

Engenharia Florestal - ESALQ - USP

LCF1680 Manejo e Regeneração de Povoamentos Florestais
Profa. Luciana Duque

Aula sobre

Predição da Produção

by João L. Ferreira Batista (batista.jlf@usp.br)

on 03 de setembro de 2026

» Sumário

Roteiro da Aula

- * A Questão do Manejo Florestal
- * Modelos de Predição da Produção
- * Modelos Empíricos
- * Construção de Modelos Explícitos de Povoamento
- * Exemplo: Floresta de eucalipto

» A Questão do Manejo Florestal

Primeiro: Questão *Quantitativa*

- * QUANDO intervir? (quanto tempo esperar)
- * Intervir em QUANTO? (quanta matéria retirar)

Segundo Questão *Operacional*

- * COMO intervir? (planejamento e execução)

» Informações Necessárias

As informações não estão disponíveis no presente:

Elas estão no *futuro*:

- * Com que velocidade a floresta crescerá?
- * Quando o crescimento estagnará?
- * Quanto será a produção da floresta?

» Necessidade de Informação

“Técnicas de Predição da Produção”

- * Início da disciplina de Manejo Florestal
- * Situação histórica da Alemanha no século XVIII
- ⇒ escassez de matérias primas
- * Conceitos de amplitude nacional:
 - * *“Produção Sustentada”*
 - * *“Manejo Sustentado”*

Situação atual é diferente

- * madeira não é fonte principal de energia
- * rápido desenvolvimento tecnológico
- ⇒ produtos substitutos da madeira
- ⇒ novos produtos a base de madeira

» Aspectos de Importância Atual:

Agroindústria

- ⇒ abastecimento de planta industrial
- ⇒ mercado de matéria prima
 - * nacional
 - * internacional

Tipo de Produção

- * produção regional/municipal
- * produção local (propriedade rural)
- * produtos não-madereiros (nativas e plantadas)

Custo Ambiental

- * Legislação
- * Normas e processos burocráticos ambientais
 - ⇒ Licenciamento/Compensação/Certificação

» Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

- * Modelos Determinísticos
 - ⇒ Mesmas condições iniciais
 - ⇒ Mesmo resultado na simulação
- * Modelos Estocásticos
 - ⇒ Mesmas condições iniciais
 - ⇒ Resultados diferentes a cada simulação

Tipos de Modelos quanto à Abordagem

Modelos Empíricos: relações de variáveis observadas

Modelos de Processo: teoria da Ecofisiologia

Modelos Híbridos: combina processo-empíricos

» Abordagem na Modelagem

Modelos Empíricos

- * Depende da solidez da informação empírica
- * Alta qualidade da predição
- * Associado a situações particulares: não generalizável
- * Não aplicável a situações diferentes das observadas

Modelos de Processo

- * Depende da solidez das concepções teóricas
- * Baixa qualidade da predição
- * Voltado para generalização
- * Aplicável a situações diferentes das observadas,
 - ⇒ novas prescrições de manejo
 - ⇒ implantação em novas regiões
 - ⇒ mudanças climáticas

» Abordagem de Modelagem

Modelos Híbridos

- * Tentativa de unir vantagens
- * Fundamentado numa explicação geral de processo
- * Capaz de explicar situações particulares
 - ⇒ calibração (empírica) do modelo
- * Melhor generalização que os modelos empíricos
- * Melhor predição que os modelos de processo

» Modelos Empíricos quanto à *Escala*

Modelos de Povoamento (Arvoredo)

* Atributos de arvoredo:

- ⇒ Densidade de Estande (ha^{-1})
- ⇒ Área Basal ($m^2 ha^{-1}$)
- ⇒ Produção ($m^3 ha^{-1}$)
- ⇒ Idade
- ⇒ Sítio (Altura Média das Dominantes) (m)
- ⇒ DAP: médio e médio quadrático (cm)

Modelagem

* Relações entre os atributos de arvoredo:

- ⇒ Produção = $f(\text{atributos})$

» Modelos Empíricos quanto à *Escala*

Árvores Individuais

Atributos das árvores individuais:

