

## 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](mailto:batista.jlf@usp.br))  
on outubro de 2023

# » Sumário

# » Sumário



## » Sumário

\* Introdução: As Questões do Manejo Florestal

## » Sumário

- \* Introdução: As Questões do Manejo Florestal
- \* Modelos de Predição da Produção

## » Sumário

- \* Introdução: As Questões do Manejo Florestal
- \* Modelos de Predição da Produção
- \* Modelos Empíricos

## » Sumário

- \* Introdução: As Questões do Manejo Florestal
- \* Modelos de Predição da Produção
- \* Modelos Empíricos
- \* Construção de Modelos de Povoamento Explícitos

## » Sumário

- \* Introdução: As Questões do Manejo Florestal
- \* Modelos de Predição da Produção
- \* Modelos Empíricos
- \* Construção de Modelos de Povoamento Explícitos
- \* Exemplo: Floresta de eucalipto



# » As Questões do Manejo Florestal

# » As Questões do Manejo Florestal

Primeira Questão

# » As Questões do Manejo Florestal

## Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

## » As Questões do Manejo Florestal

### Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

\* QUANDO intervir? (quanto tempo esperar)

## » As Questões do Manejo Florestal

### Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

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

## » As Questões do Manejo Florestal

### Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

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

### Segunda Questão

## » As Questões do Manejo Florestal

### Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

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

### Segunda Questão

É uma questão *operacional*

## » As Questões do Manejo Florestal

### Primeira Questão

É essencialmente uma questão *quantitativa*

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

### Segunda Questão

É uma questão *operacional*

- \* COMO intervir? (planejamento e execução)



# » Informações Necessárias

## » Informações Necessárias

As informações não estão disponíveis no presente:

## » Informações Necessárias

As informações não estão disponíveis no presente:

Elas estão no *futuro*:

## » Informações Necessárias

As informações não estão disponíveis no presente:

Elas estão no *futuro*:

- \* Com que velocidade a floresta crescerá?

## » Informações Necessárias

As informações não estão disponíveis no presente:

Elas estão no *futuro*:

- \* Com que velocidade a floresta crescerá?
- \* Quando o crescimento estagnará?

## » 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

## » Necessidade de Informação

*“Técnicas de Predição da Produção”*



## » Necessidade de Informação

*“Técnicas de Predição da Produção”*

- \* Início da disciplina de Manejo Florestal

## » Necessidade de Informação

*“Técnicas de Predição da Produção”*

- \* Início da disciplina de Manejo Florestal
- \* Situação histórica da Alemanha no século XVIII

## » 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

## » 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:

## » 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*”

## » 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”*

## » 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

## » 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



## » 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

## » 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

## » 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:

## » Aspectos de Importância Atual:

*Agroindústria*

## » Aspectos de Importância Atual:

*Agroindústria*

⇒ abastecimento de planta industrial

## » Aspectos de Importância Atual:

### *Agroindústria*

- ⇒ abastecimento de planta industrial
- ⇒ mercado de matéria prima

## » Aspectos de Importância Atual:

### *Agroindústria*

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



## » Aspectos de Importância Atual:

### *Agroindústria*

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

## » Aspectos de Importância Atual:

### *Agroindústria*

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

### Tipo de Produção

## » Aspectos de Importância Atual:

### *Agroindústria*

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

### Tipo de Produção

- \* produção regional/municipal

## » 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)

## » 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)

## » 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

## » 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

## » 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



## » 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-madeiros (nativas e plantadas)

### Custo Ambiental

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

# » Forma Atual de Predição: Modelos

## » Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

## » Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

- \* Modelos Determinísticos

## » Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

- \* Modelos Determinísticos
  - ⇒ Mesmas condições iniciais

## » Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

- \* Modelos Determinísticos

- ⇒ Mesmas condições iniciais

- ⇒ Mesmo resultado na simulação

## » Forma Atual de Predição: Modelos

Tipos de Modelos quanto à *Estocasticidade*

- \* Modelos Determinísticos
  - ⇒ Mesmas condições iniciais
  - ⇒ Mesmo resultado na simulação
- \* Modelos Estocásticos

