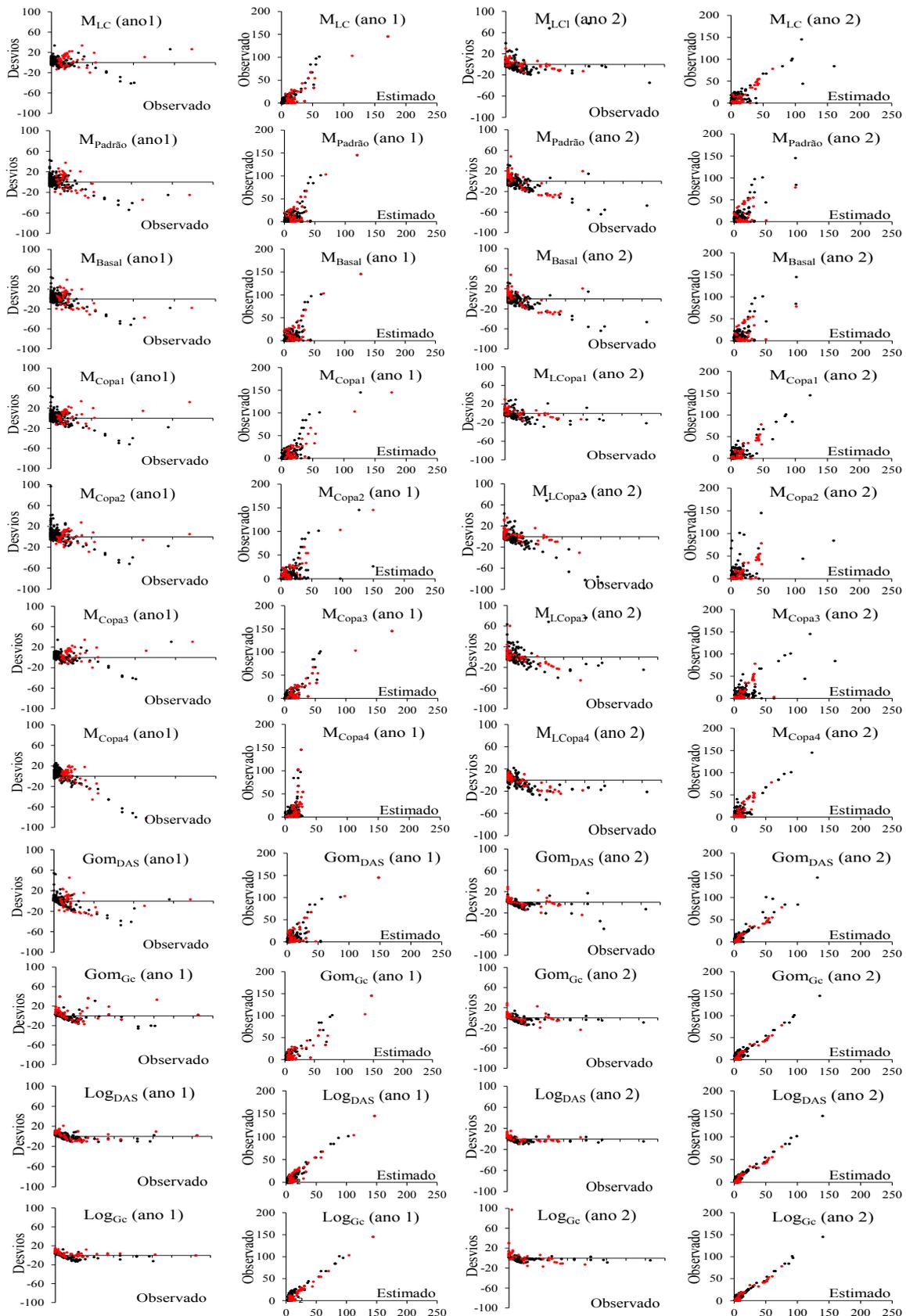


Figura 2.4. Gráficos de resíduos para o ajuste e validação dos modelos utilizados para estimar a produção de frutos de pequi. Marcadores pretos são os dados do ajuste e marcadores vermelhos são os dados da validação.

O modelo linear completo (M_{LC}) para o ano 2 apresentou maior valor de r e menor valor de S_{xy} , porém, este modelo foi eliminado, já que os coeficientes de AT e IA foram negativos, não refletindo suas relações esperadas com PF, conforme discutido anteriormente. O mesmo foi observado para IA nos modelos $copa_1$ e $copa_2$, que também foram eliminados. O modelo $copa_4$ apresentou baixo coeficiente de correlação ($r < 0,5$) para estimativa de produção nos dois anos monitorados, e, portanto, também foi eliminado. Interessante mencionar que esse modelo traz um índice e uma variável qualitativa, demonstrando o peso das variáveis quantitativas dendrométricas na qualidade do ajuste de equação de produção de frutos.

Também foram eliminados os modelos padrão e basal, por apresentarem subestimativa para o ano 1 e 2, e o modelo $copa_3$, por apresentar baixa precisão do valor estimado para o ano 2 (Figura 2.4). Entre os modelos não lineares, o modelo de Gompertz ajustado tanto em função de DAS quanto em função da área da copa (G_c) também foi eliminado por ter apresentado baixa precisão das estatísticas no ano 2, conforme pode ser observado na Figura 2.4.

Desta forma, o único modelo selecionado, por ter apresentado melhores estatísticas de precisão foi o modelo logístico, ajustado tanto para DAS quanto para G_c . Segundo Motulsky; Christopoulos (2003), somente devem ser comparados modelos que se ajustam bem aos dados, devendo-se antes eliminar todos os que não apresentam bons resultados. Para selecionar qual modelo logístico melhor representaria a estimativa de produção de frutos de pequi, ou seja, se em função de DAS ou se em função de G_c , aplicamos o critério de informação de Akaike (AIC).

O AIC apontou o modelo logístico (G_c) como sendo o melhor modelo para estimar a produção de frutos de pequi, apresentando valores iguais a 321,48 para o ano 1 e 312,18 para o ano 2. O AIC para o logístico (DAS) foi de 386,90 para o ano 1 e 364,92 para o no ano 2. As equações ajustadas a partir do modelo logístico em função de G_c , para o ano 1 – alta produção (Eq. 1) e para o ano 2 – baixa produção (Eq. 2), foram:

$$Y_i = 144.1431 / (1 + 44.8159 * \exp(-0.1011a_i)) \quad \text{Eq. 2.1}$$

$$Y_i = 136.8507 / (1 + 94.4456 * \exp(-0.1069a_i)) \quad \text{Eq. 2.2}$$

Ambas equações foram utilizadas nas estimativas da produção de frutos das árvores reservadas para a validação (20% da amostra de árvores). A aderência dos valores estimados em relação aos observados foi verificada pelo teste de χ^2 , que foi não

significativo para os dois anos analisados ($\chi^2 = 56,33$ e $p = 0,1004$ para o ano 1; $\chi^2 = 47,45$ e $p = 0,2109$ para o ano 2).

Neste modelo logístico, o parâmetro de assíntota (β_1) representa o valor máximo esperado para variável dependente, ou seja, a produção. O valor encontrado é coerente com o trabalho de Zardo (2008), desenvolvido sob as mesmas condições desse trabalho, sem seleção de indivíduos produtivos, nem de áreas com certo grau de antropização, onde a produção é significativamente maior (VILELA, 1998; SANTANA; NAVES, 2003; FERREIRA et al., 2005; LEITE et al., 2006). Portanto, a aplicação das equações ajustadas nesse trabalho requer um diagnóstico prévio do tipo de fitofisionomia que a população está e a amostragem não deve ser seletiva, sob pena de subestimar a produção de frutos.

Aplicamos então o teste de identidade de modelos para verificar a possibilidade de ajustar uma única equação para anos de baixa e alta produção. As hipóteses testadas a 5% de significância foram: H_0 = uma única equação (modelo reduzido) não apresenta diferença do modelo completo; e H_1 = rejeita-se H_0 (REGAZZI, 2003). Como se trata de modelo não linear a estatística do teste proposta por Regazzi (2003) é baseada no qui-quadrado (χ^2).

$$\chi^2 = -n \cdot \ln \left(\frac{SQR_{COM}/n}{SQR_{RED}/n} \right)$$

em que SQR_{COM} é a soma de quadrados dos resíduos do modelo completo; SQR_{RED} = soma de quadrados dos resíduos do modelo reduzido; n = número de observações. Regra de decisão: se χ^2 calculado $\geq \chi^2$ tabelado, rejeita-se H_0 . Com o valor tabelado em função do nível de significância (5%) e graus de liberdade (g.l) igual a diferença do g.l do modelo completo para o g.l do modelo reduzido.

O modelo reduzido se refere ao ajuste da função com todos os dados. E o modelo completo foi definido utilizando variáveis *Dummy* (D_i) com valores binários de 0 e 1 conforme descrito em Regazzi (2003). Ao ano 1 associamos a variável *Dummy* 1 (D_1), sendo igual a 1 quando o valor das variáveis se referem ao ano 1 e 0 quando não pertencer ao ano 1. Da mesma forma a variável *Dummy* 2 (D_2) foi associada ao ano 2:

$$y_{ij} = D_1 \left[\frac{\beta_{1(ano\ 1)}}{1 + \beta_{2(ano\ 1)} * \exp(-\beta_{3(ano\ 1)} a_{ij(ano\ 1)})} \right] + D_2 \left[\frac{\beta_{1(ano\ 2)}}{1 + \beta_{2(ano\ 2)} * \exp(-\beta_{3(ano\ 2)} a_{ij(ano\ 2)})} \right] \varepsilon_{ij}$$

O teste de identidade de modelos (Tabela 2.7) apresentou resultado significativo e, portanto, rejeitamos a hipótese H_0 . Desta forma, não é possível a utilização de uma única equação que possa estimar a produção de pequi, independentemente de ser um ano de maior ou menor produção. A estimativa da produção de frutos de pequi deverá ter uma equação específica para anos de alta (Eq. 1) e de baixa (Eq. 2) produção. Tal resultado gera outra restrição para aplicação das equações, já que será necessário obter informações locais sobre o histórico de variação anual da produção para definir a equação a ser usada.

Tabela 2.7. Resultado do teste de identidade de modelos para os anos 1 e 2

Modelo	Parâmetros			SQR	$\chi^2_{\text{calc.}}$	$\chi^2_{\text{tab.}}$
	β_1	β_2	β_3			
Completo	136.507	31.360	0.052	44581.470	7.764	3.842
Reduzido	139.351	64.756	0.106	46546.591		

Para os devidos fins que os resultados apresentados poderão ser usados, apresentamos uma equação suplementar para a estimação da área da copa em função do diâmetro do fuste, por ser esta uma variável cuja medição em campo requer menor esforço que a medição da área da copa. O ajuste foi feito com 80% dos dados e a validação com os 20% restantes. Ajustamos uma equação linear devido à dispersão de X (diâmetro do fuste) em função de Y (área da copa), apresentar tendência linear entre tais variáveis (Figura 2.5).

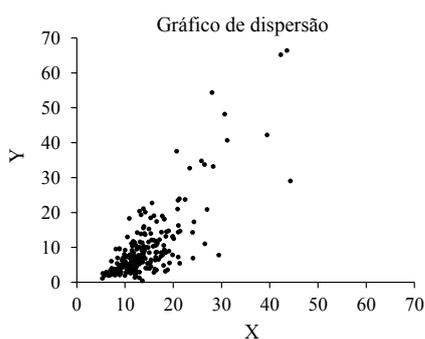


Figura 2.5. Gráfico de dispersão de 100% dos dados da amostra. Em que Y é a área da copa e X o diâmetro do fuste.

O modelo ajustado $Gc = -6,6808 + 1,1272 * DAS$ apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,7 e erro padrão da estimativa (S_{xy}) igual a ?????.

A equação foi aplicada aos dados de validação. Foram gerados os gráficos de dispersão de resíduos da validação e do ajuste, para verificar o comportamento de

ambos (Figura 2.6). Tanto o ajuste quanto a validação apresentaram uma pequena tendência de subestimação para as árvores de diâmetros maiores. Porém, tal subestimação foi observada apenas para 4 árvores no ajuste e duas na validação, as quais poderiam ser classificadas como *outliers*. Desta forma, considera-se a equação como sendo adequada para estimar a área da copa em função do diâmetro do fuste.

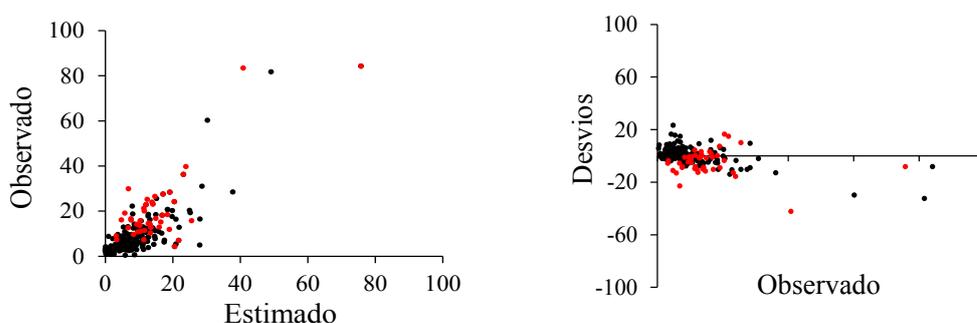


Figura 2.6. Distribuição residual do ajuste e da validação do modelo de regressão linear justado para estimativa da área da copa em função do diâmetro do fuste, em que os marcadores pretos são os dados do ajuste e os marcadores vermelhos, os dados da validação.

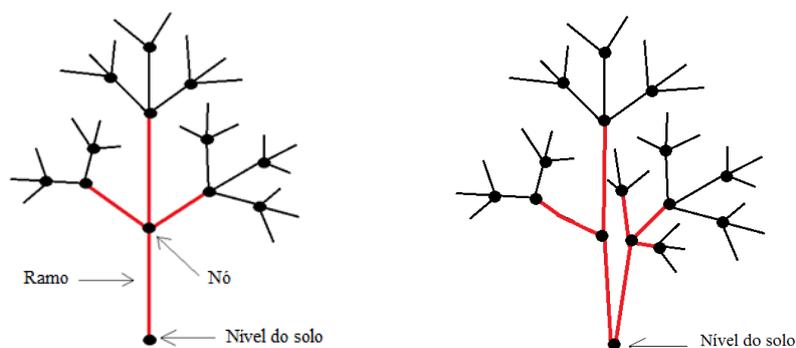
2.7 CONCLUSÕES

Com relação a modelagem da produção de frutos de pequi, podemos concluir que:

- a) Pequizeiros com índices de abrangência maiores, ou seja, árvores não tão altas, mas com copas abrangentes, produzem mais frutos;
- b) Pequizeiros mais produtivos são aqueles que possuem maior área de copa;
- c) A qualidade da copa, representada pela assimetria e densidade da projeção da copa, é uma variável qualitativa da árvore de pequi que está mais correlacionada com a produção de frutos;
- d) Diâmetro do fuste (DAS) e área da copa (G_c) são variáveis dendrométricas mais relacionadas com a produção de frutos de pequi;
- e) O modelo logístico, $Y_i = \beta_0 / (1 + \beta_1 \exp(-\beta_3 a_i)) + \varepsilon_i$, é indicado para estimar a produção de frutos de pequi em função da área da copa, com a restrição de que é necessário uma equação para o ano de alta produção $Y_i = 144.1431 / (1 + 44.8159 * \exp(-0.1011 a_i))$; e outra para estimar no ano de baixa produção: $Y_i = 136.8507 / (1 + 94.4456 * \exp(-0.1069 a_i))$.

2.8 RECOMENDAÇÕES

- a) Em função da grande porcentagem de árvores com produção zero nos dois anos e também do grande esforço de amostragem para coleta de dados para o ajuste, é necessário que a produção de frutos seja monitorada por um período maior, visando detectar a partir de que dimensões a espécie começa a produzir. Essa informação além de reduzir os custos de amostragem, pode reduzir a variância da amostra.
- b) Considerando que a área da copa, que é variável independente do modelo selecionado, é de difícil medição, sugerimos que seja verificada a correlação da produção de frutos com o número de ramos do primeiro ao segundo nó, conforme esquema abaixo, onde esse número seria igual a 4 para a árvore da esquerda e 7 para a árvore da direita.



- c) Recomendamos por fim, que seja verificado se existe alguma tendência de homogeneidade na distribuição dos frutos na área da copa. Caso exista, pode-se desenvolver esquemas de amostragem que permitam amostrar apenas partes da copa para estimativa da densidade total de frutos.

2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, S. R.; ÂNGELO, H. Mercado dos produtos florestais não-madeireiros do Cerrado brasileiro. *Ciência Florestal*, v. 19, n. 3, p. 317-328, 2009.

AFONSO, S. R. **Análise sócio-econômica da produção de não-madeireiros no cerrado brasileiro e o caso da cooperativa de pequi em Japonvar, MG.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008. 95f.

ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A. **Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1994. 38 p. (Documentos, 54).

ALVES, S. M.; NASCIMENTO, A. F.; LOPES, P. S. N.; FERREIRA, P. S. F.; ZANUNCIO, J. C. Identification of the wood-borer and the factors affecting its attack on *Caryocar brasiliense* trees in the Brazilian Savanna Germano Leão Demolin Leite. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 4, p. 589-596, 2011.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **Transactions on Automatic Control**, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

BRUZINGA, J. S.; REZENDE, A. V.; OLIVEIRA, M. R. L.; PEREIRA, I. M.; MACHADO, E. L. M.; MOTA, S. L. L.; LIMA, V. O. B. **Volume de madeira em função do método de estimação da altura em fitofisionomia de cerrado stricto sensu**. 2016. **Anais... III ENCONTRO DE MENSURAÇÃO FLORESTAL – MENSUFLORE** – Esalq, Piracicaba – SP.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MACHADO, E. L. M.; LEITE, H. G.; PEREIRA, I. M.; NOGUEIRA, G. S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de pequi. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 249-256, 2013.

BUSSAB, W. O.; MORTTIN, P. A. **Estatística Básica**. 8 ed., Saraiva, São Paulo, 2013. 548p.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B. LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; NOGUEIRA, G. S.; MARTINS, F. B. Individual Growth Model for Eucalyptus Stands in Brazil Using Artificial Neural Network. **ISRN Forestry**, v. 13, p. 1-12, 2013.

CARVALHO, F. M. V.; DE MARCO, P.; FERREIRA JUNIOR, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1392-1403, 2009.

CORDEIRO, M. W. S.; CAVALLIERI, A. L. F.; NAVES, M. M. V. **Caracterização física e química de frutos de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) de diferentes regiões do Estado de Mato Grosso**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

CORREA, G. C.; NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; CHAVES, L. J.; BORGES, J. D. Physical determinations in fruit and seeds of baru (*Dipteryx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) and pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) aiming genetic breeding. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 42-47, 2008.

CUNHA, A. C.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia ocidental. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, p. 9-18, 2013.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Ocotea odorifera* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C.; SAMPAIO, P. T. B. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* AUBL. e *Carapa procera* D. C.): aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. **Acta amazônica**, v. 32, n. 4, p. 647-661, 2002.

- FERREIRA, G. A.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J.; VELOSO, V. R. S.; SOUZA, E. R. B. Produção de frutos de populações naturais de pequizeiro no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 121-129, 2015.
- FRANÇOSO, R.; GUARALDO, A. C.; PRADA, M.; PAIVA, O. A.; MOTA, E. H.; PINTO, J. R. R. Fenologia e produção de frutos de *Caryocar brasiliense* Cambess. e *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J. F. Macbr. em diferentes regimes de queima. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.579-590, 2014.
- GUJARATI, D. **Econometria Básica**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil (4 ed), 2006. 812p.
- GÉNARD, M.; BRUCHOU, C.; SOUTY, M. Variability of peach (*Prunus persica* L. Batsch) growth and quality, and relationships between growth and quality. **Agronomie**, v. 11, p. 829-845, 1991.
- GUIMARÃES, P. R. B. **Estatística não-paramétrica**. Curitiba: UFPR, 2003. 91p.
- HAMMER, M. L. A.; JOHNS, E. A. Tapping an Amazonian plethora: four medicinal plants of Marajá Islands, Pará (Brazil). **Journal of Ethnopharmacol**, v.40, p.53-75, 1993.
- HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 96, p. 97-206, 1997.
- HYAMS, D. Curve expert 1.3: **A comprehensive curve fitting system for Windows**. Copyright (C). 1997.
- IEF - INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS /MG - **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Preto**. Belo Horizonte: Análise da Unidade de Conservação, Encarte 3, 2004.
- IVANOV, G. B. **Influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa* H.B.K.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 95p.
- KAINER, K. A.; WADT, L. H. O.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, 2007.
- KENNEDY, P. **A guide to econometrics**. 4. Ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1998.
- KLEINBAUM, D.; KUPPER, L. I.; MULLER, K. E. **Applied Regression Analysis and other Multivariate Methods**. 2. Ed. Boston, Mass.: PWS-Kent, 1988, p. 210.
- LEITE, G. L. D.; VELOSO, R. V. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, L. A.; ALMEIDA, C. I. M. Phenology of *Caryocar brasiliense* in the Brazilian cerrado region. **Forest Ecology and Management**, v. 236, p. 286-294, 2006.

LEWINSOHN, T.; PRADO, P. I. **Biodiversidade brasileira**: síntese do estado atual do conhecimento. São Paulo: Editora Contexto. 2002. 176p.

MABVURIRAA, D.; MIINA, J. Individual-tree growth and mortality models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, v. 161, n. 1–3, p. 231–245, 2002.

MATTOS, R. W. P. **Ajuste de modelos não lineares ao crescimento e ganho de massa de frutos de pequi**. Dissertação de mestrado. UFLA, Lavras-MG. 2016. 73 p.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 105 f.

MEDEIROS, R. D.; VIEIRA, G. Sustainability of extraction and production of copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oleoresin in Manaus, AM, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 282–288, 2008.

MELO JR., A. F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F. A.; OLIVEIRA, D. A. Spatial genetic structure in natural populations of *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) in the North of Minas Gerais, Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 43, p. 205–209, 2012.

MENDES, B. R.; CALEGARIO, N.; VOLPATO, C. E. S.; MELLO, A. A. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 254–263, 2006.

MOTULSKY, H.; CHRISTOPOULOS, A. **Fitting models to biological data using linear e nonlinear regression: a practical guide to curve fitting**. San Diego: GraphPad Software, 2003. 351p.

MOURA, N. F.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V. Caracterização física de frutos de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) do Cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 905–912, 2013.

MULER, A. E.; ROTHER, D. C.; BRANCALION, P. S.; NAVES, R. P.; RODRIGUES, R. R.; PIZO, M. A. Can overharvesting of a non-timber-forest-product change the regeneration dynamics of a tropical rainforest? The case study of *Euterpe edulis*. **Forest Ecology and Management**, v. 324, p. 117–125, 2014.

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. New Orleans: US Department of Agriculture, (Research paper, SO-154), 1979. 8p.

NEVES, Z. S.; GUEDES, M. C.; RODRIGUES, E. G. Relação da produção de frutos de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com variáveis das próprias castanheiras, em capoeira e floresta da Resex Cajari. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 31–37, 2015.