- ⇒ DAP (cm) e Altura da árvore (m)
- ⇒ Área Transversal (m^2)
- ⇒ Volume (m^3) ou Biomassa (kg)
- ⇒ Idade

Modelagem

- * Lista de árvores numa **Parcela**
- * Relações entre os atributos das árvores
- * Condicionadas pelos atributos da parcela (arvoredo)
 - ⇒ Sítio
 - ⇒ Índices de Densidade/Competição

Totalização por parcela: $m^3 ha^{-1}$ ou $Mg ha^{-1}$

» Modelos Empíricos quanto à *Predição*

Predição Explícita:

- * Predição diretamente na unidade de produção:
 $\Rightarrow m^3 ha^{-1}$ ou $Mg ha^{-1}$
- * Definição do que é a “produção”
 $\Rightarrow$ fixada antes da construção do modelo

Predição Implícita:

- * Predição da estrutura do povoamento
- * Número de árvores por classe de DAP
- * Produção da árvore de centro da classe de DAP:
 $\Rightarrow$ *sortimento* em m^3 ou kg
- * Totalização por classe de DAP
- * Totalização por parcela $\Rightarrow m^3 ha^{-1}$ ou $Mg ha^{-1}$

» Fundamentos dos Modelos Explícitos

Fatores de Produção

- * O que influencia o crescimento no povoamento?
 - ⇒ **IDADE** do povoamento
 - ⇒ **SÍTIO** do povoamento
 - * variação espacial das condições ambientais
 - * heterogeneidade espacial
 - ⇒ **DENSIDADE** do povoamento
 - * Grau de ocupação do espaço pelas árvores
 - * Ocupação *nominal*:
 - ⇒ Número de árvores por hectare — ha^{-1}
 - * Ocupação *efetiva* (espaço de crescimento):
 - ⇒ Área Basal — $m^2 ha^{-1}$

» A Influência do Tempo

Variação Temporal

Quais fatores variam em função do tempo?

- * **SÍTIO**: é invariante, não muda com a IDADE
- * **DENSIDADE**: é variável com a IDADE

Predição da Produção

- * Produção Corrente: **modelo estático**
 - ⇒ **tempo** não varia, idade é mera var. preditiva
 - ⇒ $\text{Produção} = f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
- * Produção Futura: **modelo dinâmico**
 - ⇒ **tempo** faz a densidade variar
 - ⇒ $\text{Produção} = f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
 - ⇒ $\text{Densidade} = f(\text{Sítio}, \text{Idade})$

» Produção Corrente

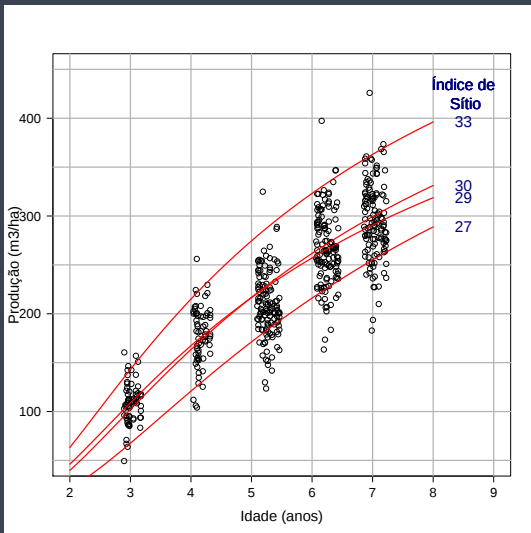
Equação de Produção

- * É função de **SÍTIO**, da **DENSIDADE** e da **IDADE**
- * Mas a **IDADE** é simplesmente uma variável preditora
- * Produção e densidade estão no *mesmo tempo* (corrente):
- * Exemplo:

$$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \ln G + \beta_3 I^{-1} + \varepsilon$$

$$\hat{V} = \exp \left[\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 S + \hat{\beta}_2 \ln G + \hat{\beta}_3 I^{-1} \right]$$