## » 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



## » 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

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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 Combinados: híbridos processo-empíricos

# » Abordagem na Modelagem

## » Abordagem na Modelagem

Modelos Empíricos

## » Abordagem na Modelagem

### Modelos Empíricos

- \* Depende da solidez da informação empírica



## » Abordagem na Modelagem

### Modelos Empíricos

- \* Depende da solidez da informação empírica
- \* Alta qualidade da predição

## » Abordagem na Modelagem

### Modelos Empíricos

- \* Depende da solidez da informação empírica
- \* Alta qualidade da predição
- \* Associado a situações particulares: não generalizável

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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,



## » 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

## » 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

## » 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

# » Abordagem de Modelagem

Modelos Híbridos

## » Abordagem de Modelagem

### Modelos Híbridos

- \* Tentativa de unir vantagens

## » Abordagem de Modelagem

### Modelos Híbridos

- \* Tentativa de unir vantagens
- \* Fundamentado numa explicação geral de processo

## » Abordagem de Modelagem

### Modelos Híbridos

- \* Tentativa de unir vantagens
- \* Fundamentado numa explicação geral de processo
- \* Capaz de explicar situações particulares



## » Abordagem de Modelagem

### Modelos Híbridos

- \* Tentativa de unir vantagens
- \* Fundamentado numa explicação geral de processo
- \* Capaz de explicar situações particulares
  - ⇒ calibração (empírica) do modelo

## » 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

## » 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 Empíricos quanto à *Escala*

Modelos de Povoamento (Arvoredo)

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Modelos de Povoamento (Arvoredo)

- \* Atributos de arvoredo:

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Modelos de Povoamento (Arvoredo)

\* Atributos de arvoredo:

⇒ Densidade de Estande ( $ha^{-1}$ )

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Modelos de Povoamento (Arvoredo)

\* Atributos de arvoredo:

⇒ Densidade de Estande ( $ha^{-1}$ )

⇒ Área Basal ( $m^2 ha^{-1}$ )



## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Modelos de Povoamento (Arvoredo)

\* Atributos de arvoredo:

⇒ Densidade de Estande ( $ha^{-1}$ )

⇒ Área Basal ( $m^2 ha^{-1}$ )

⇒ Produção ( $m^3 ha^{-1}$ )

## » 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

## » 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) ( $m$ )

## » 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 ( $cm$ )

## » 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

## » 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:

## » 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*



## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

Árvores Individuais

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Árvores Individuais

Atributos das árvores individuais:

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Árvores Individuais

Atributos das árvores individuais:

⇒ DAP (*cm*) e Altura da árvore (*m*)

## » Modelos Empíricos quanto à *Escala*

### Árvores Individuais

Atributos das árvores individuais:

⇒ DAP ( $cm$ ) e Altura da árvore ( $m$ )

⇒ Área Transversal ( $m^2$ )

## » 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 ( $kg$ )

## » 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

## » 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

## » 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*



## » 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

## » 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
- \* Condiionadas pelos atributos da parcela (arvoredo)

## » 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
- \* Condiionadas pelos atributos da parcela (arvoredo)
  - ⇒ Sítio

## » 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
- \* Condiionadas pelos atributos da parcela (arvoredo)
  - ⇒ Sítio
  - ⇒ Índices de Densidade/Competição

## » 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
  - \* Condiionadas 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*

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

Predição Explícita:

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:



## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:

$$\Rightarrow m^3 ha^{-1} \text{ ou } Mg ha^{-1}$$

## » 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”

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

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

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

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

### Predição Implícita:

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

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

### Predição Implícita:

- \* Predição da estrutura do povoamento

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

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

### Predição Implícita:

- \* Predição da estrutura do povoamento
- \* Número de árvores por classe de DAP

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:  
⇒  $m^3 ha^{-1}$  ou  $Mg ha^{-1}$
- \* Definição do que é a “produção”  
⇒ 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:

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:  
⇒  $m^3 ha^{-1}$  ou  $Mg ha^{-1}$
- \* Definição do que é a “produção”  
⇒ 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:  
⇒ *sortimento* em  $m^3$  ou  $kg$



## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:  
⇒  $m^3 ha^{-1}$  ou  $Mg ha^{-1}$
- \* Definição do que é a “produção”  
⇒ 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:  
⇒ *sortimento* em  $m^3$  ou  $kg$
- \* Totalização por classe de DAP

## » Modelos Empíricos quanto à *Predição*

### Predição Explícita:

- \* Predição diretamente na unidade de produção:  
⇒  $m^3 ha^{-1}$  ou  $Mg ha^{-1}$
- \* Definição do que é a “produção”  
⇒ 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:  
⇒ *sortimento* em  $m^3$  ou  $kg$
- \* Totalização por classe de DAP
- \* Totalização por parcela ⇒  $m^3 ha^{-1}$  ou  $Mg ha^{-1}$

# » Fundamentos dos Modelos Explícitos

# » Fundamentos dos Modelos Explícitos

Fatores de Produção

## » Fundamentos dos Modelos Explícitos

Fatores de Produção

- \* O que influencia o crescimento no povoamento?

## » Fundamentos dos Modelos Explícitos

### Fatores de Produção

- \* O que influencia o crescimento no povoamento?
  - ⇒ IDADE do povoamento

## » Fundamentos dos Modelos Explícitos

### Fatores de Produção

- \* O que influencia o crescimento no povoamento?
  - ⇒ IDADE do povoamento
  - ⇒ SÍTIO do povoamento

## » 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



## » 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

## » 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

## » 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

## » 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*:

## » 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 —  $ha^{-1}$

## » 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):

## » 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



## » A Influência do Tempo

Variação Temporal

## » A Influência do Tempo

Variação Temporal

Quais fatores variam em função do tempo?

## » A Influência do Tempo

### Variação Temporal

Quais fatores variam em função do tempo?

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

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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

## » 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
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$



## » 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
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
- \* Produção Futura: modelo dinâmico

## » 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
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
- \* Produção Futura: modelo dinâmico
  - ⇒ **tempo** faz a densidade variar

## » 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
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
- \* Produção Futura: modelo dinâmico
  - ⇒ **tempo** faz a densidade variar
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$

## » 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
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
- \* Produção Futura: modelo dinâmico
  - ⇒ **tempo** faz a densidade variar
  - ⇒ Produção =  $f(\text{Sítio}, \text{Densidade}, \text{Idade})$
  - ⇒ Densidade =  $f(\text{Sítio}, \text{Idade})$

# » Produção Corrente

## » Produção Corrente

Equação de Produção

## » Produção Corrente

Equação de Produção

\* É função de SÍTIO, da DENSIDADE e da IDADE

## » Produção Corrente

### Equação de Produção

- \* É função de SÍTIO, da DENSIDADE e da IDADE
- \* Mas a IDADE é simplesmente uma variável preditora



## » 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):

## » 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:

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

## » Produção Corrente

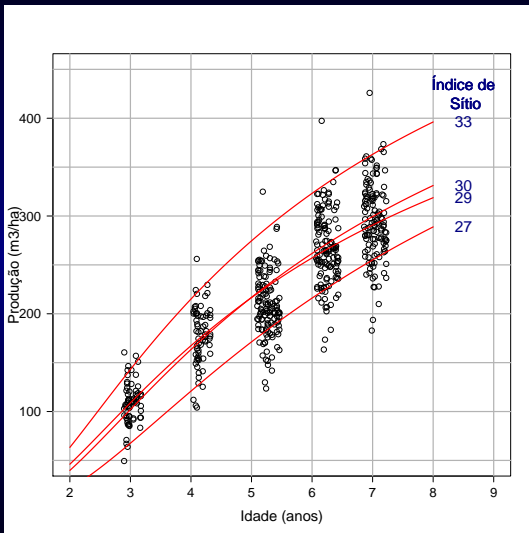
### Equação de Produção

- \* 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:

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

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

# » Exemplo: Floresta de Eucalipto



# » Produção Futura

## » Produção Futura

Modelo de Crescimento e Produção

## » Produção Futura

Modelo de Crescimento e Produção

Varição da DENSIDADE com o tempo (IDADE)