NEVES, S. C.; ABREU, P. A. A.; FRAGA, L. M. S. Fisiografia. Pp. 47-58. In: SILVA, A.C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. (eds.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e Ambientes**. Belo Horizonte: Ed. O Lutador, 271p. 2005.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; MAIA, A. H. N.; ALVES, R. E.; MATOS, N. M. S.; SAMPAIO, F.G.M.; LOPES, M.M.T. Características químicas e físico-químicas de pequis da chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.32, n.1, p.114-125, 2010.

OLIVEIRA, W. L. SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 84 p.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell). Rohwer. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**., v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

OLIVEIRA, M. N. S.; GUSMÃO, E. LOPES, P. S. N.; SIMÕES, M. O. N.; RIBEIRO, E. M. DIAS, B. A. S. Estádio de maturação dos frutos e fatores relacionados aos aspectos nutritivos e de textura da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**., v. 28, n. 3, p. 380-386, 2006.

PENA. J. W. P. **Frutificação, produção e predação de sementes de *Carapa guianensis* aubl. (Meliaceae) na Amazônia Oriental Brasileira**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Amazônia, 2007, 67p.

PETERS, C. M. **Sustainable Harvest of Non-timber Plant Resources in Tropical Moist Forest: An Ecological Primer**: 1-45. Biodiversity Support Program, Washington. 1994.

PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v.43, n.5, p.803-809, 2013.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, v.50, n.287, p.9-26, 2003.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; RESENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 151-212. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. 1.279p.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C. **Copaíba**: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do sudoeste da Amazônia. Dissertação. Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, 2004. 83p.

ROCHA, E. Potencial ecológico para o manejo de frutos de açazeiro (*Euterpe precatória* Mart.) em áreas extrativistas no Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 237-250, 2004.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

SANO, E. E.; ROSA R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G., Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113–124, 2010.

SANTANA, J. G.; NAVES, R. V. Caracterização de ambientes de Cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região sudeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2003.

SANTANA, J. G.; NAVES, R. V. Caracterização de ambientes de Cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região sudeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2003.

SANTOS, A. J.; GUERRA, F. G. P. DE Q. Aspectos econômicos da cadeia produtiva dos óleos de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) na Floresta Nacional do Tapajós – Pará. **Revista Floresta**, v. 40, n. 1, p. 23-28, 2010.

SILVA, A. C. **Diagnóstico e avaliação pedológica para o plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Águas Vertentes**. Diamantina: SEMAD/IEF, 2005. 53p.

SILVA, O.S.; ROMÃO, P.R.T.; BLAZIUS, R.D. et al. The use of andiroba *Carapa guianensis* as larvicide against *Aedes albopictus*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, v.20, p.456-457, 2004.

SILVA, F. R.; CARMO, V. A. Caracterização das paisagens como subsídio às ações de planejamento do Parque Estadual do Rio Preto – município de São Gonçalo do Rio Preto - Minas Gerais. 2003. **Anais... X SIMPÓSIO RASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências, Belo Horizonte – MG.

SNOOK, L. K.; CABRALES, L. C.; KELTY, M. J. Six years of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. **Forest Ecology and Management**, v. 206, p. 221-235, 2005

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. Florestas nativas – estrutura, dinâmica e manejo. Editora UFV, Viçosa, MG, 2013. 322p.

SOUZA, G. S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Brasília. Embrapa – Serviço de Produção de Informação, 1998. 505 p.

SOUZA, A. L. **Análise multivariada para manejo de florestas naturais: alternativas de produção sustentada de madeiras para serraria**. Curitiba: 1989. 245p. (Tese doutorado).

SIIPILEHTO, J. A comparison of two parameter prediction methods for stand structure in Finland. **Silva Fennica**, v. 34, n. 4, p. 331-349, 2000.

SILVA, T. A.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; VIEIRA, A. T.; OLIVEIRA, M. F.; BATISTA, A. C. F. Methylic and ethylic biodiesels from pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.): Production and thermogravimetric studies. **Fuel**, v. 136, p. 10-18, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**; traduzido trad. Eliane Romano Santarém...[et al.]. -3. ed. -Porto Alegre: Artmed, 2004.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1509-1516, 2008.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Universidade de Brasília, 2006.

WILLIAMS, K. J.; FORD, A.; ROSAUER, D. F.; SILVA, N.; MITTERMEIER, R.; BRUCE, C.; LARSEN, F. W.; MARGULES, C. Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspots. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Eds.). **Biodiversity Hotspots**. Luxembourg: Springer, 2011. p. 295–310.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.211, p.371-384, 2005.

ZARDO, R. N. **Efeito do impacto da extração de frutos na demografia do pequi (*Caryocar brasiliense*) no Cerrado do Brasil central**. Dissertação. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 2008. 50f.

ZUIDEMA, P. A. **Ecology and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Riberalta: Promab, 2003. 111p. (Promab Scientific Series, 6).

Capítulo 3. AMOSTRAGEM ADAPTATIVA MULTIVARIADA PARA QUANTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cambess).

3.1 RESUMO

Devido à importância dos produtos florestais não madeireiros (PFNMs), faz-se necessário desenvolver métodos quantitativos que determinem ou estimem com precisão o potencial de produção de tais produtos. Assim o objetivo deste estudo foi avaliar amostragem adaptativa para quantificação de frutos de pequi, sob a hipótese de que este método é preciso para quantificar esse PFNM. O estudo foi realizado na região norte de Minas Gerais, com dados provenientes de um inventário censo de pequi, em uma área de 36,5 ha de cerrado *stricto sensu*. As árvores foram mapeadas para simulação da amostragem adaptativa cluster multivariada (AACM), e a variável estimada foi a produção total de frutos. As condições de inclusão de unidades na amostra utilizando essa técnica de amostragem, considerou o número de pequizeiros presente na parcela e a área da copa. As condições ou procedimentos de inclusão foram avaliadas quanto à precisão e exatidão. Avaliamos também a possibilidade de usar um fator de correção no método. A partir dos resultados verificamos que: a) quanto maior a área da copa, menor o tamanho das redes na AACM; b) o peso das redes formadas para produção de frutos de pequi pouco varia entre os *cluster's*, situação desejável para a amostragem; c) a AACM utilizando a condição de inclusão de 2 indivíduos com copa $\geq 10 \text{ m}^2$ é eficiente, precisa e exata na estimativa da produção de frutos de pequi; d) o estimador Hansen-Hurwitz modificado é o mais adequado para estimativa da média e da variância e um fator de correção pode ser usado no método; e e) quanto maior o cluster, maior a produção total de frutos e maior a produção média de frutos por pequizeiro.

Palavras-chaves: Inventário, Produto florestal não madeireiro, cerrado.

3.2 ABSTRACT

Due to the importance of non-timber forest products (NTFPs), it is necessary to develop quantitative methods that precisely determine or estimate the potential for production of such products. Thus the objective of this study was to evaluate adaptive sampling for quantification of pequi fruits, under the hypothesis that this method is necessary to quantify this NWFP. The study was conducted in the northern region of Minas Gerais, with data from a census inventory of pequi, in an area of 36.5 ha of cerrado *stricto sensu*. The trees were mapped to multivariate cluster adaptive sampling (AACM) simulation, and the estimated variable was total fruit yield. The conditions of inclusion of units in the sample using this sampling technique, considered the number of pequi trees present in the plot and the area of the canopy. Inclusion conditions or procedures were evaluated for accuracy and precision. We also evaluated the possibility of using a correction factor in the method. From the results we verified that: a) the larger the crown area, the smaller the size of the networks in the AACM; b) the weight of the nets formed to produce small fruits varies among the clusters, a desirable situation for the sampling; c) AACM using the condition of inclusion of 2 individuals with crown $\geq 10 \text{ m}^2$ is efficient, accurate and accurate in the estimation of pequi fruit production; D) the modified Hansen-Hurwitz estimator is the most suitable for estimating mean and variance and a correction factor can be used in the method; e) the larger the cluster, the greater the total fruit production and the higher the average fruit yield per pequizeiro.

Keywords: Inventory, non-timber forest product, Savannah.

3.3 INTRODUÇÃO

Informações sobre métodos ou técnicas de amostragem indicados para determinar ou estimar com precisão a produção da grande maioria dos Produtos Florestais não Madeireiros (PFNMs) é ainda uma grande lacuna na Ciência Florestal. Especialmente quando se busca formas e alternativas para o uso sustentável desses recursos, os quais deveriam ser considerados tão importantes quanto os produtos madeireiros.

Muito cientistas divergem sobre o melhor conceito para os PFNM (WICKENS, 1991; APPASAMY, 1993; GANESAN, 1993; ROS-TONEN et al., 1995; PILZ et al., 1998; SHANKAR, 1998; SANTOS et al., 2003). No entanto, a FAO (1995) define o conceito mais difundido, ou seja, PFNMs são todos os bens de origem biológica, bem como os serviços derivados da floresta e terra sob uso similar e excluindo a madeira em todas as suas formas.

No fim década de 1980, a ideia de que a extração de PFNMs em florestas tropicais era ecologicamente menos danosa que a exploração madeireira (ANDERSON, 1990, NEPSTAD; SCHWARTMAN, 1992), aguçou o interesse de muitas pessoas pela extração comercial desses produtos, como uma alternativa ao desmatamento (WADT, 2005). Desde então, muitas informações relacionadas as espécies com potencial não madeireiro são comumente obtidas com o uso de técnicas de amostragem tradicionais, recomendadas principalmente para produtos madeireiros.

O uso de métodos de amostragem não apropriados para determinar ou estimar a produção dos PFNMs, pode gerar informações inconsistentes que certamente poderão interferir em aspectos ecológicos, sociais e econômicos relacionados ao produto e a espécie que fornece o produto.

Muitas espécies florestais com potencial não-madeireiro apresentam padrão de distribuição espacial agregado em seu habitat natural (WONG, 2000), e, portanto, a população amostrada pode ter sua densidade subestimada, caso o método de amostragem escolhido disponha as unidades de forma sistemática ou aleatória. Se o interesse na amostragem for a quantificação da produção de frutos, por exemplo, os erros nas estimativas podem ser ainda maiores, já que o diâmetro do fuste, que é normalmente a variável utilizada nos inventários tradicionais para incluir indivíduos na amostra, pode não ser a variável mais correlacionada com a produção deste produto não madeireiro.

A amostragem adaptativa cluster (AAC), que é um método desenvolvido por THOMPSON (1990) para quantificar populações que ocorrem de forma agregada, pode ser uma alternativa para quantificação desses produtos (frutos, por exemplo). Esse método consiste em selecionar inicialmente unidades amostrais iniciais e, caso a variável de interesse seja observada nas unidades iniciais, as unidades vizinhas também serão amostradas. Este procedimento continua, devendo ser amostradas todas unidades vizinhas às unidades que contenham a variável de interesse. A amostragem somente termina quando em todas as unidades vizinhas de cada unidade que apresentou a variável de interesse, não ocorrer mais tal variável, formando então os *clusters*.

A condição de inclusão (C) na AAC pode ser a presença do indivíduo da espécie de interesse, ou pode ainda conter aspectos multivariados (AACM) (THOMPSON, 1990). Na AACM é exigida a observação de outras variáveis na condição de inclusão, ou seja, variáveis relacionadas com o produto de interesse por exemplo.

Para o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.), uma espécie de distribuição espacial agregada (BRUZINGA et al., 2013) foi detectado que a AAC é um método preciso para quantificação da espécie (BRUZINGA et al., 2014). Porém, sabendo que o interesse nessa espécie está na produção de frutos, um importante PFNM do Cerrado brasileiro (SCHMDLT et al., 2007; ROESLER et al., 2008; AFONSO; ÂNGELO, 2009; MELO Jr. et al., 2012), faz-se necessário a avaliação de métodos de amostragem para sua quantificação. Assim o objetivo desse trabalho foi testar a AACM para quantificação de pequi, sob a hipótese de que este método é preciso para quantificar esse PFNM.

Métodos eficientes de quantificação dos PFNMs têm duas importantes aplicações, ou seja, a simulação de cenários de abundância dos produtos e o fornecimento de informações com nível de precisão para uma valoração menos especulativa desses produtos, além da geração de hipóteses sobre o efeito da exploração nas populações, visando traçar planos sustentáveis de extração dos PFNMs.

3.4 OBJETIVO PRINCIPAL

- Testar a amostragem adaptativa cluster (AAC) com aspectos multivariados para quantificação indireta de frutos de pequi.

3.4.1 Objetivos específicos

- Avaliar a precisão da AAC com aspectos multivariados na quantificação de pequi e avaliar a eficiência da amostragem em relação à grandeza da condição de inclusão C ;
- Selecionar o melhor estimador para amostragem;
- Desenvolver um fator de correção para o uso de diferentes critérios de inclusão C , para tornar a amostragem mais eficiente pelo uso de C 's maiores;
- Avaliar a produção de frutos em relação ao tamanho do *cluster*.

3.5 MATERIAL E MÉTODOS

3.5.1 Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), que é uma Unidade de Conservação integral, localizada na região norte de Minas Gerais, Município de São Gonçalo do Rio Preto. O clima da região é mesotérmico, CWb, na classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013) e os solos são aluviais (SILVA; CARMO, 2003). A temperatura média anual é de 18,7 °C, com invernos frios e secos e verões brandos e úmidos, e a precipitação média anual de 1.500 mm (SILVA, 2005). A vegetação predominante do PERP é representada por formações campestres e savânicas (IEF, 2004). A área amostrada está localizada no ponto central a 23K 675074,630E 7995071,119N UTM, a uma altitude média da área é de 812 m.

3.5.2 Coleta e obtenção dos dados

Utilizamos neste estudo os dados provenientes de um inventário censo realizado em 2011, no PERP, em 36,5 ha de cerrado *sensu stricto* preservado (BRUZINGA et al., 2013). No censo foram registradas e mapeadas 2.201 árvores de pequi, com diâmetro a 30 cm do solo (DAS) igual ou superior a 5 cm (FIGURA 3.1). O DAS e a área da copa (GC) de cada árvore foram mensurados, sendo GC obtida a partir da fórmula da elipse, considerando o maior diâmetro da copa e o seu correspondente diâmetro perpendicular. Árvores que perderam a copa em função da idade, por exemplo, e que apresentavam pequenas rebrotas, tiveram a área de copa registrada como nula ou zero.

A produção de frutos de pequi de cada uma das 2.201 árvores foi estimada com base na Equação 3.1, descrita abaixo, indicada para estimar o número de frutos (\widehat{PF}) em função da área da copa (GC_i), em ano de baixa produção (ver Capítulo 2 da tese). A Equação 3.1 é dada por:

$$\widehat{PF}_i = \frac{136,8507}{1 + (94,4456^{(-0,1069 \cdot GC_i)})} \quad \text{Equação 3.1}$$

em que \widehat{PF}_i é a produção de frutos estimada e GC_i é a área da copa mensurada de um pequizeiro i .

A escolha desta equação se justifica pelo fato da mesma ter sido ajustada utilizando dados de produção de frutos de pequi de arvores amostradas na mesma área do censo, em 2015. Vale destacar que o ano de 2015 foi caracterizado como sendo de baixa produção de frutos de pequi, quando comparado com o ano anterior (2014), que também teve a produção de frutos amostrada. Segundo Vilela (1998), a produção de frutos de pequi tem variação bianual. Tal informação também foi confirmada na a área do PERP considerando o conhecimento dos guias que monitoram a produção de frutos de pequi para orientar a coleta permitida pelo plano de manejo do parque. Portanto, por analogia, decidimos considerar o ano de 2015 como sendo um ano de baixa produção de frutos de pequi e, conseqüentemente, adotar a Equação 3.1 ajustada para a área.

A partir da estimativa do número de frutos de cada um dos 2.201 pequizeiros do censo, o banco de dados deste estudo ficou representado pelas seguintes informações por árvore: coordenadas UTM, DAS, GC e o número estimado de frutos.

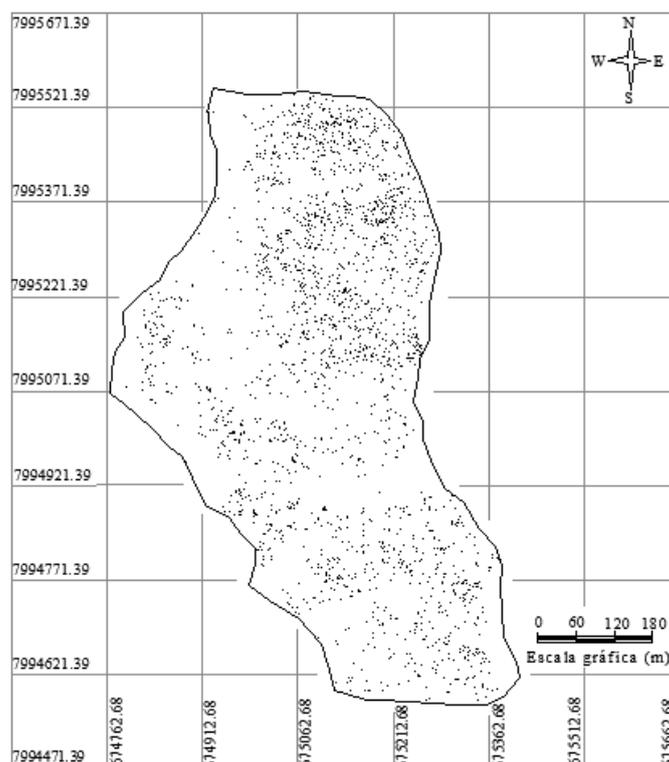


Figura 3.1. Censo de árvores de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) com DAS ≥ 5 cm em uma área de 36,5 ha de cerrado *sensu stricto*, no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG. (Fonte: BRUZINGA et al., 2013).

3.5.3 Análise dos dados

Utilizando o AutoCAD (AutoCAD 2007), dividimos a área de estudo (36,5 ha) em parcelas de 20×20 m e transferimos para a planilha de dados do software, o registro das coordenadas de cada uma das 2.201 árvores de pequi nas suas respectivas parcelas. O tamanho da parcela foi definido no trabalho de BRUZINGA et al. (2014) como sendo o tamanho que fornece a maior precisão para estimativa do número de árvores de pequi dentre os tamanhos testados.

Após o mapeamento das árvores no AutoCAD, realizamos as buscas dos *clusters* para simulação da amostragem adaptativa cluster com aspectos multivariados (AACM), conforme descrito em Thompson (1990), ou seja, uma amostra aleatória inicial com intensidade amostral de 2% da área (intensidade amostral mínima para vegetação nativa conforme IEF, 2005), era selecionada e uma condição “C” de inclusão era definida, sendo “C” representado por um valor relacionado a variável de interesse. Assim, sempre que a condição “C” de inclusão era verificada na parcela i , suas unidades

contíguas também eram investigadas até que não fosse mais observada a presença da variável de interesse nas unidades vizinhas, formado então um cluster. Sendo um *cluster*, para cada unidade da amostra inicial que a condição de inclusão C . Uma demonstração esquemática da AACM é apresentada na Figura 3.1, considerando, como exemplo, a condição $C = 1$ (presença de um indivíduo na unidade amostral).

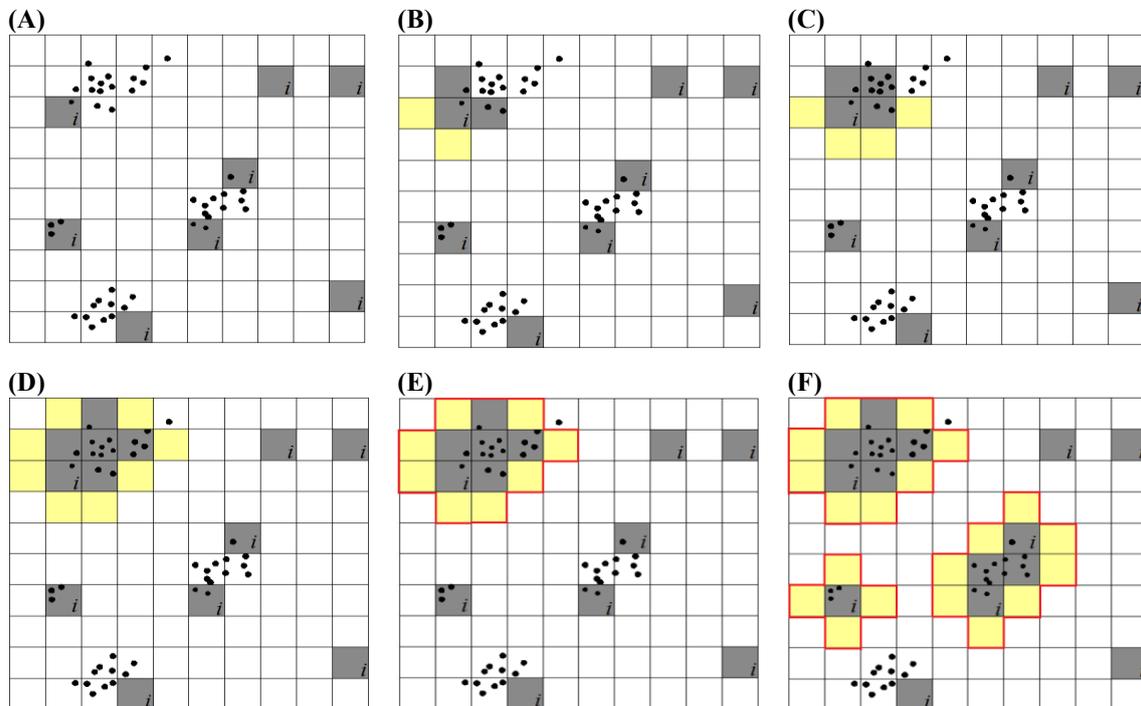


Figura 3.2. Esquema do processo de amostragem pelo método da AAC, com condição $C = 1$ em que \blacksquare = unidade de rede; \square = unidade de fronteira; \blacksquare = *cluster*. (A) Unidades sorteadas em uma amostra inicial aleatória, representadas pela quadrícula preenchida com a cor cinza escuro, nomeada pela letra i ; (B) Investigação das unidades vizinhas para a primeira parcela no canto superior esquerdo; (C) e (D) investigação das demais unidades vizinhas; (E) Formação de um cluster para a primeira unidade i , em que, unidades de cor cinza escuro representam a rede e são aquelas que atenderam a condição C e unidades amarelas são as de fronteira; (F) *Clusters* formados pelas demais unidades i selecionadas.

Conforme verificado, a variável mais correlacionada com a produção de frutos de pequi é a área da copa (ver Capítulo 2). Portanto, consideramos a condição C multivariada como sendo a presença de pequizeiros e a área da sua copa. Quanto a presença de pequizeiros, foi verificado no trabalho de Bruzinga et al. (2014), qual utilizou a amostragem adaptativa cluster para quantificação dos indivíduos adultos de

pequi, que no mínimo duas árvores são necessárias para estimar a densidade de pequizeiros. Como a espécie produz árvores com área de copa maiores que 0,4 m² (capítulo 2) e como 99% dos indivíduos registrados no censo possuem copas menores que 40 m², definimos 5 condições “C” de inclusão a serem testadas (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Condições C de inclusão de árvores de pequi testadas nos procedimentos da AACM.