» Exemplo: Floresta de Eucalipto



» Produção Futura: Modelo Dinâmico

Modelo de Crescimento e Produção

Variação da **DENSIDADE** com o tempo (**IDADE**)

* *Projeção* da densidade:

$$\ln(G_2) = \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$$

* Seguida da *projeção* da produção:

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 I_2^{-1} + \beta_3 [\ln(G_2)]$$

» Produção Futura: Projeção

Modelo Resultante:

- * Predição da produção em qualquer idade:

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 I_2^{-1} + \\ + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$$

$$\widehat{V}_2 = \exp \left[\widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 S + \frac{\widehat{\beta}_2}{I_2} + \widehat{\beta}_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \right] G_1^{\widehat{\beta}_3 \left(\frac{I_1}{I_2} \right)}$$

» Exemplo: Floresta de Eucalipto

Curvas de Sítio: aula passada

Parcelas de Exemplo

Parcela	S (m)	I_1 (ano)	G_1 ($m^2 ha^{-1}$)
1	27	5.44	17.09
2	31	2.93	14.30
3	33	4.27	24.70

» Exemplo: Floresta de Eucalipto

Projeção da Área Basal

Modelo de Predição da Área Basal:

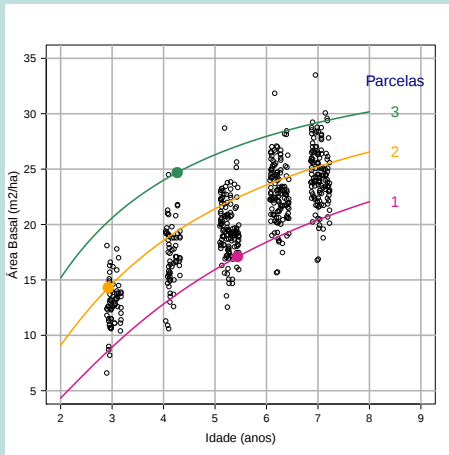
$$\ln(G_2) = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \ln(G_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$$

Modelo Ajustado:

$$\ln(G_2) - \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \ln(G_1) = 3.636056 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$$

» Exemplo: Floresta de Eucalipto

Área Basal Projetada



» Exemplo: Floresta de Eucalipto

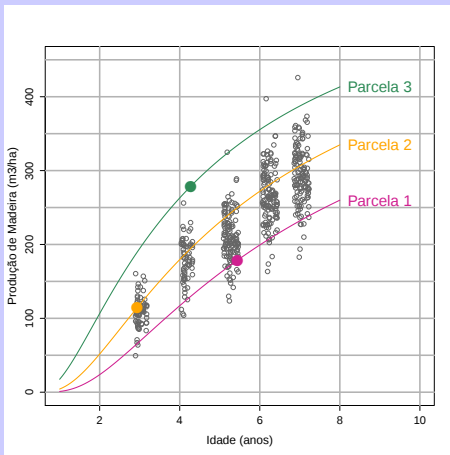
Modelo de Predição da Produção Ajustado

$$\ln(V_2) = 1.7232 + 0.0196 S - 2.0369 \left(\frac{1}{I_2} \right) +$$

$$+ 1.1648 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_1) + 4.1049 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$$

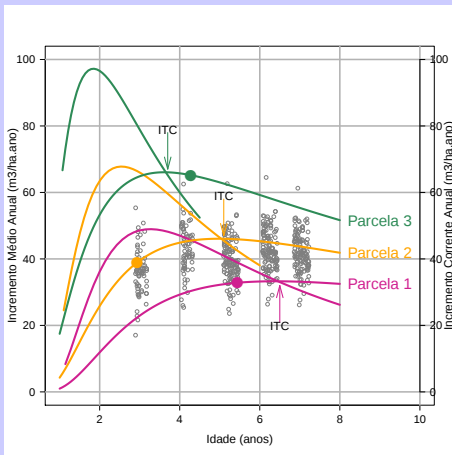
» Exemplo: Floresta de Eucalipto

Predição da Produção



» Exemplo: Floresta de Eucalipto

Idade Técnica de Corte (ITC)



» FIM

Obrigado pela atenção!