## » Produção Futura

### Modelo de Crescimento e Produção

Varição da DENSIDADE com o tempo (IDADE)

\* *Projeção* da densidade:



## » Produção Futura

### Modelo de Crescimento e Produção

Varição da DENSIDADE com o tempo (IDADE)

\* *Projeção* da densidade:

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

## » Produção Futura

### Modelo de Crescimento e Produção

Varição 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:

## » Produção Futura

### Modelo de Crescimento e Produção

Varição 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

## » Produção Futura

Modelo Resultante:

## » Produção Futura

Modelo Resultante:

- \* Predição da produção em qualquer idade:

## » Produção Futura

Modelo Resultante:

\* Predição da produção em qualquer idade:

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

## » Produção Futura

Modelo Resultante:

\* Predição da produção em qualquer idade:

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

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



# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

Curvas de Sítio: aula passada

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

Curvas de Sítio: aula passada

Parcelas de Exemplo

## » 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

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

Projeção da Área Basal

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

### Projeção da Área Basal

Modelo de Predição da Área Basal:

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

## » 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:

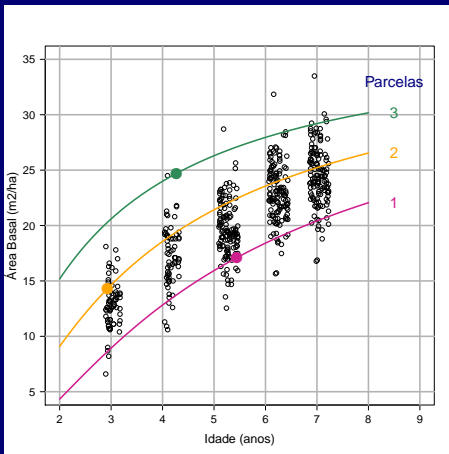
$$\ln(G_2) - \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \ln(G_1) = 3.636056 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$$



# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

## Área Basal Projetada



# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

Modelo de Predição da Produção Ajustado

## » Exemplo: Floresta de Eucalipto

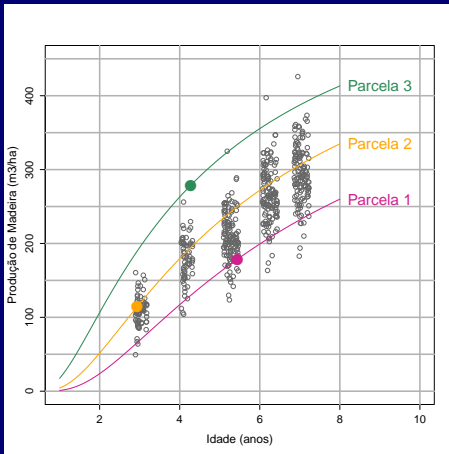
Modelo de Predição da Produção Ajustado

$$\ln(V_2) = 1.7232 + 0.0196 S - 2.0369 \left( \frac{1}{I_2} \right) + \\ + 1.1648 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_1) + 4.1049 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$$

# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

## Predição da Produção

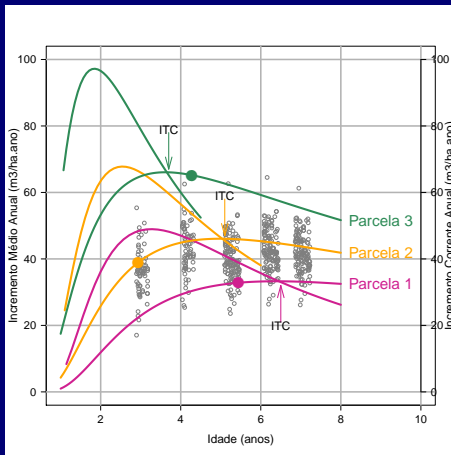


# » Exemplo: Floresta de Eucalipto



# » Exemplo: Floresta de Eucalipto

## Idade Técnica de Corte (ITC)



» FIM

*Obrigado pela atenção!*