Condição C	Número de árvores	Gc*
C ₁	2	≥ 0,5 m ²
C ₂	2	≥ 5,0 m ²
C ₃	2	≥ 10 m ²
C ₄	2	≥ 20 m ²
C ₅	2	≥ 40 m ²

* área da copa em m²

Cada condição C foi um procedimento de amostragem testado. Para a condição C₁, por exemplo, a unidade *i* deveria ter no mínimo dois pequizeiros com DAS ≥ 5 cm e Gc ≥ 0,5 m² cm, para continuar a investigação nas unidades vizinhas. Portanto, a variável estimada pela amostragem foi o número de frutos, obtido a partir da Equação 3.1 aplicada aos dados das árvores amostradas nas redes formadas. As estatísticas de precisão foram então obtidas em função desta variável. Para maior confiabilidade da estimativa da média e da variância, realizamos 30 simulações para cada um dos cinco procedimentos de amostragem ou cinco condições “C” testadas (COSTA, 2005). A média e a variância para cada uma das simulações foram obtidas pelo estimador de Hansen-Hurwitz modificado (THOMPSON, 1990), ou seja:

$$\bar{Y}_{HH'} = \frac{1}{ni} \sum_{i=1}^{ni} w_i$$

$$S_{\bar{Y}_{HH'}}^2 = \frac{N - ni}{Nni(ni - 1)} \sum_{i=1}^{ni} (w_i - \bar{Y}_{HH'})^2$$

em que $\bar{Y}_{HH'}$ = estimador de Hansen-Hurwitz modificado para a média da variável de interesse por unidade de amostra; N = número total de unidades de amostra na população; ni = número de unidades na amostra inicial; y_i = valor assumido por uma dada característica de interesse na *i*-ésima unidade de amostra, com $i = 1, 2, 3, \dots, n$, no caso o trabalho a variável é a produção de frutos de pequi; m_1 = número de unidades de amostra que compõem a rede em que a *i*-ésima unidade faz parte; $S_{\bar{Y}_{HH'}}^2$ = variância da média e w_i = peso das redes formadas em cada cluster, dado por $w_i = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m_i}$.

Avaliamos cada procedimento testado em função da precisão e da exatidão da média das 30 simulações realizadas. A precisão foi dada pelo erro amostral ao nível de 5% de significância e a exatidão foi obtida pela diferença relativa entre a produção total estimada pelo procedimento e a produção obtida para os dados do censo.

Após a seleção do procedimento ou condição “C” de inclusão, aplicamos também os estimadores de Horvitz-Thompson (THOMPSON,1990) e de Hansen-Hurwitz (HANSEN; HURWITZ, 1943), para cada uma das 30 simulações, visando inferir sobre o melhor estimador para quantificação de frutos de pequi. Os estimadores de Horvitz-Thompson e de Hansen-Hurwitz foram obtidos a partir das seguintes fórmulas:

a) Estimadores, segundo Horvitz-Thompson (THOMPSON,1990):

$$\bar{Y}_{HT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n_1} \left(\frac{y_i}{\pi_i} \right)$$

$$S_{\bar{X}_{HT}}^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} \left(\frac{\pi_{ij} - \pi_i \pi_j}{\pi_i \pi_j \pi_{ij}} \right) y_i y_j$$

b) Estimadores, segundo Hansen-Hurwitz (HANSEN; HURWITZ, 1943):

$$\bar{X}_{HH} = \frac{1}{n_1 N} \sum_{i=1}^{n_1} \left(\frac{y_i}{p_i} \right)$$

$$S_{\bar{X}_{HH}}^2 = \frac{1}{n_1(n_1 - 1)} \sum_{i=1}^{n_1} \left(\frac{y_i}{N p_i} - \bar{X}_{HH} \right)^2$$

em que \bar{Y}_{HT} = estimador de Hansen-Thompson para a média; N = número total de unidades de amostra na população; n_1 = tamanho final da amostra; y_i = valor assumido por uma dada característica de interesse na i -ésima unidade de amostra, com $i = 1, 2, 3, \dots, n$, no caso do trabalho a produção de frutos de pequi; π_i = probabilidade de inclusão

da i -ésima unidade de amostra, dado por $\pi_i = 1 - \frac{\binom{N-m_1-a_1}{n_1}}{\binom{N}{n_1}}$; m_1 = número de unidades

de amostra que compõem a rede, em que a i -ésima unidade faz parte; a_1 = número de total de unidades de amostra que compõem a rede, em que a i -ésima unidade é uma

unidade de fronteira; $S_{\bar{X}_{HT}}^2$ = estimador para variância da média de Hansen-Thompson; π_j = probabilidade de inclusão da j -ésima unidade de amostra; $\pi_{ij} =$

probabilidade de inclusão de ambas as unidades i e j ; y_j = valor assumido por uma dada característica de interesse na j -ésima unidade de amostra; \bar{X}_{HH} = estimador de Hansen-Hurwitz para a média; p_i = probabilidade de inclusão da i -ésima unidade de amostra, dada por $p_i = \frac{(m_i + a_i)}{N}$; $S_{\bar{X}_{HH}}^2$ = estimador para variância da média de Hansen-Hurwitz.

Sabendo que valores de “ C ” pouco restritivos (menores) demandam grande esforço amostral em populações com alta densidade (BRUZINGA et al., 2014), definimos um fator de correção (fc) para que fosse possível utilizar um procedimento com valor de C maior, o qual seria mais prático, por demandar menor o esforço amostral.

Para obter o valor de fc , decidimos denominar o melhor procedimento de procedimento padrão ($C_{padrão}$). Calculamos então a sua média (média $C_{padrão}$) e, na sequência, determinamos também a média do procedimento com maior valor de C (média C_x). O valor de fc_x foi obtido usando a seguinte relação: $fc_x = \frac{\text{média } C_x}{\text{média } C_{padrão}}$.

Para avaliar a precisão do uso de fc_x , realizamos outras 30 simulações independentes. Calculamos $C_{padrão}$ para estas simulações e também estimamos $C_{padrão}$ das simulações em função de fc_x e de C_x . Aplicamos, em seguida, o teste t para amostras independentes, ao nível de 5% de significância, para verificar a existência diferença entre os dois valores.

O procedimento C1 foi usado com o objetivo de testar as seguintes hipóteses: a) Quanto maior o cluster, maior a produção de frutos; b) Quanto maior o cluster, menor produção média de frutos por árvore.

Para comprovar a primeira hipótese, ordenamos os *clusters* por tamanho e avaliamos se havia alguma relação entre o tamanho do cluster e a quantidade de frutos encontrada. Essa análise foi feita com a média das 30 simulações. Na avaliação da segunda hipótese realizamos o mesmo procedimento, porém, considerando a produção média de fruto por árvore.

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área média ocupada pelas copas dos 2.201 pequizeiros, com $DAS \geq 5$ cm, que foram registrados no inventário censo num cerrado *stricto sensu* no PERP é de, aproximadamente, $10,6 \text{ m}^2 \pm 11,31s$. Neste universo ocorreram desde árvores sem copa (área de copa igual a zero), até árvores com copa ocupando $130,5 \text{ m}^2$ de área.

A área total ocupada pelas copas de todos os pequizeiros foi de 23.447 m², o que equivale a 6,4% da superfície total ocupada pelo cerrado *stricto sensu* (36,5 ha). Como a cobertura do estrato arbóreo desta fisionomia, em geral, varia de 20 a 50% (RIBEIRO; WALTER, 2008), podemos ter uma ideia do grau de ocupação ou da cobertura desta espécie no local.

O pequi é uma espécie que se destaca em áreas de cerrado *stricto sensu* por sua dominância em termos de área basal do fuste (SANTANA; NAVES, 2003), e na área de estudo isto foi confirmado, sendo encontradas árvores com DAS de até 81,11 cm.

Estimamos para 2011, uma produção total de 18.370 frutos de pequi na área, com base na Equação 3.1, e, definimos esta produção como parâmetro populacional para avaliação dos processos de amostragem.

A divisão dos 36,5 ha em unidades amostrais de 20 × 20 m resultou em 984 unidades cabíveis na área. A descrição dos *clusters* formados para cada valor de condição *C* é apresentada na Tabela 3.2.

Observamos que, quanto mais restritivo o valor da condição *C*, ou seja, quanto maior a área da copa, menor foi o tamanho das redes formadas. Sabendo que somente as informações da rede são usadas nas estimativas da média e da variância pelos estimadores escolhidos, cabe aqui ressaltar suas propriedades.

Nota-se que quanto mais restritivo o valor da condição *C*, ou seja, quanto maior a área da copa, menor foi o tamanho das redes formadas. Como somente as informações da rede são usadas nas estimativas da média e da variância pelos estimadores escolhidos, cabe aqui ressaltar suas propriedades.

Dentro de cada *cluster* encontramos um conjunto de unidades amostrais, que chamamos de rede. Tais unidades amostrais atenderam a condição de inclusão *C*, com a propriedade de que a seleção de uma unidade dentro da rede levará à inclusão de todas as unidades dessa rede (REIS; ASSUNÇÃO, 1998).

Enquanto a seleção de uma unidade amostral na rede resulta na inclusão de todas as unidades dessa rede e de todas as unidades de fronteira, a seleção de uma unidade de fronteira não resulta na inclusão de outras unidades. Desta forma, o maior tamanho das redes formadas para as condições *C*'s menores pode gerar o inconveniente do elevado esforço amostral, pois, a probabilidade de uma unidade inicial “cair” na rede do cluster 1 da condição *C*1 a qual possui 219 parcelas, é alta.

Tabela 3.2. Relação de todos os possíveis *clusters* formados para cada condição de inclusão (*C1*, *C2*, *C3*, *C4* e *C5*). Valor da Rede se refere ao número de parcelas presente na rede; Σy_i = número de indivíduos na rede; e w_i = peso da rede

<i>C1</i>				<i>C2</i>				<i>C3</i>				<i>C4</i>				<i>C5</i>			
Cluster	Rede	Σy_i	w_i	Cluster	Rede	Σy_i	w_i	Cluster	Rede	Σy_i	w_i	Cluster	Rede	Σy_i	w_i	Cluster	Rede	Σy_i	w_i
1	219	1187	5	1	178	987	6	1	82	543	7	1	35	267	8	1	13	67	5
2	75	312	4	2	65	178	3	2	38	87	2	2	18	41	2	2	5	18	4
3	29	135	5	3	21	156	7	3	12	76	6	3	10	36	4	3	3	11	4
4	17	87	5	4	13	76	6	4	6	38	6	4	5	18	4	4	2	5	3
5	9	39	4	5	7	29	4	5	3	15	5	5	1	7	7	5	1	2	2
6	5	19	4	6	4	13	3	6	2	8	4	6	1	4	4	6	1	2	2
7	5	17	3	7	4	13	3	7	2	7	4	7	1	4	4	7	1	2	2
8	5	16	3	8	4	12	3	8	2	6	3	8	1	4	4	8	1	2	2
9	4	11	3	9	3	9	3	9	1	5	5	9	1	3	3	9	1	2	2
10	4	10	3	10	3	8	3	10	1	4	4	10	1	3	3	10	1	2	2
11	3	12	4	11	2	9	5	11	1	4	4	11	1	2	2	11	1	2	2
12	3	8	3	12	2	5	3	12	1	3	3	12	1	2	2				
13	3	8	3	13	2	5	3	13	1	3	3	13	1	2	2				
14	3	7	2	14	2	4	2	14	1	3	3	14	1	2	2				
15	3	6	2	15	1	6	6	15	1	3	3	15	1	2	2				
16	2	9	5	16	1	6	6	16	1	3	3	16	1	2	2				
17	2	5	3	17	1	3	3	17	1	2	2	17	1	2	2				
18	2	5	3	18	1	2	2	18	1	2	2	18	1	2	2				
19	2	4	2	19	1	2	2	19	1	2	2	19	1	2	2				
20	1	3	3	20	1	2	2	20	1	2	2								
21	1	2	2	21	1	2	2	21	1	2	2								
22	1	2	2	22	1	2	2	22	1	2	2								
23	1	2	2	23	1	2	2	23	1	2	2								
24	1	2	2	24	1	2	2												
25	1	2	2	25	1	2	2												
26	1	2	2	26	1	2	2												
27	1	2	2	27	1	2	2												
28	1	2	2																
29	1	2	2																
30	1	2	2																
31	1	2	2																
32	1	2	2																
33	1	2	2																
34	1	2	2																

Em se tratando de população agregada, é esperado que quanto menor o número de indivíduos usado no critério da condição *C*, maior será o tamanho das redes formadas (BRUZINGA et al., 2014). A tendência semelhante que encontramos neste estudo para as dimensões da copa, considerando que o número de indivíduos utilizados no critério da condição *C* foi fixo (igual a 2), nos leva a sugerir que árvores de copas maiores também possuem distribuição agregada, com algum fator ambiental que as restringe à determinado *cluster*. Essa hipótese poderia ser avaliada utilizando análises que envolvessem variáveis ambientais para delimitação de cada cluster ou com estudos genéticos para detecção de características comuns.

Esse comportamento agregado poderia ser explicado por várias teorias. Sabemos por exemplo que, numa escala macro, ocorrem diferenças genéticas central-periférica

em populações de pequi, e tais diferenças são causadas pela endogamia, que afetam a variabilidade genética da população (DINIZ-FILHO, 2009), podendo, conseqüentemente, refletir na existência de árvores próximas com características dendrométricas semelhantes. Outra teoria seria a propagação vegetativa da espécie, o que também geraria indivíduos com características semelhantes. Acreditamos que essa seja uma estratégia da espécie em função de sua alta densidade nos ambientes onde ocorre (SANTANA, 2002), e, também, pela baixa taxa de germinação das sementes, já que a dormência da semente é apontada como a principal responsável pelas dificuldades de propagação da espécie (MELO, 1987; BRAWERS et al., 2001; SILVA et al., 2001).

Entretanto, verificamos que nas condições *C*'s com restrições muito altas, o *C5* por exemplo, o número de *clusters* e o tamanho das redes formadas foram baixos. Nessa situação a probabilidade das unidades iniciais não interceptarem nenhuma rede, também é alta. Uma alternativa para contornar esse inconveniente seria o uso de várias amostras iniciais na tentativa de alguma delas interceptar pelo menos uma rede (THOMPSON; SEBER, 1996), visto que a detecção dos *clusters* implica em maior exatidão do procedimento (REIS; ASSUNÇÃO, 1998).

Nota-se que apesar da grande variação no tamanho das redes entre os diferentes valores de *C*, o peso das mesmas não varia muito entre os procedimentos. O peso da rede do 1º *cluster* da condição *C1*, por exemplo, que possui 219 parcelas, é igual ao peso da rede do 1º *cluster* da condição *C5* que possui 13 parcelas (Tabela 3.1). Como o peso da rede é usado no cálculo da média e da variância do estimador de Hansen-Hurwitz modificado, é desejável que esse fenômeno ocorra: redes com muitos indivíduos devem ser também aquelas com maior número parcelas ou unidades amostrais.

A ocorrência desse fenômeno é importante porque na média calculada pelo estimador de Hansen-Hurwitz modificado, o peso é usado uma vez para cada unidade da amostra inicial presente na rede, de modo que, a probabilidade da rede do 1º *cluster* da condição *C1* ter várias de suas parcelas selecionadas na amostra inicial é maior que a do 1º *cluster* da condição *C5*. Isto significa dizer que, mesmo sendo semelhantes os pesos das redes, seus tamanhos proporcionam probabilidades distintas das redes fazerem parte da amostra.

Procedemos então às 30 simulações de amostragem para cada procedimento (*C1*, *C2*, *C3*, *C4* e *C5*) (Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A e 5A do APENDICE 3.1). Para cada

simulação geramos um conjunto de 20 números aleatórios, que corresponde aos 2% de intensidade amostral inicial, sendo os mesmos números para os 5 procedimentos.

A média das estimativas das 30 simulações (Tabela 3.3) para cada condição *C*, mostra que a relação clássica entre precisão e intensidade amostral, ou seja, quanto maior a intensidade menor o erro (AVERY; BURKHART, 1983), não se aplica na amostragem multivariada para quantificação de frutos, quando é inserida uma segunda variável no critério de inclusão, isto é, a área da copa (Figura 3.3), pois, o procedimento mais preciso, o C5, foi o de menor área amostrada. Contudo, esse procedimento é também o menos exato.

Além disso, não podemos afirmar que a precisão segue uma relação direta com a intensidade amostral, pois, não foi observada essa tendência. Quando se trabalha com amostragem adaptativa tem-se como propósito “tirar vantagem” de características inerentes da população, que estejam mais relacionadas com as variáveis de interesse (THOMPSON, 1996). Nesse sentido, ao tentar encontrar uma relação que descreva de forma ótima para a variável de interesse da população (SMITH et al., 2003), as relações de abundância de indivíduos nas unidades de amostras nem sempre refletem a abundância da variável de interesse (Figura 3.3). Assim, destacamos o procedimento C3 como eficiente e preciso na estimativa da produção de frutos de pequi.

Tabela 3.3. Média de 30 simulações de cada procedimento AACM (C1, C2, C3, C4 e C5). Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra, em porcentagem, em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Condição C	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa. %
C1	28,2	11,230	9,579	0,598	10,6	11050	9818	12282	18370	-39,85
C2	21,0	13,658	2,899	0,358	5,5	13439	12701	14177	18370	-26,84
C3	9,4	19,577	20,234	0,916	9,4	19264	17377	21150	18370	4,86
C4	7,3	23,714	28,834	1,099	9,3	23335	21072	25598	18370	27,03
C5	3,1	31,401	5,238	0,412	2,6	30899	30051	31747	18370	68,20

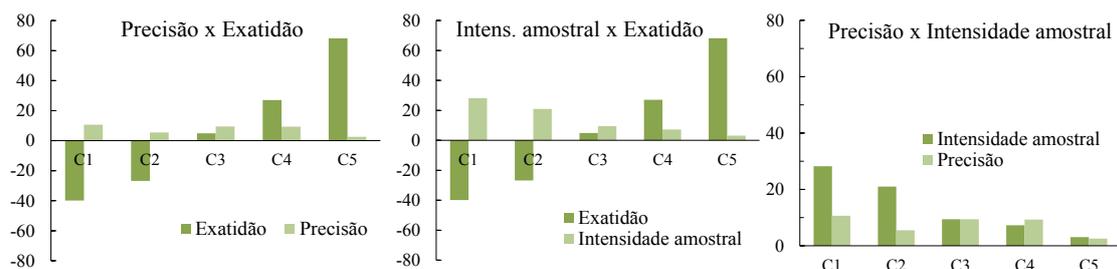


Figura 3.3. Relação entre medidas de precisão, exatidão e intensidade de amostragem para os procedimentos de AACM avaliados.

A condição de inclusão C3, que exige que a unidade de amostra contenha pelo menos 2 árvores com área de copa $\geq 10 \text{ m}^2$ apresentou erro de amostragem menor que 10% e exatidão menor que 5%. Esses valores são extremamente baixos em se tratando de ambientes naturais, onde a heterogeneidade, pelo menos das árvores, é bastante elevada (HUSCH et al., 1982). Contudo, devemos ressaltar que o parâmetro usado para validar o procedimento, isto é, a produção total de frutos do censo, foi modelado, o que diminui a variância dos valores individuais. Outra observação importante se refere a variação da precisão das 30 simulações (Tabela 3A do APENDICE 3.1). Como a precisão apresentou valores baixos para as 30 simulações, o que se deve à natureza do estimador que utiliza o peso das redes, acreditamos no potencial das amostragens adaptativas para quantificação de outros produtos da floresta, desde que detectada a variável correlacionada com o produto de interesse. Indicamos então a AACM com a condição C3 como um método promissor para a estimativa de frutos de pequi.

A área de copa $\geq 10 \text{ m}^2$, que foi escolhida de forma empírica para avaliação do método, é encontrada em menos da metade da população estudada (36%). Porém, a relação com a produção de frutos (ver capítulo 2) proporcionou a eficiência do método.

Relação positiva entre área de copa e produção de pequi também foi observada por Ferreira et al. (2005), que encontraram para as árvores de maior copa, produção de até 11,9 frutos por m^2 . Ressaltamos, porém, que sendo a polpa o principal produto aproveitável da espécie, é importante que a massa média de frutos e o rendimento da polpa sejam também avaliados (VERA et al., 2007; CORRÊA et al., 2008; MOURA et al., 2013). As massas dos frutos inteiros variam conforme a região de ocorrência, sendo encontrado valores variando de 6,6 gramas a 399,4 gramas (SILVA et al., 2001; VERA, 2004; VERA et al., 2007; MOURA et al., 2013). Contudo, o número de frutos já oferece um bom indicador do potencial produtivo das plantas (FERREIRA et al., 2005).

Tomando então o procedimento com a condição C3, como sendo o procedimento padrão, recalculamos a média pelos estimadores de Hansen-Hurwitz e Hansen-Thompson para inferir sobre o melhor estimador do parâmetro. Ambos os estimadores subestimaram a média populacional (Tabela 3.4). O cálculo da média desses estimadores considera a probabilidade de inclusão das unidades na amostra (HORVITZ; THOMPSON, 1952) e essa probabilidade considera o número de total de unidades de amostra que compõem a rede, em que a i -ésima unidade é uma unidade de fronteira. Como o pequi, além de ser uma espécie com distribuição espacial agregada é também uma espécie abundante na área de estudo (MOTA, 2014), igualmente como acontece em outros locais (SANTANA, 2002), podemos inferir que a probabilidade de uma unidade que contenha a espécie ser uma unidade de fronteira e não uma rede, é pequena. Portanto, podemos afirmar que o estimador de Hansen-Hurwitz modificado é o mais indicado para estimativa da média de frutos em populações de pequizeiros.

Tabela 3.4. Média da produção de frutos de pequi utilizando os estimadores de Hansen-Hurwitz modificado (\bar{Y}_{HHm}), Hansen-Thompson (\bar{Y}_{HT}) e Hansen-Hurwitz (\bar{Y}_{HH}) e, estimativa e exatidão da produção total de frutos (PF), para as condições C1, C2, C3, C4 e C5

Estimadores*	C1 _{HHm}	C2 _{HHm}	C3 _{HHm}	C4 _{HHm}	C5 _{HHm}
\bar{Y}_{HHm}	11,230	13,658	19,577	23,714	31,401
\bar{Y}_{HT}	8,345	9,349	11,023	11,394	12,332
\bar{Y}_{HH}	9,546	10,287	11,874	12,389	13,726
PF _{HHm}	9453	10446	11387	12562	13268
PF _{HT}	8211	9199	10847	11212	12135
PF _{HH}	9393	10122	11684	12191	13506
Exatidão _{HHm}	-39,85	-26,84	4,86	27,03	68,20
Exatidão _{HT}	-55,30	-49,92	-40,95	-38,97	-33,94
Exatidão _{HH}	-48,87	-44,90	-36,40	-33,64	-26,48

Considerando que o procedimento C3 foi escolhido como procedimento padrão ($C_{\text{padrão}}$) na área, determinamos o fator de correção a partir deste valor, para ser utilizado na estimativa da produção de frutos do procedimento C4, que escolhemos como sendo o segundo melhor procedimento. Decidimos por C4, pois, sua exatidão é menor que a exatidão do próximo procedimento mais restritivo, o C5 (Tabela 3.3).

O fator de correção médio encontrado foi de 0,87 (Tabela 3.5). Foram então realizadas outras 30 novas simulações independentes para o procedimento C4 (Tabela

6A do ANEXO 3.1). Para as médias obtidas dessas novas simulações aplicamos o fator de correção e calculamos uma nova exatidão (Tabela 3.5). Essa nova exatidão foi então comparada com a exatidão do procedimento C3, utilizando o teste t para amostras independentes ($p = 0,05$). O teste indicou não significância entre os valores ($t = 0,5455$; $g.l = 29$, $p = 0,5895$), ou seja, a exatidão estimada pelo procedimento padrão não difere da estimada pelo procedimento C4, utilizando o fator de correção 0,87. Este resultado é importante, já que a intensidade amostral do procedimento C4 é 22% menor que a intensidade do procedimento padrão. Porém, em se tratando de uma abordagem recente sobre a aplicação no método, o uso do fator de correção pode ser preterido em relação ao procedimento padrão, em situações que se exija alta precisão da estimativa.

Verificamos por fim que quanto maior o tamanho do cluster, maior a produção total de frutos estimada, o que é esperado em função da alta densidade de pequizeiros na área (Figura 3.4). Contudo, outros fatores além da densidade podem estar condicionando não só a distribuição dos pequizeiros (CLARK, 2002), como também a produção de frutos. Portanto, variáveis como fertilidade do solo, competição e outras, devem ser investigados para melhor avaliar a relação produção e agregação espacial. A hipótese, quanto maior o cluster menor a produção média de frutos por árvore, foi refutada (Figura 3.4), ou seja, caso exista competição em locais em que essa população apresenta grande densidade, essa competição, em princípio, não afeta a produção de frutos.

Tabela 3.5. Fator de correção (fc_x), nova simulação do procedimento C4 e cálculo da nova exatidão utilizando o fc_x médio (0,87). Em que $\bar{Y}C3$ = média do procedimento C3, $\bar{Y}C4$ = média do procedimento C4, N.S = nova simulação e Exa = exatidão

Simulação	$\bar{Y}C3$	$\bar{Y}C4$	fc_x	$\bar{Y}C4$ (N.S)	$\bar{Y}C4$ (N.S) * fc_x médio	Exa. C3	Exa. C4 (N.S)
1	17,49	31,44	0,56	30,96	26,94	-6,3	44,30
2	19,03	23,30	0,82	22,78	19,82	2,0	6,17
3	20,65	19,45	1,06	19,08	16,60	10,6	-11,09
4	18,80	14,69	1,28	14,37	12,50	0,7	-33,03
5	11,12	18,75	0,59	18,32	15,94	-40,4	-14,61
6	18,90	19,98	0,95	19,65	17,10	1,2	-8,41
7	15,74	20,55	0,77	20,00	17,40	-15,7	-6,77
8	17,67	30,96	0,57	30,39	26,44	-5,3	41,64
9	23,04	14,33	1,61	14,03	12,21	23,4	-34,60
10	21,36	28,07	0,76	27,68	24,08	14,4	29,00
11	26,56	27,21	0,98	26,78	23,30	42,3	24,79
12	24,49	19,76	1,24	19,35	16,84	31,2	-9,81
13	21,70	18,20	1,19	17,82	15,50	16,2	-16,95
14	26,09	29,24	0,89	28,80	25,05	39,8	34,20
15	18,70	22,16	0,84	21,81	18,97	0,2	1,64
16	15,79	31,78	0,50	31,09	27,05	-15,4	44,89
17	13,44	23,16	0,58	22,73	19,77	-28,0	5,90
18	14,55	19,84	0,73	19,34	16,83	-22,0	-9,86
19	25,32	27,23	0,93	26,92	23,42	35,6	25,46
20	20,44	17,48	1,17	16,99	14,78	9,5	-20,82
21	25,06	16,54	1,52	16,30	14,18	34,3	-24,03
22	16,27	27,91	0,58	26,97	23,47	-12,9	25,70
23	30,05	28,41	1,06	27,95	24,31	61,0	30,24
24	20,24	23,18	0,87	22,92	19,94	8,4	6,82
25	18,66	23,69	0,79	23,34	20,31	0,0	8,78
26	19,35	21,24	0,91	20,83	18,12	3,7	-2,93
27	15,48	27,93	0,55	27,37	23,81	-17,1	27,53
28	14,02	21,72	0,65	21,15	18,40	-24,9	-1,43
29	13,23	36,23	0,37	35,79	31,14	-29,1	66,79
30	24,06	27,01	0,89	26,51	23,06	28,9	23,52
MÉDIA	19,6	23,7	0,9	23,3	20,24	4,9	8,4

Verificamos por fim que quanto maior o tamanho do cluster, maior a produção total de frutos, que é esperado em função da alta densidade de pequizeiros na área (Figura 3.4). Contudo, outros fatores além da densidade podem estar condicionando não só a distribuição dos indivíduos (CLARK, 2002), como também a produção de frutos. Como a fertilidade local do solo, competição e outros fatores, que devem ser investigados para melhor avaliar a relação produção e agregação espacial. A segunda hipótese, a de que quanto maior o cluster, menor produção média de frutos por árvore,

foi refutada (Figura 3.4), ou seja, caso exista competição entre indivíduos em locais de maior densidade dos mesmos, essa competição em princípio não afeta a produção de frutos.

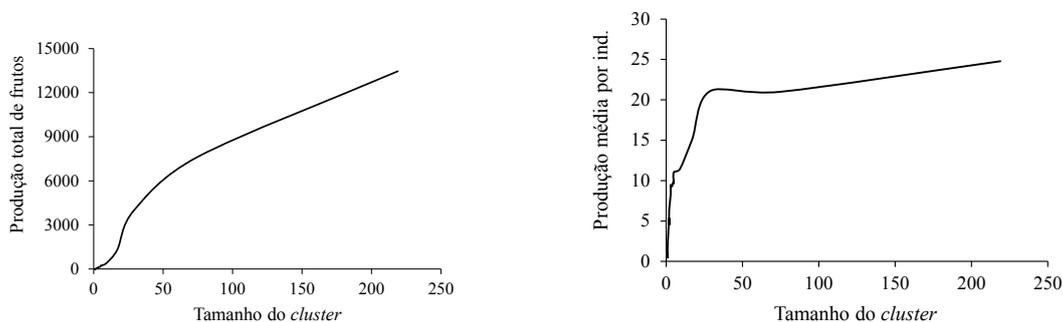


Figura 3.4. Relação entre o tamanho do *cluster* e a produção total por *cluster* e produção média por árvore.

3.7 CONCLUSÕES

- a) Na média das simulações realizadas, a amostragem adaptativa cluster multivariada, utilizando a condição de inclusão de 2 indivíduos com copas ≥ 10 m², na média, é eficiente, precisa e exata na estimativa da produção de frutos de pequi. Contudo houve grande variação na precisão entre as simulações realizadas.
- b) O estimador Hansen-Hurwitz modificado é adequado para estimativa da média e da variância da produção de frutos de pequi com o uso do método AACM.
- c) Um fator de correção igual a 0,87 pode ser usado para utilização do procedimento com valores mais restritivos o qual demandara menor esforço amostral: procedimento com C igual a 2 indivíduos e com copas ≥ 20 m².
- d) Quanto maior o tamanho do cluster, maior a produção total de frutos de pequi.
- e) Quanto maior o cluster, maior a produção média de frutos por pequizeiro.

3.8 RECOMENDAÇÕES

- a) Recomendamos que novos valores de condição de inclusão, até mesmo acrescentado mais variáveis à condição, sejam avaliados a fim de reduzir a variação na precisão da amostragem.

3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, L. H. T. A. **Alguns métodos de amostragem para populações raras e agrupadas**. Dissertação. Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, 2008, 98p.

AFONSO, S. R.; ÂNGELO, H. Mercado dos produtos florestais não-madeireiros do Cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 3, p. 317-328, 2009.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDERSON, A. B. **Alternatives to Deforestation: Steps Toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest**. Columbia University Press, NY. (Ed.), 1990.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983. 330p.

AutoCad 2007. ACIS ® Copyringht © 1989-2001. Spatial copr. Portions Copyringht © 20022004. Autodesk-Inc.

BORGES, L. M. REZENDE, A. V.; NOGUEIRA, G. S. Avaliação da amostragem aleatória de ramos para quantificar a produção de frutos de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae). **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 113-124, 2012.

BRAWERS, L. R.; CAMARGO, I. P.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Efeito de diferentes tratamentos físicos e químicos sobre a emergência de sementes de pequi (*Caryocar brasiliense*). **Informativo Abrates**, v.11, n.2. 2001.

BROWN, J. A. Designing an efficient adaptive cluster sample. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, n. 1, p. 95-105, 2003.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; NOGUEIRA, G. S.; PEREIRA, I. M.; LEITE, H. G.; MACHADO, E. L. M. Métodos de amostragem para quantificar indivíduos adultos do pequi *Caryocar brasiliense* Cambess. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1341-1347, 2014.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MACHADO, E. L. M.; LEITE, H. G.; PEREIRA, I. M.; NOGUEIRA, G. S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de pequi. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 249-256, 2013.

CLARK, D. B. Los factores edáficos y la distribución de las plantas. In: GUARIGUATA M. R.; KATTAN, G. H. **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. p.192-221.

COSTA, S. F. **Introdução ilustrada à estatística**. São Paulo: Harbra (4 ed), 2005. 400p.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; NABOUT, J. C.; BINI, J. M.; SOARES, T. N.; TELLES, M. P. C.; MARCO JR., P.; COLLEVATTI, R. G. Niche modelling and landscape genetics of *Caryocar brasiliense* ("Pequi" tree: Caryocaraceae) in Brazilian Cerrado: an integrative approach for evaluating central–peripheral population patterns. **Tree Genetics & Genomes**, v. 5, p. 617–627, 2009.

HANSEN, M. H.; HURWITZ, W. N. On the theory of sampling from finite populations. **Annals... of Mathematical Statistics**, v. 14, p. 333-362, 1943.

HORVITZ D. G.; THOMPSON, D. J. A generalization of sampling without replacement from a finite universe. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 663-685, 1952.

IEF, 2005. PORTARIA Nº 191, DE 16 DE SETEMBRO DE 2005. Dispõe sobre as normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada no Estado de Minas Gerais.

IEF - INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS /MG - **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Preto**. Belo Horizonte: Análise da Unidade de Conservação, Encarte 3, 2004.

MELO JR., A. F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F. A.; OLIVEIRA, D. A. Spatial genetic structure in natural populations of *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) in the North of Minas Gerais, Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 43, p. 205-209, 2012.

MELO, J. T. **Fatores relacionados com a dormência de sementes de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)**. Piracicaba: ESALQ, 92 p. (Dissertação-Mestrado em Ciências Florestais). 1987.

MOURA, N. F.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V. Caracterização física de frutos de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) do Cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 905-912, 2013.

NEPSTAD, D. C., SCHWARTMAN, S. **Non-Timber Products from Tropical Forests: Evaluation of a Conservation and Development Strategy**. The New York Botanical Garden, Bronx, New York. (Eds.), 1992.

PETER, C.; GUARIGUATA, M. R.; ALBORNOZ, M. A. Multiple use forestry planning: Timber and Brazil nut management in the community forests of Northern Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 49-56, 2012.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido amplo em 170 localidades do Bioma Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 7, n.1, p. 5-112, 2001.

REIS, I. K.; ASSUNÇÃO, R. M. Comparando três métodos de amostragem: método de distâncias, contagem de quadrats e conglomerado adaptativo. **Scientia Forestalis**, n. 54. p. 119-130, 1998.

ROESCH, F. A. Adaptive cluster sampling for forest inventories. **Forest Science**, v. 39, n. 4, p. 655-669, 1993.

SANTANA, J. G. **Caracterização de ambientes de cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região Sudeste do Estado de Goiás.** Dissertação. Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002. 101p.

SCHMIDT, I.; FIGUEIREDO, I. B.; SCARIOT, A. Etnobotânica e efeitos do extrativismo na ecologia populacional de *Syngonanthus nitens* (bong.) (bong.) Ruhland (Eriocaulaceae), um produto florestal não-madeireiro (pfm) da região do Jalapão, Tocantins, Brasil. **Economic Botany**, v. 61, n. 1, p.73-85, 2007.

SILVA, A. C. **Diagnóstico e avaliação pedológica para o plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Águas Vertentes.** Diamantina: SEMAD/IEF, 2005. 53p.

SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SILVA, J. A. Avaliação do potencial de produção do "pequizeiro-anão" sob condições naturais na região sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.3. p. 726-729, 2001.

SILVA, F. R.; CARMO, V. A. Caracterização das paisagens como subsídio às ações de planejamento do Parque Estadual do Rio Preto – município de São Gonçalo do Rio Preto - Minas Gerais. **In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA.** 2003. Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências. Belo Horizonte, MG.

SMITH, D. R.; VILLELLA, R. F.; LEMARIÉ, P. Application of adaptive cluster sampling to low-density populations of freshwater mussels. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, p. 7-15, 2003.

TOMASSINI, E.; MORS, W. B. *Dimorphandra mollis* Benth. eD. Gardneriana Tull., novas e excepcionais fontes de rutina. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 38, p. 321-323, 1966.

THOMPSON, S. K.; SEBER, G. A. F. **Adaptive Sampling.** New York: John Wiley & Sons, 1996. 265p.

THOMPSON, S. K. Adaptive cluster sampling. **Journal of the American Statistical Association**, v. 85, n. 412, p. 1050-1059, 1990.

VILELA, G. F. **Variações e populações naturais de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae): fenológicas, genéticas e de valores nutricionais de frutos.** Dissertação. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 88 p, 1998.

WIGGERS, V. R.; WISNIEWSKI JR., A.; MADUREIRA, L. A. S.; BARROS, A. A. C.; MEIER, H. F. Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant. **Fuel**, v. 88, p. 2135-2141, 2009.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.211, p.371-384, 2005.

WONG, J. L. G. **The biometrics of non-timber forest product resource assesment:** A review of current methodology. 2000. 108p.

APENDICE 3.1

Tabela 1A. Resultado de 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizado a AACM com a condição C1. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C1									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	27,3	21,23	38,06	1,37	13,5	20892	18080	23704	18370	13,7
2	31,4	10,30	2,35	0,34	6,9	10135	9437	10833	18370	-44,8
3	25,6	10,82	13,03	0,80	15,5	10645	9000	12290	18370	-42,1
4	24,1	11,93	10,63	0,72	12,7	11738	10252	13224	18370	-36,1
5	28,2	7,66	1,76	0,29	8,0	7535	6930	8141	18370	-59,0
6	26,5	10,06	3,77	0,43	8,9	9896	9011	10780	18370	-46,1
7	28,4	16,56	24,81	1,10	13,9	16296	14026	18567	18370	-11,3
8	30,1	15,21	23,15	1,06	14,7	14963	12770	17156	18370	-18,5
9	31,1	5,96	0,79	0,20	6,9	5866	5460	6271	18370	-68,1
10	26,5	13,84	18,30	0,95	14,3	13619	11669	15569	18370	-25,9
11	26,5	10,19	3,21	0,40	8,1	10028	9212	10845	18370	-45,4
12	27,5	10,44	7,30	0,60	12,0	10271	9040	11503	18370	-44,1
13	27,6	7,61	2,10	0,32	8,8	7486	6825	8148	18370	-59,2
14	30,8	22,12	42,98	1,45	13,7	21764	18776	24753	18370	18,5
15	30,4	8,67	4,20	0,45	11,0	8529	7595	9464	18370	-53,6
16	27,6	11,64	3,32	0,40	7,2	11453	10623	12283	18370	-37,7
17	28,5	11,20	3,42	0,41	7,7	11019	10176	11863	18370	-40,0
18	28,6	8,91	2,54	0,35	8,3	8771	8044	9498	18370	-52,3
19	29,6	8,30	2,94	0,38	9,6	8167	7385	8948	18370	-55,5
20	30,7	8,39	2,80	0,37	9,2	8254	7492	9017	18370	-55,1
21	28,6	5,83	2,00	0,31	11,3	5734	5089	6380	18370	-68,8
22	28,6	13,80	4,44	0,47	7,1	13581	12620	14541	18370	-26,1
23	27,4	8,90	4,35	0,46	10,9	8754	7804	9705	18370	-52,3
24	29,4	9,75	9,86	0,70	14,9	9593	8161	11024	18370	-47,8
25	27,5	13,36	10,84	0,73	11,4	13146	11645	14647	18370	-28,4
26	27,3	15,40	30,06	1,21	16,5	15149	12650	17648	18370	-17,5
27	27,3	10,83	3,03	0,39	7,4	10655	9862	11449	18370	-42,0
28	26,5	9,04	3,95	0,44	10,2	8897	7991	9802	18370	-51,6
29	30,2	9,83	3,83	0,43	9,2	9671	8779	10563	18370	-47,4
30	26,5	9,14	3,54	0,42	9,5	8990	8133	9848	18370	-51,1
MÉDIA	28,2	11,2	9,6	0,6	10,6	11050	9818	12282	-----	-39,8

Tabela 2A. Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C2. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C2									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	21,5	11,28	1,85	0,30	5,6	11096	10475	11716	18370	-39,6
2	24,4	17,57	18,65	0,96	11,4	17285	15316	19254	18370	-5,9
3	23,6	15,57	2,54	0,35	4,7	15324	14597	16051	18370	-16,6
4	20,3	13,14	1,00	0,22	3,5	12926	12469	13382	18370	-29,6
5	19,2	14,25	1,86	0,30	4,4	14021	13400	14642	18370	-23,7
6	23,5	12,04	3,02	0,38	6,7	11847	11056	12639	18370	-35,5
7	23,5	12,05	1,89	0,30	5,3	11852	11227	12478	18370	-35,5
8	20,7	15,40	2,57	0,35	4,8	15149	14419	15879	18370	-17,5
9	19,5	14,28	2,41	0,34	5,0	14052	13345	14760	18370	-23,5
10	22,4	10,67	2,57	0,35	7,0	10495	9764	11225	18370	-42,9
11	21,6	14,15	2,98	0,38	5,6	13922	13136	14709	18370	-24,2
12	23,3	13,18	2,56	0,35	5,6	12972	12242	13701	18370	-29,4
13	24,2	12,59	1,97	0,31	5,2	12388	11749	13027	18370	-32,6
14	20,5	15,96	2,29	0,33	4,4	15703	15013	16393	18370	-14,5
15	19,5	14,22	2,96	0,38	5,6	13989	13205	14773	18370	-23,8
16	19,7	13,77	2,10	0,32	4,9	13549	12889	14209	18370	-26,2
17	23,5	13,08	2,77	0,37	5,9	12870	12111	13628	18370	-29,9
18	19,6	11,53	2,24	0,33	6,0	11350	10668	12033	18370	-38,2
19	18,4	13,84	2,76	0,37	5,6	13618	12861	14375	18370	-25,9
20	21,7	12,04	1,73	0,29	5,1	11847	11248	12447	18370	-35,5
21	20,8	12,84	2,49	0,35	5,7	12638	11920	13357	18370	-31,2
22	22,5	11,98	1,58	0,28	4,9	11784	11211	12357	18370	-35,9
23	23,5	13,26	2,80	0,37	5,8	13053	12290	13816	18370	-28,9
24	19,3	14,62	3,34	0,40	5,8	14384	13551	15217	18370	-21,7
25	18,5	15,08	2,83	0,37	5,2	14842	14074	15609	18370	-19,2
26	18,6	12,36	2,42	0,34	5,8	12162	11453	12871	18370	-33,8
27	17,4	13,74	2,33	0,34	5,2	13518	12822	14215	18370	-26,4
28	20,7	15,55	1,83	0,30	4,0	15297	14680	15914	18370	-16,7
29	19,8	16,28	2,44	0,35	4,4	16021	15309	16733	18370	-12,8
30	17,5	13,43	2,21	0,33	5,1	13218	12540	13895	18370	-28,0
MÉDIA	21,0	13,66	2,90	0,36	5,5	13439	12701	14177	-----	-26,8

Tabela 3A. Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C3. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C3									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	10,3	17,49	11,34	0,75	8,9	17210	15675	18744	18370	-6,3
2	9,2	19,03	14,25	0,84	9,2	18729	17008	20449	18370	2,0
3	9,3	20,65	26,04	1,13	11,4	20321	17995	22647	18370	10,6
4	10,4	18,80	10,29	0,71	7,9	18501	17039	19963	18370	0,7
5	9,2	11,12	0,86	0,21	3,9	10943	10520	11367	18370	-40,4
6	9,6	18,90	15,75	0,88	9,7	18594	16785	20403	18370	1,2
7	9,7	15,74	7,88	0,62	8,3	15487	14207	16766	18370	-15,7
8	10,7	17,67	22,90	1,06	12,5	17389	15207	19570	18370	-5,3
9	9,3	23,04	31,88	1,25	11,4	22670	20096	25244	18370	23,4
10	9,2	21,36	28,26	1,18	11,5	21013	18590	23437	18370	14,4
11	10,3	26,56	28,00	1,17	9,2	26132	23720	28544	18370	42,3
12	8,4	24,49	38,19	1,37	11,7	24102	21285	26919	18370	31,2
13	11,2	21,70	10,89	0,73	7,0	21353	19849	22857	18370	16,2
14	9,6	26,09	50,23	1,57	12,6	25677	22447	28908	18370	39,8
15	10,7	18,70	12,76	0,79	8,9	18399	16771	20028	18370	0,2
16	9,7	15,79	1,27	0,25	3,3	15533	15019	16048	18370	-15,4
17	9,3	13,44	2,04	0,32	4,9	13228	12577	13879	18370	-28,0
18	9,2	14,55	8,08	0,63	9,0	14320	13024	15616	18370	-22,0
19	8,7	25,32	50,10	1,57	12,9	24915	21688	28141	18370	35,6
20	7,6	20,44	21,63	1,03	10,5	20114	17994	22234	18370	9,5
21	9,8	25,06	39,53	1,39	11,6	24662	21796	27528	18370	34,3
22	10,4	16,27	3,78	0,43	5,5	16009	15123	16895	18370	-12,9
23	8,3	30,05	46,39	1,51	10,5	29571	26466	32675	18370	61,0
24	8,3	20,24	26,60	1,14	11,8	19915	17564	22266	18370	8,4
25	8,7	18,66	14,97	0,86	9,6	18361	16597	20125	18370	0,0
26	7,8	19,35	26,67	1,14	12,4	19044	16690	21398	18370	3,7
27	9,7	15,48	7,90	0,62	8,4	15233	13952	16514	18370	-17,1
28	8,6	14,02	6,34	0,56	8,3	13793	12646	14941	18370	-24,9
29	8,8	13,23	3,79	0,43	6,8	13017	12130	13904	18370	-29,1
30	10,4	24,06	38,41	1,37	11,9	23675	20850	26500	18370	28,9
MÉDIA	9,4	19,6	20,2	0,9	9,4	19264	17377	21150	-----	4,9

Tabela 4A. Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizado a AACM com a condição C4. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C4									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	7,3	31,44	59,20	1,70	11,3	30942	27434	34449	18370	68,4
2	8,1	23,30	33,85	1,29	11,6	22922	20270	25574	18370	24,8
3	5,9	19,45	17,47	0,93	10,0	19136	17231	21041	18370	4,2
4	7,9	14,69	0,56	0,17	2,4	14458	14117	14799	18370	-21,3
5	7,8	18,75	17,79	0,93	10,4	18447	16525	20370	18370	0,4
6	7,1	19,98	17,40	0,92	9,7	19660	17759	21561	18370	7,0
7	6,1	20,55	17,80	0,93	9,5	20226	18302	22149	18370	10,1
8	5,2	30,96	59,84	1,71	11,6	30463	26937	33989	18370	65,8
9	8,2	14,33	0,24	0,11	1,6	14099	13874	14324	18370	-23,2
10	7,1	28,07	46,64	1,51	11,3	27625	24512	30738	18370	50,4
11	7,2	27,21	47,31	1,52	11,7	26778	23642	29913	18370	45,8
12	7,5	19,76	17,65	0,93	9,8	19447	17532	21361	18370	5,9
13	7,8	18,20	17,91	0,94	10,8	17912	15983	19841	18370	-2,5
14	7,6	29,24	29,47	1,20	8,6	28771	26296	31246	18370	56,6
15	7,1	22,16	17,25	0,92	8,7	21809	19916	23702	18370	18,7
16	7,9	31,78	59,59	1,71	11,3	31273	27754	34792	18370	70,2
17	6,9	23,16	33,39	1,28	11,6	22785	20151	25418	18370	24,0
18	6,9	19,84	17,74	0,93	9,8	19520	17600	21440	18370	6,3
19	6,9	27,23	30,43	1,22	9,4	26790	24275	29305	18370	45,8
20	7,6	17,48	1,53	0,27	3,3	17201	16637	17764	18370	-6,4
21	7,3	16,54	0,27	0,12	1,5	16274	16035	16513	18370	-11,4
22	7,2	27,91	46,63	1,51	11,3	27463	24351	30576	18370	49,5
23	7,9	28,41	45,85	1,50	11,0	27955	24869	31042	18370	52,2
24	7,5	23,18	33,34	1,28	11,5	22813	20181	25445	18370	24,2
25	7,8	23,69	32,66	1,26	11,2	23308	20703	25913	18370	26,9
26	6,9	21,24	17,44	0,92	9,1	20901	18997	22805	18370	13,8
27	7,9	27,93	46,66	1,51	11,3	27480	24366	30593	18370	49,6
28	6,8	21,72	17,19	0,92	8,8	21368	19478	23258	18370	16,3
29	6,9	36,23	51,26	1,58	9,2	35649	32386	38913	18370	94,1
30	7,5	27,01	30,68	1,23	9,5	26573	24049	29098	18370	44,7
MÉDIA	7,3	23,7	28,8	1,1	9,3	23335	21072	25598	-----	27,0

Tabela 5A. Resultado das 30 simulações do procedimento de amostragem para estimativa da produção de frutos de pequi utilizando a AACM com a condição C5. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C5									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	±E%	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	2,7	27,06	2,92	0,38	2,9	26624	25845	27403	18370	44,9
2	2,6	27,86	1,75	0,29	2,2	27413	26810	28017	18370	49,2
3	2,5	27,56	0,98	0,22	1,7	27116	26665	27568	18370	47,6
4	2,4	28,25	0,70	0,18	1,4	27797	27417	28177	18370	51,3
5	3,2	25,93	2,18	0,33	2,6	25516	24843	26188	18370	38,9
6	3,7	45,82	27,58	1,16	5,3	45084	42690	47478	18370	145,4
7	3,7	46,53	25,87	1,13	5,1	45784	43465	48102	18370	149,2
8	3,4	27,67	2,25	0,33	2,5	27223	26540	27906	18370	48,2
9	3,6	32,65	0,15	0,09	0,6	32123	31945	32301	18370	74,9
10	3,7	29,76	2,59	0,36	2,5	29284	28551	30017	18370	59,4
11	3,2	30,31	2,47	0,35	2,4	29822	29105	30539	18370	62,3
12	2,9	30,90	1,26	0,25	1,7	30405	29894	30916	18370	65,5
13	2,9	31,31	0,84	0,20	1,4	30805	30387	31223	18370	67,7
14	3,1	28,83	2,99	0,38	2,8	28371	27583	29159	18370	54,4
15	3,4	28,79	1,21	0,24	1,8	28329	27828	28831	18370	54,2
16	3,2	28,62	2,53	0,35	2,6	28162	27437	28887	18370	53,3
17	2,9	30,14	5,88	0,54	3,7	29659	28554	30764	18370	61,5
18	2,9	40,10	19,36	0,97	5,1	39461	37456	41467	18370	114,8
19	3,1	55,52	21,06	1,02	3,8	54631	52539	56723	18370	197,4
20	3,1	50,22	17,55	0,93	3,9	49415	47506	51325	18370	169,0
21	3,2	28,45	0,49	0,15	1,1	27993	27674	28312	18370	52,4
22	2,7	26,90	2,57	0,36	2,8	26465	25734	27197	18370	44,1
23	2,9	25,45	1,47	0,27	2,2	25043	24491	25595	18370	36,3
24	3,1	26,57	1,03	0,22	1,8	26144	25682	26607	18370	42,3
25	3,1	27,51	1,20	0,24	1,8	27067	26568	27566	18370	47,3
26	3,1	27,46	1,20	0,24	1,8	27020	26521	27520	18370	47,1
27	2,9	27,60	1,96	0,31	2,3	27159	26521	27797	18370	47,8
28	2,9	29,65	1,73	0,29	2,1	29173	28574	29772	18370	58,8
29	2,9	23,66	1,53	0,27	2,4	23285	22721	23849	18370	26,8
30	3,1	25,00	1,86	0,30	2,5	24598	23977	25219	18370	33,9
MÉDIA	3,1	31,4	5,2	0,4	2,6	30899	30051	31747	-----	68,2

Tabela 6A. Resultado de 30 novas simulações independentes para o procedimento de amostragem com a condição C4. Em que: nf% = número final de unidades distintas na amostra em porcentagem em relação a área total; \bar{Y}_{HHm} = estimativa da produção média por parcela da rede; $S^2\bar{Y}_{HHm}$ = variância; $S\bar{Y}_{HHm}$ = variância da média; E% = erro em porcentagem; PF est = produção total de frutos estimada; Li = limite de confiança inferior; Ls = limite de confiança superior; PF obs = produção total de frutos observada; Exa. = exatidão da estimativa

Simulação	C4 (novas simulações independentes)									
	nf%	\bar{Y}_{HHm}	$S^2\bar{Y}_{HHm}$	$S\bar{Y}_{HHm}$	$\pm E\%$	PF est	Li	Ls	PF obs	Exa.%
1	8,2	30,96	57,01	1,67	11,3	30468	27026	33909	18370	65,9
2	8,1	22,78	32,88	1,27	11,7	22417	19803	25031	18370	22,0
3	6,1	19,08	16,87	0,91	10,0	18774	16901	20646	18370	2,2
4	8,1	14,37	0,56	0,17	2,4	14141	13800	14482	18370	-23,0
5	7,8	18,32	17,32	0,92	10,5	18029	16132	19926	18370	-1,9
6	7,6	19,65	16,78	0,91	9,7	19339	17472	21206	18370	5,3
7	7,5	20,00	17,19	0,92	9,6	19685	17795	21574	18370	7,2
8	6,9	30,39	57,79	1,68	11,6	29907	26442	33372	18370	62,8
9	8,1	14,03	0,33	0,13	1,9	13810	13546	14073	18370	-24,8
10	7,5	27,68	44,92	1,48	11,2	27239	24184	30294	18370	48,3
11	7,6	26,78	45,63	1,49	11,7	26350	23271	29429	18370	43,4
12	7,8	19,35	17,10	0,92	9,9	19043	17158	20927	18370	3,7
13	7,8	17,82	17,39	0,92	10,8	17535	15634	19436	18370	-4,5
14	7,7	28,80	28,47	1,18	8,6	28335	25903	30768	18370	54,2
15	7,8	21,81	16,63	0,90	8,7	21460	19602	23319	18370	16,8
16	8,1	31,09	57,85	1,68	11,3	30593	27126	34060	18370	66,5
17	7,2	22,73	32,32	1,26	11,6	22362	19770	24953	18370	21,7
18	7,3	19,34	17,26	0,92	9,9	19033	17140	20927	18370	3,6
19	7,2	26,92	29,34	1,20	9,3	26491	24022	28960	18370	44,2
20	7,8	16,99	1,73	0,29	3,6	16719	16120	17317	18370	-9,0
21	7,5	16,30	0,29	0,12	1,5	16040	15794	16287	18370	-12,7
22	7,6	26,97	45,48	1,49	11,6	26541	23467	29615	18370	44,5
23	8,1	27,95	44,16	1,47	11,0	27500	24471	30529	18370	49,7
24	7,6	22,92	32,06	1,25	11,4	22555	19974	25136	18370	22,8
25	8,2	23,34	31,51	1,24	11,1	22968	20409	25526	18370	25,0
26	7,1	20,83	16,95	0,91	9,2	20497	18620	22374	18370	11,6
27	8,1	27,37	45,22	1,49	11,4	26928	23863	29993	18370	46,6
28	7,2	21,15	16,77	0,91	9,0	20813	18946	22680	18370	13,3
29	7,3	35,79	49,19	1,55	9,1	35217	32020	38414	18370	91,7
30	7,9	26,51	29,78	1,21	9,5	26082	23595	28569	18370	42,0
MÉDIA	7,6	23,27	27,89	1,08	9,3	22896	20667	25124	-----	24,6

Capítulo 4. FATORES LIMITANTES DA PRODUÇÃO DE FRUTOS DE PEQUI: DIRECIONAMENTO SILVICULTURAL

4.1 RESUMO

A demanda por produtos florestais não madeireiros (PNFMs) pode contribuir com a conservação de biomas ameaçados, mas, pode ser também a causa do aumento da pressão sobre espécies de interesse. Nesse sentido a silvicultura dessas espécies é uma alternativa para o mercado desses PNFMs. Portanto, o objetivo desse trabalho foi identificar fatores passíveis de manejo silvicultural que são limitantes para a produção de frutos de pequi. O estudo foi desenvolvido no Estado de Minas Gerais, em 36,5 ha de cerrado *sensu stricto*, onde foi realizado o censo das árvores adultas de pequi. Distribuimos as árvores registradas no censo em classes de diâmetro, e, em seguida, selecionamos, aleatoriamente, 10% das árvores por classe diamétrica. Coletamos as variáveis diâmetro do fuste, quantidade de frutos por quadrante da copa (em 2 anos consecutivos) e o *status* competitivo da árvore para cada pequizeiro selecionado. A coleta de solo foi realizada em dezessete parcelas de 20 x 50 m, distribuídas sistematicamente na área, e, por meio de imagens de satélite e análises geoestatísticas, obteve-se a orientação, declividade, perfil de curvatura, e os 5 índices de vegetação. Esses atributos foram avaliados e aqueles selecionados compuseram o grupo de variáveis ambientais investigadas como limitantes da produção de pequi. O pequi possui variação temporal da produção frutos e alta densidade de árvores com produção zero. A produção de frutos não tem relação com o quadrante da copa ao qual pertence, mas, tem relação direta com a competição sendo a densidade de competidores mais importante que a ocupação em área basal. As variáveis passíveis de manejo que melhor descrevem a produção de frutos são a área da copa, o alumínio, o potássio, o fósforo a competição. **Palavras-chave:** Produtos florestais não madeireiros, Cerrado, manejo.

4.2 ABSTRACT

Demand for non-timber forest products (NTFPs) may contribute to the conservation of threatened biomes, but may also be the cause of increased pressure on species of interest. In this sense, the forestry of these species is an alternative to balance the market of these NTFPs. Therefore, the objective of this work was to identify factors susceptible to silvicultural management that are limiting to the production of pequi fruits. The study was developed in the State of Minas Gerais, in 36.5 ha of Cerrado *sensu stricto*, where the census of the pequi adult trees was carried out. We distributed the trees registered in the census into diameter classes, and then randomly selected 10% of trees per diameter class. We collected the variables stem diameter, number of fruits per canopy quadrant (in 2 consecutive years) and the competitive status of the tree for each selected weevil. The soil was collected in seventeen plots of 20 x 50 m, systematically distributed in the area, and by means of satellite images and geostatistical analyzes, the orientation, slope, curvature profile and the 5 vegetation indices were obtained. These attributes were evaluated and those selected comprised the group of environmental variables investigated as limiting the pequi production. The pequi has temporal variation of fruit production and high density of trees with zero production. The fruit production has no relation with the quadrant of the crown to which it belongs, but, it has direct relation with the competition being the density of competitors more important than the occupation in basal area. The manageable variables that best describe fruit production are the crown area, aluminum, potassium, phosphorus and competition.

Keywords: Non-timber forest products, Savannah, management.

4.3 INTRODUÇÃO

Os produtos florestais não madeireiros (PFNMs) comercializados, oriundos do extrativismo vegetal seguem um ciclo de vida composto por quatro fases: expansão, estabilização, declínio e plantio racional (HOMMA, 1990). Na fase da expansão, a comercialização do produto tem rápido crescimento, pois, o produto ainda é abundante na natureza. Na fase de estabilização há o equilíbrio entre oferta e demanda, com provável elevação de preços, visto que a demanda não é atendida pela capacidade limitada do extrativismo. Nesse contexto, abordamos neste estudo, a importância das pesquisas com os PFMNs para a geração das tecnologias necessárias para o manejo, conservação ou silvicultura das espécies de interesse.

A crescente demanda por produtos naturais e que preferencialmente estejam vinculados a atividades com pouca intervenção nos ecossistemas nativos, aumentou a visibilidade dos PFMNs no mercado. Visto que a quantificação é a principal ferramenta para auxiliar as decisões de manejo, será necessário incluir os PFMNs nos levantamentos dos recursos. Porém, segundo Wong et al. (2001), as características comuns a diversas espécies que produzem PFMN, como raridade, agrupamento, sazonalidade, mobilidade e necessidade de quantificação por métodos não destrutivos, dificultam a utilização de técnicas tradicionais de quantificação. Nesse sentido, Wickens (1991) já alertava para a necessidade de desenvolver conhecimento sobre a abundância, distribuição, ecologia e cultivo de espécies com potencial para produção não madeireira.

No Cerrado, entre as espécies com grande potencial para produção não madeireira, está o *Caryocar brasiliense* Cambess. (pequi) (SCHMDLT et al., 2007). Segundo Afonso; Ângelo (2009), do ponto de vista econômico, crescimento da produção e do preço, o pequi é o principal PFMN do Cerrado. Melo Jr. et al. (2012) classificaram a espécie como uma das mais importantes e úteis do Cerrado. O interesse pelo seu fruto se deve ao uso na culinária regional, possuindo elevados teores de vitamina A, lipídios, proteínas e β -caroteno (RIBEIRO, 2000; OLIVEIRA et al.; 2006; LIMA et al., 2007; ROSSO; MERCADANTE; 2007; RODRIGUES et al., 2009; ALVES et al., 2010); à utilidade do óleo como biocombustível, classificado por Silva et al. (2014) como potencial substituinte do diesel mineral; e ao uso na indústria farmacêutica (PROENÇA et al., 2000; KERR et al., 2007; ROESLER et al., 2008; MARIANO et al., 2009; GEÓCZE et al., 2013).

Para espécies cujos frutos apresentam múltiplos usos e alto valor econômico, como é o caso do pequi, um nível máximo de frutificação é um fator importante para o sucesso comercial e para sustentabilidade da colheita (KAINER et al., 2007). Porém, as condicionantes ambientais relacionadas à produção de frutos da espécie ainda são pouco conhecidas. A obtenção dessas informações, principalmente se as variáveis avaliadas forem manejáveis, pode ser uma ferramenta fundamental para programas de silvicultura, além de contribuir para a conservação *in situ* da espécie. Assim o objetivo desse estudo foi identificar fatores passíveis de manejo silvicultural que são limitantes para a produção de frutos de pequi.

4.4 OBJETIVO PRINCIPAL

- Identificar fatores passíveis de manejo silvicultural que são limitantes para a produção de frutos de pequi.

4.4.1 Objetivos específicos

- Verificar a relação do *status* competitivo da árvore de pequi com a sua produção de frutos;
- Identificar variáveis ambientais que sejam limitantes para a produção de frutos de pequi;
- Avaliar se a produção de frutos de pequi está correlacionada com a posição da copa em relação ao sol.

4.5 MATERIAL E MÉTODOS

4.5.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), que é uma Unidade de Conservação (UC) integral, pertencente ao Município de São Gonçalo do Rio Preto-MG, localizado na Serra do Espinhaço. A região possui clima mesotérmico, CWb na classificação de Köppen, temperatura média de 18,7°C, precipitação média anual de 1.500 mm (SILVA, 2005) e umidade relativa do ar em torno de 71% (NEVES et al., 2005). Os solos são constituídos por sedimentos aluviais formados a partir do intemperismo de rochas quartzíticas (SILVA; CARMO, 2003). E a formação florestal predominante do Parque é o cerrado *sensu stricto*, que segundo Ribeiro; Walter (2008), engloba diversos subtipos: cerrado denso, cerrado típico, cerrado ralo e cerrado rupestre.

4.5.2. Coleta e tratamento dos dados

Um censo de indivíduos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.) foi realizado em uma área de 36,5 ha de cerrado *sensu stricto*, no PERP, na coordenada central 23K 675074,630E 7995071,119N UTM (BRUZINGA et al., 2013). Nesta área, o pequi é a espécie de maior abundância e dominância (BRUZINGA et al., 2014).

Consideramos no censo apenas os indivíduos adultos de pequi, com diâmetro a 30 cm do solo (DAS) igual ou superior a 5 cm (SANTANA; NAVES, 2003). No total foram registrados 2.201 indivíduos, sendo todos georreferenciados. Para compor o banco de dados do presente estudo, distribuimos os indivíduos registrados no censo em classes de diâmetro, com intervalo de classe igual a 5 cm, e, em seguida selecionamos, aleatoriamente, 10% dos indivíduos de cada classe diamétrica. No total, o banco de dados ficou representado por 225 indivíduos de pequi.

Em fevereiro de 2014, período de máxima maturação dos frutos de pequi no PERP (MAGALHÃES, 2013), realizamos a coleta das seguintes informações em cada uma das 225 árvores selecionadas: área da copa, calculada pela fórmula da elipse utilizando o diâmetro máximo da copa e o diâmetro perpendicular a este. Indivíduos que perderam a copa em função da idade, por exemplo, e atualmente se encontra com pequenas rebrotas, foram considerados sendo de copa zero; produção total de frutos por árvore; produção de frutos por quadrante da copa e *status* competitivo. Em função da sazonalidade observada da frutificação do pequi (ARAÚJO 1995; GRIBEL; HAY, 1993; LEITE et al., 2006; ZARDO, 2008), realizamos em fevereiro de 2015 uma outra contagem dos frutos em cada uma das 225 árvores selecionadas e decidimos considerar a produção de frutos, total e por quadrante da copa, para cada árvore, como sendo à média da produção nos dois anos monitorados.

Com auxílio de uma bússola, dividimos a copa de cada árvore em quadrantes (nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste) e os galhos principais de cada quadrante foram marcados com fita colorida, sendo uma cor para cada quadrante. A contagem de frutos foi realizada com auxílio de escada e binóculo quando necessário. Após contagem, a fita no galho contabilizado era retirada para evitar a recontagem de frutos num mesmo galho. Frutos ‘caídos’ também foram contabilizados e somados à produção do quadrante ao qual pertenciam (APENDICE 4.1). Nestes, apenas para fins de caracterização, foi pesado o fruto inteiro e o putâmen. Putâmen é a parte do fruto constituída da semente, envolta pelo endocarpo rígido e espinhoso e pelo mesocarpo

interno, de cor amarela e aroma forte, que recobre o endocarpo e que constitui a parte comestível do fruto (ALMEIDA et al., 1998).

A identificação de variáveis ambientais limitantes para a produção de frutos de pequi considerou a competição entre árvores, variáveis do solo (químicas e físicas), orientação em relação ao sol, declividade, perfil de curvatura e índices de vegetação.

Para obtenção do *status* competitivo, medimos a distância e o DAS das árvores competidoras em cada um dos 225 pequizeiros selecionados. Consideramos competidoras, todas as árvores, independente da espécie, com DAS ≥ 5 cm, encontradas ao redor de cada pequizeiro (árvore objeto), adotando um raio igual a 2 vezes o raio médio da copa da árvore objeto (TONINI et al., 2008). Para cada pequizeiro foram obtidos os índices de competição: Gdist (área basal ponderada pela distância dos competidores), Gdistg (área basal ponderada pela distância dos competidores mais grossos que a árvore objeto), Sddist (soma dos diâmetros ponderada pela distância dos competidores), Sddistg (soma dos diâmetros ponderada pela distância dos competidores mais grossos que a árvore objeto) e IH (índice de Hegyi) (TONINI et al., 2008):

$$Gdist = \sum_{i=1}^n \frac{gc}{Dist_c}$$

$$Gdist_g = \sum_{i=1}^n \frac{gc_g}{Dist_c}$$

$$Sddist = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{Dist_c} f$$

$$Sddist_g = \sum_{i=1}^n \frac{dc_g}{Dist_c}$$

$$IH = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dc}{do} \cdot \frac{1}{Dist_c} \right)$$

em que: gc = área basal do competidor; $Dist_c$ = distância do competidor à árvore objeto; gc_g = área basal dos competidores mais grossos que a árvore objeto; dc = diâmetro do competidor; dc_g = diâmetro dos competidores mais grossos que a árvore objeto; do = diâmetro da árvore objeto (pequi); n = número total de competidores.

A coleta de solo foi realizada em dezessete parcelas de 20×50 m, distribuídas sistematicamente na área de estudo, a uma distância de 150 m entre faixas (na horizontal) e 100 metros entre parcelas (exceto para a primeira parcela da direita que foi relocada) (Figura 3.1). Em cada parcela coletamos, aleatoriamente, 10 amostras simples de solo superficial (0-20 cm de profundidade). As amostras foram misturadas e 300 cm^3

dessa mistura (amostra composta) foram utilizadas para análise química e física do solo de cada parcela. As análises foram realizadas conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1999) e as seguintes informações foram registradas: matéria orgânica (MO); grau de acidez (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H +Al), saturação por bases (V%), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions em pH 7 (T), capacidade de troca de cátions efetiva (t), saturação por alumínio (m%), % de areia, % de silte, % de argila, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e volume total de poros (VTP) (Resultados das análises na Tabela .

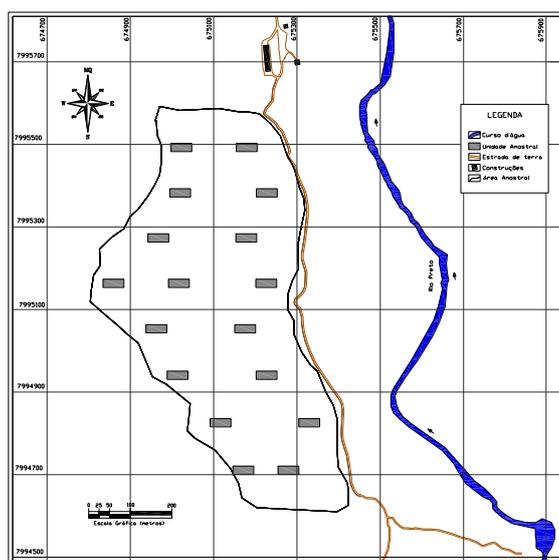


Figura 4.1. Distribuição e localização das parcelas de 20 × 50 m onde foram coletadas as amostras de solos no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), no Estado de Minas Gerais.

A partir do raster DEM (*Digital Elevation Model*), resolução espacial de 30 m (ASTER GDEM <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp>), geramos o mapa de altitude para extração dos dados de orientação em relação ao sol (inclinação de 0° a 360° em relação ao norte) (BURROUGH; MCDONELL, 1998), de declividade e de perfil de curvatura (plano, côncavo e convexo) (ZIADAT, 2005), para cada pixel de 3 m² do terreno.

Imagens da banda *Red Edge* do satélite *Rapideye*, foram utilizadas para extração dos índices de vegetação (IV) da área: NDVI (IV por diferença normalizada) (ROUSE et al., 1973); NDRE (IV por diferença normalizada por *Red-Edge*) (EITEL et al., 2010); MCTI (Índice de clorofila terrestre) (DASH; CURRAN, 2004); CI_green (Índice de clorofila verde) (GITELSON et al., 2003); e o CCCI (Índice de clorofila no dossel)

(LONG et al., 2012). As imagens foram trabalhadas no ArcGis 9.3, utilizando as ferramentas *3D Analyst Tools*, *Raster Surface* e o *Aspect*.

4.5.3. Análise dos dados

Para verificar a relação do *status* competitivo do pequi com a produção de frutos, avaliamos a relação de cada índice de competição (Gdist, Gdistg, Sddist, Sddistg e IH) com as classes de produção de frutos estabelecidas (Tabela 4.1) em três classes de tamanho de copa: pequena (copa com até 5 m² de área), média (de 5 a 10 m²) e grande (> 10 m²). Esta relação foi avaliada a partir do ajuste de modelos de regressão lineares e não lineares para verificar a coerência dos índices com as classes de produção. Dos índices coerentes, selecionamos para o estudo da modelagem, o que apresentou maior coeficiente de correlação de Spearman a 5% de significância (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2006) com a produção total de frutos.

Tabela 4.1. Classes de produção de frutos de pequi

Classe	PF (Produção de frutos)	Parâmetro*
1	Nula	PF = 0
2	Baixa	$0 < PF \leq \bar{X} - 1s$
3	Média	$\bar{X} - 1s < PF < \bar{X} + 1s$
4	Alta	$\bar{X} + 1s < PF < \bar{X} + 2s$
5	Muito alta	$PF \geq \bar{X} + 2s$

*PF = produção de frutos (contagem do número de frutos); \bar{x} = média da produção de frutos; s = desvio padrão da produção de frutos.

Utilizando a krigagem ordinária (MELO JÚNIOR et al., 2006) e o software ArcGis 9.3, realizamos a interpolação geoestatística para obter os valores de orientação em relação ao sol, declividade, curvatura, bem como os atributos do solo (variáveis químicas e físicas) para cada um dos pequizeiros selecionados. A krigagem é uma técnica de modelagem que usa a dependência espacial entre pontos amostrais vizinhos, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (TRANGMAR et al., 1985). Essa modelagem tem como base a teoria das variáveis regionalizadas (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989) e como ferramenta primária, o semivariograma (HAMLETT et al., 1986):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_1^{N(h)} [Z(s) - Z(s+h)]^2$$

em que: $\hat{\gamma}(h)$ = grandeza da variável no ponto Z ; $Z(s)$ = valor da propriedade Z na localização s no espaço; $N(h)$ = número de pares de dados separados pela distância h .

A dependência espacial obtida pela krigagem, considerando os atributos químicos e físicos do solo, a orientação em relação ao sol, a declividade e a curvatura, foi classificada conforme Cambardella et al. (1994) em: *forte*, para semivariograma com efeito pepita menor ou igual a 25 % do patamar; *moderada*, para semivariograma com efeito pepita entre 25 e 75 % do patamar e, *fraca*, para semivariograma com efeito pepita maior que 75 % do patamar (Figura 4.2).

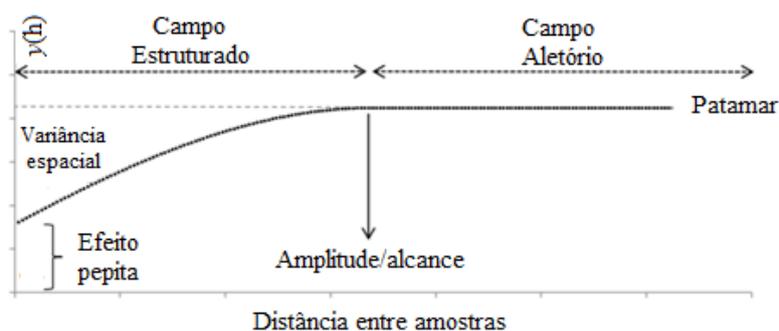


Figura 4.2. Modelo de um semivariograma e suas propriedades. Fonte: LEAL (2013).

Para extração dos índices de vegetação (IVs) nas imagens da banda *Red Edge*, foi estabelecido um *buffer* de 6,2 m (duas vezes o diâmetro médio da copa dos pequi calculado pela fórmula de elipse) na coordenada de cada pequi. Como os pixels da imagem possuem 25 m² (5 × 5 m), verificamos que um pequi poderia ocupar de 1 (para pequizeiros localizados próximos de bordas irregulares da área) a 9 pixels (para pequizeiros localizados no centro de um pixel e os pixels vizinhos não tangem a borda). Assim, os IV's de cada pequi foram obtidos a partir da soma dos seus pixels. Os valores dos índices foram extraídos utilizando as ferramentas *3D Analyst Tools* e o *Extract value* do ArcGis 9.3.

Para compor o grupo de variáveis que poderiam influenciar na produção de frutos de pequi consideramos o índice de competição selecionado, os índices de vegetação, a área da copa e as variáveis obtidas pela krigagem com correlação espacial variando de moderada a forte.

A condição para proceder ao estudo das relações da produção de frutos foi verificada a partir da análise espacial da densidade de pontos Kernel (CARRÃO et al., 2016), que calcula grandezas por unidade de área, com base nas características de cada ponto vizinho à determinada célula, criando superfícies contínuas de densidades semelhantes. Na análise, consideramos a grandeza dos pontos como sendo a produção de frutos e nossa hipótese foi de que os pontos de maior e menor grandeza

apresentavam correlação espacial. A dependência espacial foi avaliada pelo Índice de Moran (ANSELIN, 1995). Portanto, procedemos a modelagem da produção quando verificada a existência de dependência espacial.

Para avaliar a relação entre produção de frutos de pequi e variáveis que poderiam afetar essa produção (variáveis explicativas), utilizamos a análise de regressão múltipla a considerando o seguinte modelo teórico:

$$Pf = f(ac, Ic, a_n, ori, decl, curv, IV)$$

em que: Pf = produção total de frutos; ac = área da copa; Ic = índice de competição selecionado; a_n = atributos do solo (os selecionados); ori = orientação em relação ao sol (se selecionada); $decl$ = declividade (se selecionada); $curv$ = curvatura (se selecionada); IV = índice de vegetação (os selecionados).

Para o ajuste do modelo, selecionamos aleatoriamente 80% das árvores de pequi amostradas. As árvores restantes (20%) foram utilizadas na validação do modelo. A significância das variáveis explicativas do modelo foi testada considerando o teste F-parcial, ao nível de 5% de significância, dado por (NETER et al., 1996):

$$F(X_1|X_2, \dots, X_n) = \frac{SQ_{reg}(X_1, X_2, X_3 \dots, X_n) - SQ_{reg'}(X_2, X_3 \dots, X_n)}{QM_{res}(X_1, X_2, X_3 \dots, X_n)}$$

em que: $F(X_1|X_2, X_3 \dots, X_n)$ = valor do teste F-parcial para a variável X_1 na presença das demais variáveis; SQ_{reg} = soma de quadrados da regressão do modelo completo; $SQ_{reg'}$ = soma de quadrados da regressão do modelo reduzido; QM_{res} = quadrado médio do resíduo do modelo completo.

Os valores de F foram obtidos pelo procedimento de eliminação de variáveis *Backward* (PIERNA et al., 2009). Nesse procedimento são avaliados n modelos. O primeiro contém todas as variáveis explicativas e os demais excluem a variável que menor contribui para a precisão do ajuste do modelo, com base na comparação do teste F-parcial com e sem a variável avaliada. Ao longo do procedimento averiguamos também a ocorrência de multicolinearidade utilizando análise dos estimadores de precisão e aplicando o Fator de Inflação de Variação (FIV) (MATOS, 2000) quando necessário.

A validação da qualidade do ajuste considerou o gráfico de resíduos, o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão residual (S_{xy}) (MURPHY; STERNITZKE, 1979).

Para avaliar o efeito do quadrante da copa (nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste) na produção de frutos, utilizamos o teste de *Student-Newman-Keuls (SNK)* (SAMPAIO, 2002), indicado para ensaios com mais de dois tratamentos (BANZATTO; KRONKA, 2006). Para aplicação do teste SNK, definimos os quadrantes como sendo os tratamentos e a produção de frutos por quadrante por árvore, como repetição. A análise considerou todas as classes de produção apresentadas na Tabela 4.1, com exceção da classe 1 (nula). O teste *SNK* utiliza a amplitude estudentizada para comparar médias ordenadas a partir da diferença mínima significativa, dada por:

$$d_{ms} = q_{\alpha, m, c} \sqrt{\frac{QMR}{r}}$$

em que: d_{ms} = diferença mínima significativa, q = amplitude estudentizada, α = significância, m = número de tratamentos (quadrantes), c = graus de liberdade do resíduo, QMR = quadrado médio do resíduo, r = número de observações por árvore por tratamento.

Avaliamos também pelo teste *SNK*, se a produção de frutos de um mesmo quadrante variava entre classes de produção. Para este caso, a diferença mínima significativa foi obtida a partir da seguinte relação (VIEIRA, 1997):

$$d_{ms} = q_{\alpha, m, c} \sqrt{QMR \left(\frac{1}{r_A} + \frac{1}{r_B} \right)}$$

em que: r_A é o número de repetições do tratamento A e r_B o número de repetições do tratamento B.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 225 pequizeiros selecionados tiveram 100% dos seus frutos contabilizados no período de máxima frutificação nos dois anos monitorados. O peso médio dos frutos e do putâmen foi de 124 g e 32 g, respectivamente. Em geral são encontrados 2 putâmens por fruto, mas, foram observados frutos com até 5 putâmens (APENDICE 4.1). A produção total da amostra foi de 2.471 frutos no ano 1 e 1.656 no ano 2, mas, grande

parte dos pequizeiros (31% no ano 1 e 46% no ano 2) teve produção zero. Zardo (2008) observou diferenças significativas entre a produção de frutos em dois anos consecutivos. No primeiro ano, 74,6% dos pequizeiros produziram frutos e no segundo ano, apenas 48,2%.

Variações na produção anual e produção nula por árvore são comuns nesta espécie. Produção maior foi observada em áreas com temperaturas anuais médias também maiores (SANTANA; NAVES, 2003, LEITE et al., 2006). A relação produção de frutos de pequi e temperatura, avaliada como positiva e significativa por Leite et al. (2006), nos induz a refutar, em tese, a casualidade do observado.

Segundo Yasaka et al. (2003), as variações temporais na produção de frutos em florestas tropicais envolvem diferentes fatores como a eficiência da polinização, saciedade dos predadores e predisposição ambiental. No que se refere a saciedade do predador, a produção anual de frutos não deve permitir grande crescimento populacional de predadores, e o vantajoso é a planta armazenar carboidratos em uma forma inacessível aos mesmos, com maiores produções em intervalos maiores (SCHAIK et al., 1993). Esse é um fenômeno que ocorre em espécies com frutos grandes e sem proteção química contra predadores (SHIBATA et al., 2002), como é o caso do pequi. Contudo, estudos são necessários para afirmar que essa seja também uma estratégia do pequi.

No presente estudo, observamos que no período de floração do pequi, entre agosto e outubro, conforme monitoramento fenológico de 4 anos realizado na área de estudo (MAGALHÃES, 2013), a precipitação média foi maior no ano de menor produção, sendo a média entre os meses de agosto, setembro e outubro do ano 1 igual a 8,58 mm e no ano 2 igual a 26,15 mm (INMET, 2017). Este fato pode estar relacionado à eficiência dos polinizadores e consequente queda na produção, já que o processo de polinização do pequi se dá primariamente por quiropterofilia, isto é, polinização por morcegos (PRANCE; SILVA, 1973; DICKISON, 1990; GRIBEL; HAY, 1993; ALMEIDA, 1998; MACEDO, 2005). Os morcegos têm atividade reduzida nos períodos chuvosos (REIS et al., 2007), pois, como precisam introduzir suas cabeças inteiras na camada de estilos e estames para alcançar o néctar (GRIBEL; HAY, 1993), isto pode ser desestimulado se as flores estiverem extremamente molhadas.

Como o pequi possui baixa taxa de autofecundação (GRIBEL, 1986; MELO et al., 2004), é necessário verificar quais fatores interferem no sucesso da sua polinização para aprimorar técnicas silviculturais que visem reduzir a variação interanual de sua produção.

Além da variação anual da produção de frutos de pequi, observamos também a variação na produção de frutos entre árvores. Em ambos os anos monitorados, uma parte representativa das árvores não produziu frutos, fato que já foi observado em outros estudos (VILELA, 1998; SANTANA; NAVES, 2003; FERREIRA et al., 2005; OLIVEIRA; SCARIOT, 2006; KERR et al., 2007). Santana; Naves (2003), por exemplo, quantificaram, por amostragem, a produção de frutos de pequi na região central do Estado de Goiás, e estimaram produções variando entre 0 a 351 frutos por árvore, sendo que a maioria das árvores (56,5%) teve produção nula.

A produção de frutos de pequi também pode estar relacionada com o status competitivo da árvore. Dos cinco índices de competição dependentes da distância testados, verificamos que somente Sddist (soma dos diâmetros ponderada pela distância dos competidores) e Gdist (área basal ponderada pela distância dos competidores) apresentaram boa relação com a produção (Figura 4.3).

Os índices Gdistg (área basal ponderada pela distância dos competidores mais grossos que a árvore objeto), Sddistg (soma dos diâmetros ponderada pela distância dos competidores mais grossos que a árvore objeto) e IH (índice de Hegyi), não apresentaram boa relação com as classes de produção, para nenhum tamanho de copa avaliado (Figura 4.3). Tais índices consideram como competidores somente as árvores com diâmetro maior que o da árvore objeto, o que nos leva a sugerir que a densidade é mais relevante para os efeitos da competição na produção de frutos de pequi do que a relação entre área basal do competidor e da árvore objeto.

Isto se deve ao critério usado para seleção dos competidores, em que indivíduos com copas maiores terão maior raio de inclusão e, conseqüentemente, maior densidade de competidores. Portanto, apenas para os índices Sddist e Gdist foi possível ajustar uma equação para representar a relação entre produção e índice de competição (Figura 4.3).

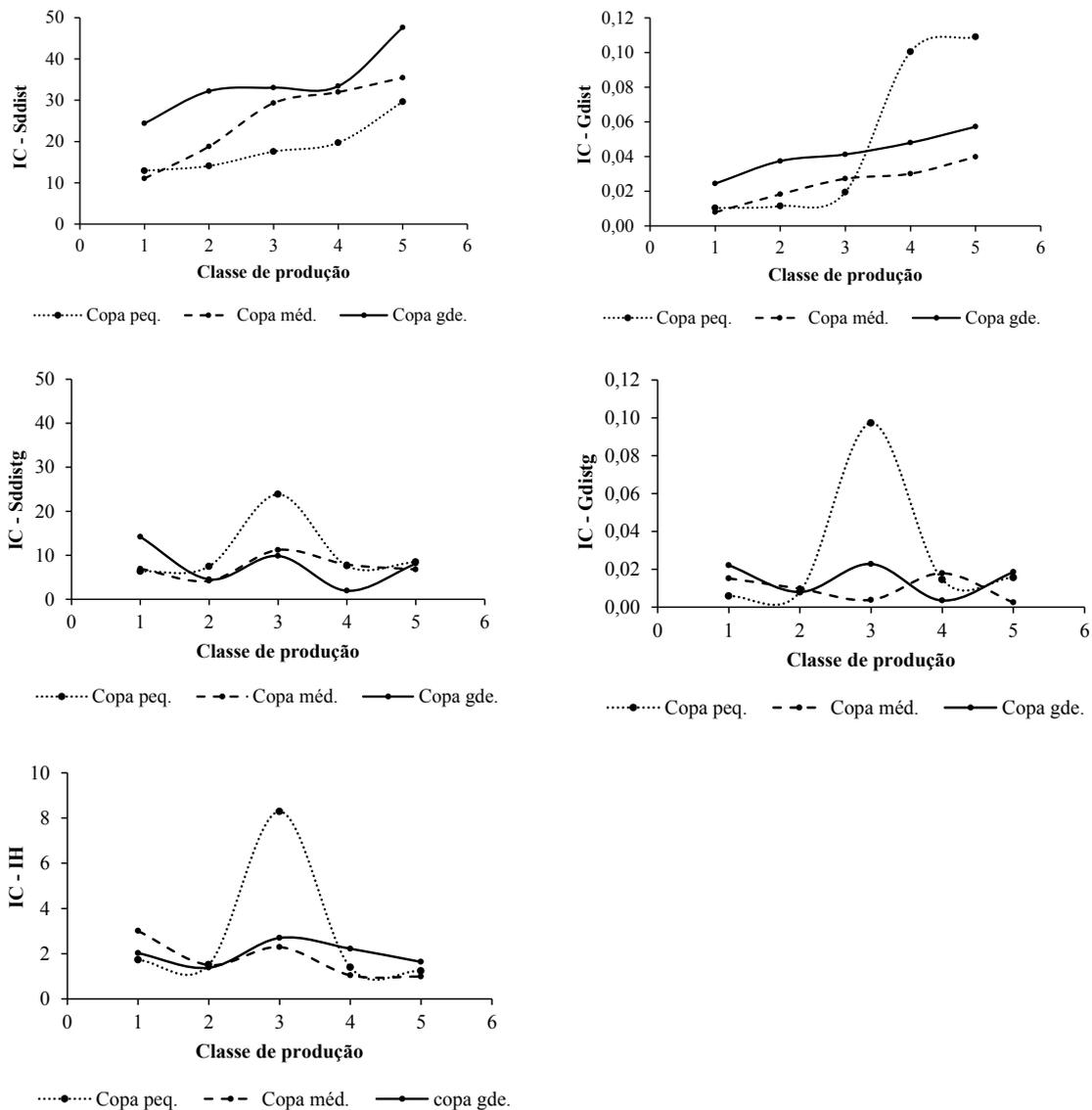


Figura 4.3. Comportamento médio dos índices de competição (IC) em função da classe de produção de frutos em pequizeiros amostrados no Parque Estadual do Rio Preto (PERP), no Estado de Minas Gerais, considerando três tamanhos de copa. Em que: y = índice de competição médio; x = classe de produção; Copa peq = copa pequena; Copa med = copa média; Copa gde = copa grande; R^2 = coeficiente de determinação da equação ajustada

O que pode ter ocorrido em função de uma maior competição entre raízes, que a competição por luz. Um resultado aceitável, por se tratar de fisionomia de cerrado.

Para os três tamanhos de copa, Sddist e Gdist apresentaram correlação alta e positiva com a produção de frutos. Pequizeiros que apresentam maior competição produzem mais frutos. Esta relação é inversa quando utilizamos índices de competição

para avaliar a produção de madeira. Pesquisas relacionando produção de madeira e índices de competição já estão mais avançadas, e a maioria tem comprovado que quanto maior a competição menor a produção de madeira (MARTINS, 2011). Com base nos resultados encontrados, buscamos entender, pelo menos em parte, qual a estratégia utilizada pelo pequi para explicar a relação entre produção de frutos e alguns índices de competição.

Quando adotamos índices de competição dependentes da distância para descrever a produção do pequi, concordamos com o proposto por Vanclay (1994), que diz que a competição pode ser estimada se for conhecida a localização e o tamanho das árvores vizinhas. Segundo Weber et al. (2008), a competição se inicia quando os recursos necessários para seu crescimento decrescem abaixo de sua demanda. Nessas situações algumas espécies utilizam como estratégia de perpetuação, o investimento em reservas que garantam o sucesso da reprodução (CORNELISSEN et al., 2003) e, por consequência, a produção de frutos, caso a polinização também seja eficiente. Leite et al. (2012) observaram que a competição entre árvores foi a maior causa da mortalidade de pequizeiros e isto reforça a ideia do investimento em descendentes pelos indivíduos sob competição.

Portanto, as estratégias clássicas de sobrevivência r e k (PIANKA, 1970) não se aplicam para o pequi em ambientes naturais. Contudo, em situações de extremo “vácuo ecológico”, como no caso de pequizeiros isolados em áreas de pastagem, a estratégia r (maior investimento em produção na quase ausência de competição) se aplica (LEITE et al., 2012). Desta forma, como em plantios comerciais, a condição ambiental é intermediária e como o pequi produz maior quantidade de frutos no terço basal (LEITE et al., 2012), a adoção de espaçamento reduzido para estimular o ganho em produção de frutos de pequi, seria uma hipótese coerente para futuros testes em campo. Uma possibilidade seria utilizar espaçamentos ligeiramente maiores que a área média ocupada por árvores matrizes, conforme sugerido por Ferreira et al. (2015).

Para escolher o melhor índice de competição relacionado com a produção de frutos de pequi, comparamos os índices S_{dist} e G_{dist} e verificamos que o primeiro apresenta maior correlação com a produção de frutos (0,28; $p < 0,05$). Além disso, S_{dist} tem a vantagem de depender apenas do diâmetro da árvore para a sua obtenção. Em geral, no cerrado *sensu stricto*, o cálculo da área seccional de algumas árvores acumula erros decorrente de tortuosidades, comumente observadas nos fustes (OLIVEIRA-

FILHO; RATTER, 2002). Sendo assim, selecionamos o índice Sddist para compor o grupo das variáveis consideradas limitantes na produção de frutos de pequi.

A análise espacial da densidade de pontos Kernel (Figura 4.4) conseguiu captar a primeira agregação e densidade de pontos a 93,5 m. A partir dessa distância a verificação foi feita de 18 em 18 m até analisar 10 bandas de distância, sendo a última correspondente a metade da maior longitude da área estudo, conforme recomendado por Carrão et al. (2016).

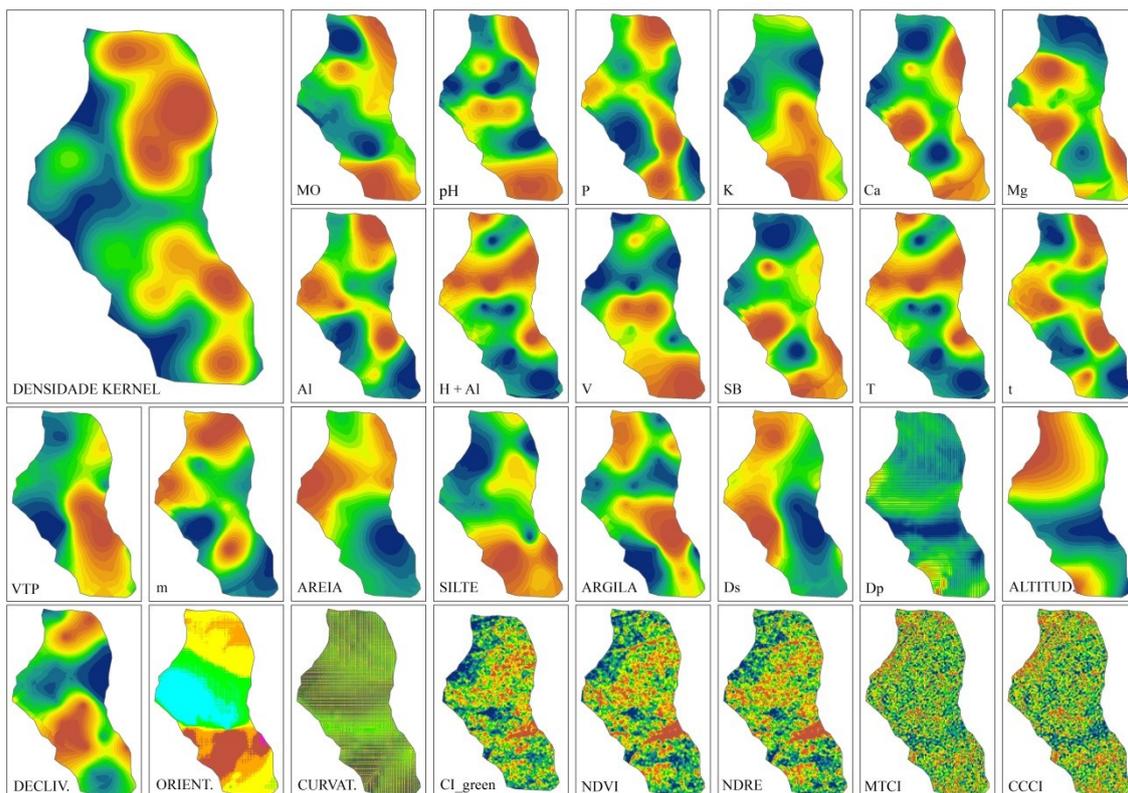


Figura 4.4. Mapa de interpolação utilizando a densidade de Kernel (primeira imagem da esquerda) e utilizando a krigagem ordinária para as demais variáveis. Cores mais quentes indicam maior valor do atributo e cores mais frias, menor valor (escala de vermelho ao azul escuro). O mapa de orientação possui cores predefinidas: vermelho - face orientada para o norte; laranja – nordeste; amarelo – leste; verde – sudeste; azul turquesa – sul; rosa – noroeste.

O índice de Moran foi então aplicado apresentando valores significativos para todas as bandas (densidades) (p -valor $>0,05$). O resultado indica autocorrelação espacial para produção de frutos de pequi, ou seja, as árvores que produzem mais ou menos estão agrupadas em algum lugar específico do ambiente. Portanto, este resultado respalda o estudo da modelagem nessa área.

Nas interpolações dos atributos de solos, declividade, curvatura e orientação do sol, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados. Os semivariogramas desse modelo são assim descritos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{y}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a \\ \hat{y}(h) = C_0 + C_1, \text{ se } h \geq a \end{array} \right.$$

em que: C_0 = efeito pepita; $C_0 + C_1$ = patamar; h = distância de separação entre duas observações e a = alcance de dependência espacial (ver Figura 4.2).

O modelo esférico descreve propriedades com alta continuidade espacial (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989), e, segundo Faria Junior (2010), este é o modelo que melhor se ajusta a variáveis minerais e biológicas. Densidade de poros e curvatura foram as únicas variáveis que não apresentaram dependência espacial (Tabela 4.2) e, portanto, não foram incluídas na modelagem da produção.

Os índices de vegetação (IV's) retrataram com precisão a presença de um trecho com alta incidência de bambus. Observa-se ainda que espacialmente, nenhuma variável sozinha explica os aglomerados de produção de frutos, sendo a modelagem uma ferramenta necessária para o estudo dessas relações.

Procedemos então ao ajuste do modelo genérico $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_p \cdot X_n + \varepsilon$, utilizando a análise do teste F parcial para o procedimento de eliminação de variáveis *Backward*, em que: y = produção de frutos de pequi por árvore, β_p = estimativas dos parâmetros do modelo, X_n = variáveis explicativas, ε = erro aleatório. As variáveis explicativas pré-selecionadas foram: Área da copa, VTP, Ds, Argila, Silte, Areia, MO, V%, m%, T, t, SB, H+Al, Al, Mg, Ca, K, P, Ph, Declividade, Orientação, NDVI, NDRE, CI_green, CCCI, MCTI e Sddist.

Após ajuste da regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) (GUJARATI, 2006), com todas as variáveis pré-selecionadas, o valor de F desse modelo (modelo completo) foi comparado ao valor de F do modelo sem a variável que obteve a menor significância pelo teste t (*p-valor* <0,05) (Tabela 4.3). Quando o valor de F sem essa variável era maior que o valor de F do modelo completo, a mesma era retirada do modelo. Caso contrário, a variável era mantida. Repetimos o processo, sempre, considerando como modelo completo aquele que continha a variável a ser avaliada. O procedimento foi encerrado quando a retirada de variáveis passou a não melhorar a estimativa de F (Tabela 4.3).

Tabela 4.2. Equações estimadas dos semivariogramas da interpolação pela krigagem ordinária e dependência espacial dos atributos

Atributo	Função	Erro padrão	Dependência Espacial DE (%)	Grau de DE*
MO	$y=0,1393 * x + 1,1921$	0,468	58,9	Moderada
pH	$y=0,0216 * x + 5,1849$	0,221	59,2	Moderada
P	$y=0,2940 * x + 1,8701$	0,422	18,1	Forte
K	$y=0,2738 * x + 21,4209$	6,773	19,3	Forte
Ca	$y=0,1689 * x + 0,6395$	0,101	56,7	Moderada
Mg	$y=0,1988 * x + 0,2281$	0,059	61,2	Moderada
Al	$y=0,2249 * x + 2,6059$	0,258	17,5	Forte
H+Al	$y=0,1539 * x + 14,7629$	6,339	20,1	Forte
V%	$y=0,0059 * x + 8,8386$	3,524	49,2	Moderada
SB	$y=0,1874 * x + 1,0899$	0,138	51,3	Moderada
T	$y=0,1632 * x + 15,9025$	0,251	46,7	Moderada
T	$y=0,3886 * x + 4,2265$	6,268	43,8	Moderada
VTP	$y=0,1559 * x + 41,5839$	2,056	16,9	Forte
m%	$y=0,0324 * x + 72,0665$	4,872	15,2	Forte
Areia	$y=0,5863 * x + 35,1139$	2,145	22,3	Forte
Silte	$y=0,0156 * x + 5,4453$	2,824	19,1	Forte
Argila	$y=0,2934 * x + 11,7357$	3,335	19,3	Forte
Ds	$y=0,1839 * x + 1,0510$	0,062	59,4	Moderada
Dp	$y=0,1331 * x + 2,8789$	0,017	83,2	Fraca
Declividade	$y=0,9605 * x + 5,5896$	0,898	54,5	Moderada
Orientação	$y=0,5893 * x + 74,3478$	15,985	55,7	Moderada
Curvatura	$y=0,2378 * x + 4,4561$	0,1237	82,6	Fraca

* Grau de dependência espacial conforme Cambardella et al. (1994)

Tabela 4.3. Coeficientes dos modelos gerados pelo procedimento de eliminação de variáveis *Backward*. Valores destacados de vermelho possuem significância pelo teste t (5%). Em que R² é o coeficiente de determinação; S_{xy} é o erro padrão da estimativa e F o valor do teste F-parcial

Variável (Xi)	MODELOS																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
β0	73,4383	71,5038	70,3447	70,2335	70,8207	67,8027	61,0379	61,3641	57,5466	57,5127	49,5789	49,8192	43,5442	-5,5711	-8,0800	-3,8493	-5,3007	-33,1013	-39,1225	-59,8652	-19,6665	-28,9106	-27,1970	-25,7133
Área da copa	1,1601	1,1594	1,1584	1,1584	1,1581	1,1585	1,1590	1,1602	1,1606	1,1653	1,1627	1,1641	1,1674	1,1641	1,1616	1,1528	1,1577	1,1384	1,1309	1,1407	1,1299	1,1229	1,1387	1,167
VTP	-0,7837	-0,7854	-0,7896	-0,7807	-0,7897	-0,7807	-0,7531	-0,7614	-0,7517	-0,7345	-0,6956	-0,6084	-0,5357	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Ds	-31,6338	-31,6799	-31,8163	-31,6682	-33,0043	-32,1846	-31,8613	-32,6861	-33,1838	-34,8093	-33,4381	-31,8796	-31,8134	-27,2684	-17,9051	-20,2209	-25,9817	-22,2941	-25,4166	----	----	----	----	----
Argila	0,6413	0,6612	0,6584	0,6538	0,6217	0,6188	0,6099	0,6162	0,6268	0,6004	0,5950	0,6205	0,6211	0,6181	0,6014	0,5789	0,6547	0,6555	0,6322	0,6855	0,4790	0,4643	----	----
Silte	-0,0317	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Areia	0,4358	0,4564	0,4576	0,4558	0,4633	0,4643	0,4711	0,4662	0,4470	0,4578	0,4616	0,4587	0,4928	0,5694	0,5359	0,6291	0,7434	0,6601	0,6601	0,4427	----	----	----	----
MO	0,6106	0,5687	0,5650	0,6294	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
V%	0,3054	0,3028	0,3170	0,3169	0,3000	0,3044	0,3042	0,2973	0,2203	0,2284	0,2301	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
m%	-0,5326	-0,5344	-0,5216	-0,5219	-0,5372	-0,5402	-0,5404	-0,5336	-0,5299	-0,5169	-0,5251	-0,5745	-0,5132	-0,5137	-0,6228	-0,5958	-0,5097	-0,1536	----	----	----	----	----	----
T	-0,0329	-0,0325	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
t	-1,6036	-1,6068	-1,5723	-1,5831	-1,5670	-1,5989	-1,6803	-1,7518	-1,8081	-1,8055	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
SB	15,9729	16,0061	15,9216	15,8463	15,8269	16,2988	16,4234	16,2311	14,8315	15,0256	14,4323	13,1680	13,6701	13,3228	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
H+Al	0,3301	0,3292	0,3125	0,3083	0,3050	0,3047	0,3057	0,2984	0,3025	0,3075	0,3077	0,1791	0,1859	0,1833	0,1932	0,1612	----	----	----	----	----	----	----	----
Al	16,7105	16,7267	16,6815	16,7079	16,7218	16,6109	16,6475	16,8028	16,2531	16,4046	16,2967	15,8338	15,0160	14,1723	14,1975	13,7214	14,0949	12,0537	11,2413	12,3197	13,5693	14,4674	14,9215	14,811
Mg	-68,5819	-68,7796	-68,3648	-68,4604	-68,3697	-68,8546	-69,2749	-68,9876	-62,8501	-62,1626	-61,3952	-57,1883	-58,5015	-59,1330	-48,4183	-45,9838	-41,7118	-34,6950	-30,0274	-23,0440	-22,8526	----	----	----
Ca	-26,0366	-25,9395	-26,0446	-25,9411	-25,5516	-26,0342	-26,2408	-25,8728	-28,1997	-29,2865	-29,2821	-27,5563	-25,6723	-25,6885	-15,6363	-17,3576	-14,3644	----	----	----	----	----	----	----
k	0,3183	0,3167	0,3220	0,3188	0,3224	0,3209	0,3235	0,3256	0,3325	0,3336	0,3327	0,3264	0,3410	0,3311	0,3396	0,3525	0,3274	0,3584	0,3644	0,3814	0,2803	0,2510	0,2857	0,2557
P	-13,9099	-13,8651	-13,9293	-13,9529	-13,6824	-13,6317	-13,8042	-13,9596	-13,9865	-14,2506	-14,1506	-13,4658	-13,3340	-13,2965	-12,6537	-12,3323	-12,8544	-13,0081	-13,6896	-12,8824	-12,8915	-11,4200	-11,1868	-10,9897
Ph	-1,9230	-1,9252	-1,8385	-1,9377	-1,4741	-1,4474	-1,5174	-1,5338	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Declividade	0,1941	0,1949	0,1939	0,1942	0,1968	0,2046	0,2047	0,2033	0,1990	0,2195	0,2249	0,2451	0,2230	0,2315	0,2368	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Orientação	0,0034	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0032	0,0033	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
NDVI	-2,5265	-2,5075	-2,6301	-3,2390	-3,4396	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
NDRE	-5,9690	-5,6270	-5,2070	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Cl_Green	5,4749	5,4056	5,2770	4,6269	4,6646	4,3331	5,1154	5,1571	5,2428	5,2235	4,7481	4,4735	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
CCCI	-6,9188	-6,8246	-7,0940	-7,2400	-7,2545	-6,0416	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
MCTI	-0,3912	-0,3872	-0,3877	-0,3857	-0,3608	-0,3704	-0,3255	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Sddist	0,0360	0,0360	0,0361	0,0359	0,0359	0,0360	0,0369	0,0371	0,0374	0,0371	0,0370	0,0349	0,0352	0,0348	0,0351	0,0350	0,0357	0,0364	0,0364	0,0414	0,0428	0,0403	0,0370	----
R ²	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86
S _{xy}	72,71	67,74	66,79	66,57	66,32	65,14	63,05	62,88	62,32	62,19	61,53	61,56	61,28	33,18	32,96	32,85	32,30	26,95	25,82	24,60	6,88	5,92	5,89	6,07
F	45,70	47,76	49,99	52,41	55,02	57,86	60,92	64,29	67,97	72,02	76,30	80,92	86,20	92,31	99,19	106,92	115,77	126,07	140,32	153,06	172,62	194,21	223,78	268,62

Durante o processo de ajuste do modelo, observamos uma situação de possível colinearidade entre pares de variáveis, que foi avaliada, visando decidir por um novo procedimento *Backward* sem tais variáveis. No modelo contendo todas as variáveis (modelo 1), a argila e o silte não apresentaram efeito significativo na produção de frutos de pequi, mas, com a eliminação do silte, a argila passou a ser sempre significativa (Tabela 4.3). Avaliamos então a dinâmica do silte sem a argila e verificamos que a não inclusão da argila fez com que o silte permanecesse no processo exatamente até a etapa em que a argila permaneceu, porém, com redução na precisão das estimativas.

Este fato observado foi importante, pois, comprovou a eficácia do procedimento *Backward* em detectar a provável multicolinearidade entre pares de variáveis e eliminar aquela que menor contribui com a precisão do modelo.

A Tabela 4.3 mostra que a partir do 14º modelo, a proporção de variáveis significativas passa a ser maior que as não significativas (Figura 4.5A), sugerindo, a priori, uma correção da multicolinearidade pelo procedimento de eliminação de variáveis. Os valores do Fator de Inflação de Variação (FIV), calculados para esses modelos (Tabela 4.4), reforçam essa hipótese. Segundo Kleinbaum et al. (1988), se o FIV de uma variável for maior que 10, essa variável é altamente colinear. Apenas a soma de base (SB) no modelo 14 e a saturação por alumínio (m%) nos modelos 14 a 17 apresentaram valores superiores a este.

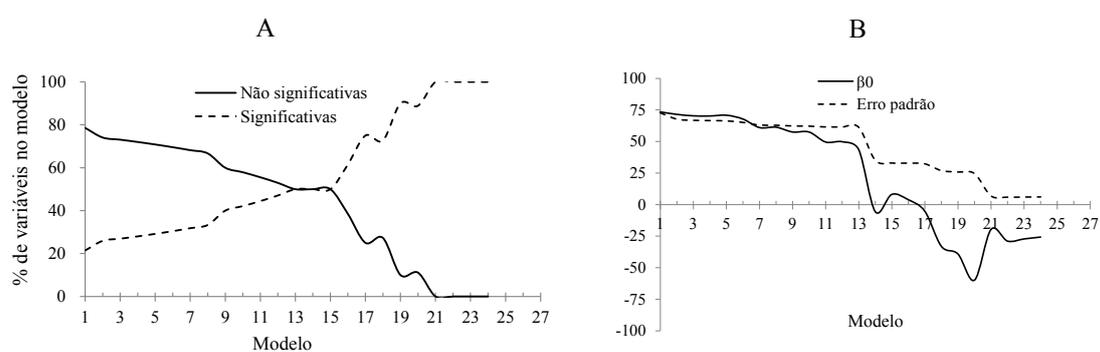


Figura 4.5. (A) Proporção de variáveis significativas e não significativas e; (B) Comportamento de β_0 (intercepto) e do erro padrão em função dos modelos avaliados.

Tabela 4.4. Valores do Fator de Inflação de Variação (FIV) para as variáveis independentes dos modelos avaliados

Variável x	Modelos										
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SB	14,7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
m%	14,49	13,12	13,06	13,06	5,19	----	----	----	----	----	----
Ca	8,13	4,26	4,18	4,18	----	----	----	----	----	----	----
Mg	5,16	3,19	3,12	3,12	2,5	1,79	1,61	1,61	----	----	----
P	4,96	4,62	4,56	4,56	4,42	3,71	3,59	3,59	3,28	3,28	3,27
Al	4,76	4,76	4,71	4,71	4,09	3,72	3,65	3,47	3,43	3,42	3,42
Areia	4,64	4,59	4,31	4,31	3,81	3,8	3,37	----	----	----	----
Ds	2,7	2,7	2,64	2,64	2,25	1,99	----	----	----	----	----
K	2,63	2,61	2,58	2,58	2,36	2,34	2,33	1,29	1,25	1,21	1,17
H+Al	2,04	2,02	1,93	1,93	----	----	----	----	----	----	----
Argila	1,86	1,85	1,84	1,84	1,7	1,69	1,67	1,11	1,11	----	----
Declividade	1,55	1,55	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Área da copa	1,46	1,45	1,41	1,41	1,27	1,19	1,18	1,14	1,14	1,11	1,02
Sddist	1,16	1,16	1,16	----	1,16	1,16	1,13	1,12	1,12	1,11	----

Os valores da constante do modelo (β_0) passam a ser negativos a partir do 14º modelo, onde ocorre também redução acentuada no erro padrão da estimativa (Figura 4.5B). Como β_0 deve representar o valor médio da variável dependente quando as variáveis independentes são iguais a zero (GUJARATI, 2006), é esperado que seu valor retorne valores negativos, visto que uma variável estruturalmente relacionada com a produção de frutos, a copa, está presente nos modelos. A redução do erro padrão também é um indicativo de minimização da multicolinearidade (ACHEN, 1982).

As variáveis que permaneceram nos três últimos modelos, ou seja, área da copa, argila, alumínio, potássio, fósforo e índice competição, foram significativas em todas as etapas do procedimento *Backward* (Tabela 4.3), e isto demonstra o peso dessas na descrição da produção. Contudo destacamos aqui que as análises de solos se referem às coletas realizadas à profundidade de 20 cm. A presença do fósforo e da argila nos modelos é coerente, pois, a argila é fundamental para retenção de cátions e adsorção do fósforo, sendo o fósforo abundante tanto na polpa quanto na semente do pequi (ARAUJO, 1995; ALMEIDA, 1998; SILVA et al., 2009; SOUZA et al., 2011).

Leite et al. (2012) verificaram que solos com textura argilosa, distróficos, ricos em alumínio e com baixo pH favorecem a produção desta espécie. Leite et al. (2006) e Campos et al. (2006) também detectaram forte relação entre o alumínio e a produção de pequi. Na área de estudo, o pH também apresentou relação negativa com a produção,

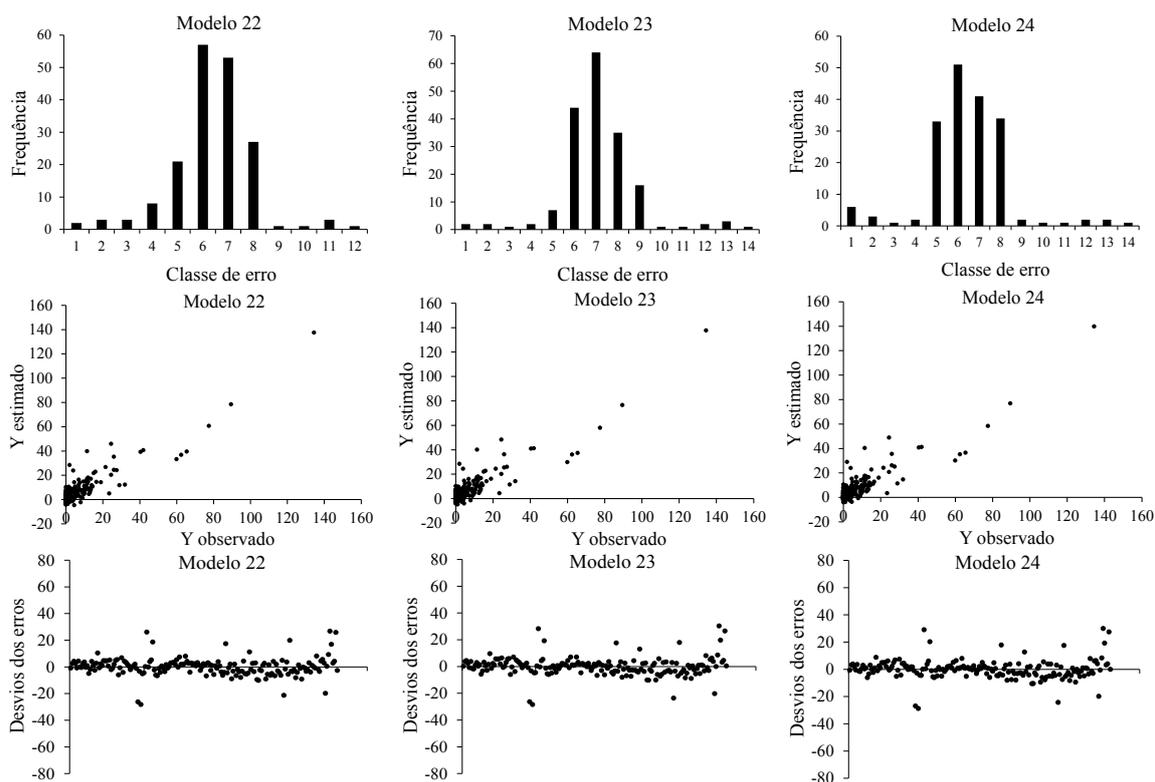
porém, sua influência não foi significativa. Mas, a permanência do alumínio no modelo final traz sugestão importante para a silvicultura da espécie. Pesquisas têm mostrado forte relação entre a presença de alumínio no solo e a composição de carboidratos (MEDAPPA, 1970; GREIDANUS et al., 1972; FOY, 1974; HARIDASAN, 1988; AMARAL, 2000), os quais são essenciais para frutificação (LEBON et al., 2008), pois, fornecem energia para as estruturas reprodutivas (BENNETT et al., 2005). De acordo com Zapata et al. (2004), as reservas de carboidratos são importantes ainda, porque o dossel não é capaz de produzir carboidrato suficiente através da fotossíntese até o momento do florescimento.

A presença da área da copa e do índice de competição no penúltimo modelo também deve ser considerada. A copa possui relação estrutural com a produção de pequi. Quanto maior a copa, maior a produção de frutos (BORGES et al., 2012; FERREIRA et al., 2015), mas, a competição no modelo mostra que quanto maior a competição, maior a produção, ou seja, a copa deve ser grande o suficiente para permitir o incremento da produção, porém, um mínimo de competição entre copas também é benéfico para a otimização da mesma. Estas informações podem subsidiar na definição dos espaçamentos e arranjos das linhas de plantio, tendo influência direta na arquitetura da copa. Segundo Iossi et al. (2007), a arquitetura da planta e sua interação com práticas agronômicas, determinam a estrutura do dossel e está envolvida ainda com a assimilação de carbono, fertilidade das gemas e qualidade da fruta.

A relação positiva do potássio no solo com a produção de pequi também foi observada por Santana (2002) e Oliveira et al. (2008). Esse mineral está envolvido na produção e transporte de açúcares, ativação enzimática e síntese de proteínas (SHABALA; POTTOSIN, 2010), e está diretamente relacionado ao teor de açúcar da maioria das frutas (KAYA et al., 2001). Como o potássio é um dos principais componentes nos frutos de pequi (SOUZA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2006) e como é exigido para síntese de pigmentos, principalmente o licopeno, justificamos a permanência desse elemento nos modelos finais.

Diante do exposto, optamos por validar os três últimos modelos. O modelo 23, que contém o índice de competição, excluído do modelo 24, e não contém a variável argila, presente no modelo 22. Os gráficos de dispersão (Figura 4.6) não mostraram tendência da estimativa para nenhum dos modelos.

Ajuste



Validação

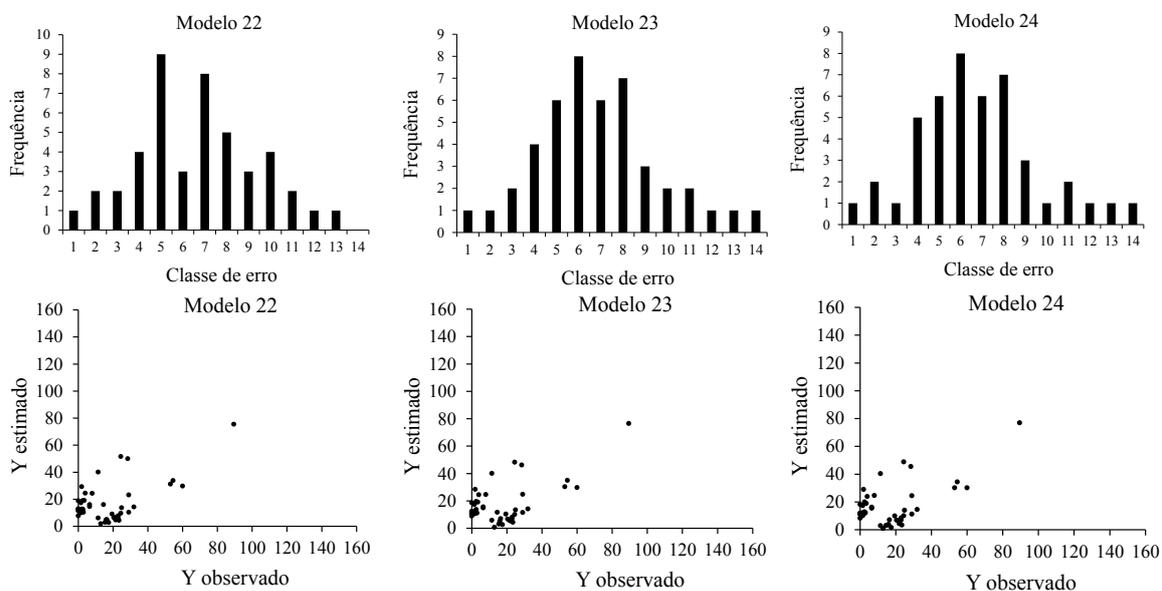


Figura 4.6. Gráficos de dispersão para os ajustes e validação dos modelos 22, 23 e 24.

A coerência do índice de competição com a área da copa e o aumento do erro padrão da estimativa após sua retirada no modelo 24 (Tabela 4.3), nos direciona para não aceitação desse modelo. A argila, como exposto, também tem uma relação biológica com a produção de frutos, porém, esta variável não é manejável. Sua

aplicação na silvicultura da espécie seria apenas na definição da área de plantio, por isso a escolha do modelo 23, que ficou assim definido:

$$Y = -27,1870 + 1,1387AC + 14,9215Al + 0,2857K - 11,1868P + 0,0370IC$$

$$(R^2 = 0,808, R^2 \text{ ajustado} = 0,802, F(4,175) = 223,78 \text{ p}<0,0000 \text{ e } Syx = 7,25).$$

em que AC = área da copa pela fórmula da elipse; Al = alumínio; K = potássio; P = fósforo e IC = o índice de competição S_{dist} .

A equação foi então aplicada aos dados de validação, sendo obtidas as seguintes estatísticas de precisão: $R^2 = 0,714$, R^2 ajustado = 0,701 e $Syx = 8,13$. O teste SNK mostrou que a densidade de frutos, em uma mesma classe de produção, não tem relação com o quadrante ao qual pertence (Tabela 4.5). A eliminação da variável ‘orientação’ na modelagem (Tabela 4.3) indica também que a não diferenciação entre quadrantes independe da direção da inclinação do terreno na coordenada da árvore. Já para um mesmo quadrante em diferentes classes, só não houve diferença entre as classes 3 e 4, o que era esperado: classes mais produtivas produzirem mais em cada quadrante.

Tabela 4.5. Teste SNK a 5% de significância para médias de produção de frutos de pequi por quadrante da copa (NE = nordeste; NO = noroeste; SE = sudeste e; SO = sudoeste) e por classe de produção (2 - baixa, 3 - média, 4 - acima da média e 5 – alta. As letras minúsculas na tabela (**a**, **b**, **c** e **d**) referem-se a comparação das médias entre quadrantes, dentro de uma mesma classe de produção. As letras maiúsculas (**A**, **B**, **C** e **D**) referem-se a comparação entre classes de um mesmo quadrante

Média	Classe 5	Classe 4	Classe 3	Classe 2
NO	22,22 – aA	9,72 – bB	3,87 – cB	0,76 – dC
NE	22,11 – aA	7,67 – bB	3,76 – cB	0,87 – dC
SO	14,89 – aA	6,44 – bB	3,24 – cB	0,56 – dC
SE	11,83 – aA	6,06 – bB	3,42 – cC	0,79 – dD

Essa investigação tem implicação direta na definição da direção das linhas de plantio, uma importante prescrição da silvicultura (DENMEAD et al., 1962), contudo, para o pequi não houve dependência da produção de frutos com o direcionamento de partes da copa em relação ao sol. Entretanto, a declividade máxima dos pixels (os mesmos usados na obtenção da variável orientação) foi de 16° e, sabendo que a taxa de produção do dossel depende da eficiência fotossintética e que esta é afetada pela mudança da densidade de fluxo luminoso (FOALE et al., 1984), grandes inclinações

poderiam interferir na densidade (TURCO; RIZZATTI, 2006). Por exemplo, uma inclinação elevada voltada para os quadrantes sudeste e sudoeste poderia diminuir sobremaneira a quantidade de luz interceptada no período de maior densidade de fluxo luminoso, o que por consequência reduziria o incremento da produção vegetal (RODRIGUES et al., 1999), podendo, conseqüentemente, afetar a produção de frutos.

Podemos afirmar então que a produção de frutos de pequi não é afetada por sua posição em relação ao sol, desde que a declividade do terreno não seja acentuada. Ressaltamos, porém, que nossa investigação não encerra esse assunto, pois avaliamos a produção e não a qualidade dos frutos. Alguns trabalhos demonstraram que sistemas que permitem melhor aproveitamento da luz produzem frutas com maiores teores de açúcar, menor pH, e menor acidez (ANDERSEN; BRYAN; BAKER, 1985; MORRIS; SIMS; CAWTHON, 1985; TAYLOR; LEARNON, 1991). Portanto, a relação da qualidade dos frutos de pequi com os fatores luminosos deve ser objeto de estudo para melhor inferir sobre a direção das linhas de plantio da espécie.

4.7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados deste estudo, podemos concluir que:

- a) A produção de frutos tem relação direta com a competição, quanto maior a competição, conforme tamanho do raio adotado, mais a espécie produz. Entretanto a copa também tem relação direta com a produção (quanto maior a copa, maior a produção de frutos).
- b) O grau de ocupação devido a densidade de competidores influencia mais na produção de frutos do que a ocupação em área basal dos indivíduos;
- c) As variáveis passíveis de manejo que melhor descrevem a produção de frutos de pequi são: área da copa, teores de alumínio, potássio e fósforo no solo, e o índice de competição que pondera os diâmetros dos competidores pela distância desses à árvore objeto.
- d) Dentro de uma mesma classe de produção (baixa, média ou alta), a quantidade de frutos não tem relação com o quadrante da copa.

4.8. RECOMENDAÇÕES

- a) Recomendamos que os atributos do solo sejam avaliados em maiores profundidades, principalmente em função do resultado encontrado para o

fósforo, o qual apresentou relação negativa com a produção de frutos no modelo selecionado.

- b) Devido a incipiência dos estudos das relações entre produção não madeireira e índices de competição, outros tamanhos de raio devem ser avaliados para definir a área de abrangência dos competidores.

4.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHEN, C. H. **Interpreting and Using Regression**. Beverly Hill, Calif.: sage Publications, 1982, p. 82-83.

ALMEIDA, S. P. Frutas nativas do cerrado: caracterização físico-química e fonte potencial de nutrientes. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 247-285.

ALMEIDA, S. P. 1998. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa, p. 87 – 166.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 464p.

ALVAREZ, V. H. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. - **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5º Aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

AMARAL, J. T.; CORDEIRO, A. T.; RENA, A. L. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a composição de metabólitos nitrogenados e de carboidratos em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 313-320, 2000.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. In: **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, 1995.

ARAÚJO, F. D. A review of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) - An economically valuable species of the central brazilian cerrados. **Economic Botany**, v. 49, n. 1, p. 40-48. 1995.

BORGES, L. M.; REZENDE, A. V.; NOGUEIRA, G. S. Avaliação da amostragem aleatória de ramos para quantificar a produção de frutos de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae). **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 113-124, 2012.

BRUZINGA, J. S.; MOTA, S. L. L.; OLIVEIRA, M. L. R.; PEREIRA, I. M. Influência da altura de medição do diâmetro na florística e estrutura da vegetação lenhosa em área de Cerrado. **MG. Biota**, v. 7, n. 4, p. 4-15, 2015.

BRUZINGA, S. B.; OLIVEIRA, M. L. R.; MACHADO, E. L. M.; LEITE, H. G.; PEREIRA, I. M.; NOGUEIRA, G. S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de pequi. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 249-256, 2013.

BURROUGH, P. A.; MCDONELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, New York, 1998.190 pp.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**., v. 58, p.1501-1511, 1994.

CARRÃO, H.; RUSSO, S.; SEPULCRE-CANTO, G.; BARBOSA, P. An empirical standardized soil moisture index for agricultural drought assessment from remotely sensed data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 48, p. 74–84, 2016.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DIAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D. E.; REICH, P. B.; TER STEEGE, H.; MORGAN, H. D.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; PAUSAS, J. G.; POORTER, H. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, p. 335-380, 2003.

DASH, J.; CURRAN, P. J. The MERIS terrestrial chlorophyll index. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 5403–5413, 2004.

DICKINSON, W. C. A study of the floral morphology and anatomy of the Caryocaraceae. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 117, n.2, p. 123-137, 1990.

EITEL, J. U. H.; KEEFE, R. F.; LONG, D. S.; DAVIS, A. S.; VIERLING, L. A. Active ground optical remote sensing for improved monitoring of seedling stress in nurseries. **Sensors**, v. 10, p. 2843-2850, 2010. doi:10.3390/s100402843.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 1997. 212p.

FARIA JUNIOR, A. **Aprimoramento do controle de qualidade do minério no planejamento de lavra de curto prazo: Estudo de caso**. Dissertação de mestrado: Universidade de São Paulo, 140p, 2010.

FERREIRA, G. A.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J.; VELOSO, V. R. S.; SOUZA, E. R. B. Produção de frutos de populações naturais de pequizeiro no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 121-129, 2015.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.601-641.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letter**, v. 30, n. 5, p. 11-48, 2003.

GREIDANUS, T.; PETERSON, L. A.; SCHRADER, L. E.; DANA, M. N. Essentiality of ammonium for cranberry nutrition. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 97, n. 2, p. 272-277, 1972.

GRIBEL, R.; HAY, J. D. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) in Central Brazil cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 199-211, 1993.

GUJARATI, D. **Econometria Básica**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil (4 ed), 2006. 812p.

HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, N. A. C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 4, p. 868-875, 1986.

HARIDASAN, M.; ARAUJO, G. M. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the Cerrado region of central Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 24, p. 15-26, 1988.

HAYAKAWA, E. H.; COUTO, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; PRADO, B. R.; PAULA, P. F. Análise temporal da planície de inundação do Alto Rio Paraná (região de Porto Rico – PR) através de dados de sensoriamento remoto. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 1, p. 115-126, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET, 2017. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em 24/01/17.

IOSSI, E.; SADER, R.; MORO, F. V.; BARBOSA, J. C. Maturação fisiológica de sementes de *Phoenix roebelenii* O'Brien. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p.147-154, 2007.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KAYA, C.; KIRNAK, H.; HIGGS, D. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1457-1471, 2001.

KERR, W. E.; SILVA, F. R.; TCHUCARRAMAE, B. Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). Informações preliminares sobre um pequi sem espinhos no caroço. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 169-171, 2007.

KENNEDY, P. A **Guide in Econometrics**. 3. Ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1992, p. 177.

KLEINBAUM, D.; KUPPER, L. I.; MULLER, K. E. **Applied Regression Analysis and other Multivariate Methods**. 2. Ed. Boston, Mass.: PWS-Kent, 1988, p. 210.

LEAL, F. A. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoestatística aplicadas em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para estimativa de volume**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

LEITE, G. M. D.; NASCIMENTO, A. F.; ALVES, S. M.; LOPES, P. S. N.; SALES, N. L. P.; ZANUNCIO, J. C. The mortality of *Caryocar brasiliense* in northern Minas Gerais State, Brazil. **Acta Scientiarum**, v. 34, n. 2, p. 131-137, 2012.

LEITE, G. L. D.; VELOSO, R. V. S.; ZANUNCIO, J. C.; FERNANDES, L. A.; ALMEIDA, C. I. M. Phenology of *Caryocar brasiliense* in the Brazilian cerrado region. **Forest Ecology and Management**, v. 236, p. 286-294, 2006.

LONG, D. S.; EITEL, J. U. H.; HUGGINS, D. R. Assessing nitrogen status of dryland wheat using the canopy chlorophyll content index. **Crop Management**. 2009. doi:10.1094/CM-2009-1211-01-RS.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Boletim técnico nº 2 - Interpretação de análise do solo, Conceitos e Aplicações**. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo/SP, 1992.

MAGALHÃES, M. R. **Padrões espaciais e temporais da fenologia de três espécies arbóreas na região do Alto Jequitinhonha**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 92 p. 2013.

MARTINS, F. B.; C. P. B. SOARES; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.9, p.1089-1098, 2011.

MATOS, O. C. **Econometria Básica: Teorias e Aplicações**. São Paulo: Atlas S.A (3 ed.), São Paulo: Atlas, 2000. 300p.

MEDAPPA, K. C.; DANA, M. N. Tolerance of cranberry plants to manganese, iron and aluminum. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.95, n.1, p.107-110, 1970.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G.; MINUSI, R. B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 417-425, 2006.

MELO JR., A. F.; CARVALHO, D.; PÓVOA, J. S. R.; BEARZOTI, E. Estrutura genética de populações naturais de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 56-65, 2004.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV (2.ed), 2003. 422p.

MOURA, N. F.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V. Caracterização física de frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) do Cerrado. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 905-912, 2013.

MOTA, S. L. L. **O Cerrado na Cadeia do Espinhaço**: Heterogeneidade de substratos e suas relações com a vegetação arbustivo-arbórea em áreas de cerrado stricto sensu. 1ed. Berlim, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2014, v. 1, 84p.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Chicago: Irwin (4 ed), 1996. 1408p.

NEVES, S. C.; ABREU, P. A. A.; FRAGA, L. M. S. Fisiografia. Pp. 47-58. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. (eds.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e Ambientes**. Belo Horizonte: Ed. O Lutador, 271p. 2005.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. **Aspectos Agrônômicos e de Qualidade do Pequi**. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 32 p. Documentos, 113, ISSN 1677-1915.

OLIVEIRA-FILHO, A.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. Pp. 91-120. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.); **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. 424p.

OLIVEIRA, W. L. SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 84 p.

PIERNA, J. A. F.; ABBAS, O.; BAETEN, V.; DARDENNE, P. A Backward Variable Selection method for PLS regression (BVSPLS). **Analytica Chimica Acta**, v. 642, p. 89-93, 2009. PMID:19427462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2008.12.002>.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. Caryocaraceae. **Flora Neotropica**, v. 12, p. 1-75, 1973.

REIS, N. L.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. **Morcegos do Brasil**. Londrina: UEL (2 ed.), 2007, 253p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 151-212. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. 1.279p.

ROCHA, W. W.; NUNES, P. H. B.; SANTOS, R. M.; PRIMO, D. H. Atributos físicos de um latossolo sob diferentes manejos e usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, Fortaleza-CE, 2009. **Anais**. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. I. Potassium and potassium-permeable channels in plant salt tolerance. **Signal. Commun Plants**, p.87–110, 2010.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2ª.ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; RÍO, M.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. **Forest Ecology and Management**, v. 225, p. 262-270, 2006.

SANTANA, J. G. **Caracterização de ambientes de cerrado com alta densidade de pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) na região Sudeste do Estado de Goiás**. Dissertação. Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002. 101p.

SENA JR., M. R. **Aplicações estatísticas em reconhecimento de padrões em ênfase em verificação de assinaturas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campinas, 1997, 143f.

SILVA, S. M.; BRAIT, J. D. A.; FARIA, F. P.; SILVA, S. M.; OLIVEIRA, S. L.; BRAGA, P. F.; SILVA, F. M. S. M. Chemical characteristics of pequi fruits (*Caryocar brasiliense* Camb.) native of three municipalities in the State of Goiás – Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 771-777, 2009.

SILVA, A. C. **Diagnóstico e avaliação pedológica para o plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Águas Vertentes**. Diamantina: SEMAD/IEF, 2005. 53p.

SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SILVA, J. A.; PEREIRA, A. V.; SALVIANO, A.; JUNQUEIRA, G. D. Avaliação do potencial da produção do “pequizeiro-anão” sob condições naturais na região sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 726-729, 2001.

SOUSA, A. G. O.; FERNANDES, D. C.; ALVES, A. M.; FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, v. 44, p. 2319-2325, 2011.

TONINI, H., KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1509-1516, 2008.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Embrapa Roraima, 2007. 30p. (Documentos / Embrapa Roraima; 8).

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p. 45-94, 1985.

VIEIRA, S. **Introdução a Bioestatística**. Ed.: Elsevier Brasil, 1997, 203 p.

WEBER, P.; BUGMANN, H.; FONTI, P.; RIGLING, A. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v.254, p.96-106, 2008.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VERA, R. **Caracterização física e química de frutos do pequi (Caryocar brasiliense Camb.) de diferentes regiões do Estado de Goiás.** Dissertação. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás. 2004, 50 p.

VERA, R.; SOUZA, E. R. B.; FERNANDES, E. P. NAVES, R. V.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; XIMENES, P. A. Caracterização física e química de frutos do pequi (Caryocar brasiliense Camb.) oriundos de duas regiões no estado de Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 93-99, 2007.

VILELA, G. F. **Variações e populações naturais de Caryocar brasiliense Camb. (Caryocaraceae): fenológicas, genéticas e de valores nutricionais de frutos.** Dissertação. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 88 p, 1998.

ZARDO, R. N. **Efeito do impacto da extração de frutos na demografia do pequi (Caryocar brasiliense) no Cerrado do Brasil central.** Dissertação. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 2008, 50f.

ZIADAT, F. M. Analyzing digital terrain attributes to predict soil attributes for a relatively large area. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.1590-1599, 2005.

APENDICE 4.1
Arquivo fotográfico



Área de estudo



Marcação dos galhos contabilizados



Marcação dos galhos contabilizados



Contagem dos putâmens na árvore



Separação dos frutos caídos por quadrante



Medição da altura total



Medição da altura total (passo 1)



Medição da altura total (passo 2)



Medição da altura total (passo 3)

APENDICE 4.2
Análise de solos

Tabela 1A. Análise química, física e textural da área de estudo localizada no Parque Estadual do Rio Preto em São Gonçalo do Rio Preto-MG, em que MB=Muito Baixo, B=Baixo, M=Médio, Bm=Bom, MBm=Muito Bom, A=Alto, MA=Muito Alto, segundo Alvarez et al. (1999)

Variável	Média	Desvio padrão
pH (água)	5,1(B)	0,4
P (mg/dm ³)	1,4 (MB)	0,6
K (mg/dm ³)	31,1 (B)	9,7
Ca (cmol _c /dm ³)	0,5 (B)	0,1
Mg (cmol _c /dm ³)	0,3 (B)	0,1
Al (cmol _c /dm ³)	2,1 (MA)	0,3
H+Al (cmol _c /dm ³)	12,9 (MA)	6,9
SB (cmol _c /dm ³)	0,9 (B)	0,2
t (cmol _c /dm ³)	3,0 (M)	0,3
T (cmol _c /dm ³)	13,8 (Bm)	7,0
m (%)	70,0 (A)	5,8
V (%)	8,7 (MB)	4,8
M. O. (dag/kg)	1,1 (B)	0,5
Areia (dag/kg)	85,5	3,3
Silte (dag/kg)	5,5	3,5
Argila (dag/kg)	9,1	4,0
Ds (mg/dm ³)	1,3	0,2
Dp (mg/dm ³)	2,5	0,1
VTP (%)	49,4	2,7