



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

U LISBOA | UNIVERSIDADE
DE LISBOA



Brigite Botequim

bbotequim@isa.ulisboa.pt

Ordenamento e Gestão Florestal

Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

| Aulas 6 Novembro – 18 Dezembro 2019

- **Planeamento da gestão do povoamento florestal, conservação e proteção**
 - A estruturação e o desenvolvimento dos processos de planeamento.
 - Critérios de decisão
 - Os problemas e os modelos de planeamento da gestão de povoamentos com composição pura e estrutura regular
 - Os problemas e os modelos de planeamento da gestão de povoamentos com composição mista e com estrutura irregular

Outline:

|Tópico 4 Aula #5

□ Planeamento da gestão de povoações regulares

- Programação Dinâmica (PD): Introdução
- Rede Programação Dinâmica
- Estado, Étaps de decisão, Vértice, Arco
- Forward Recursive
- Backward Recursive
- Exercícios de aplicação :
 - #1. Minimizar custos de actividades
 - #2. Minimizar custos de transportes

| Introdução

□ Técnica de otimização, apresentada por Bellman (1957)

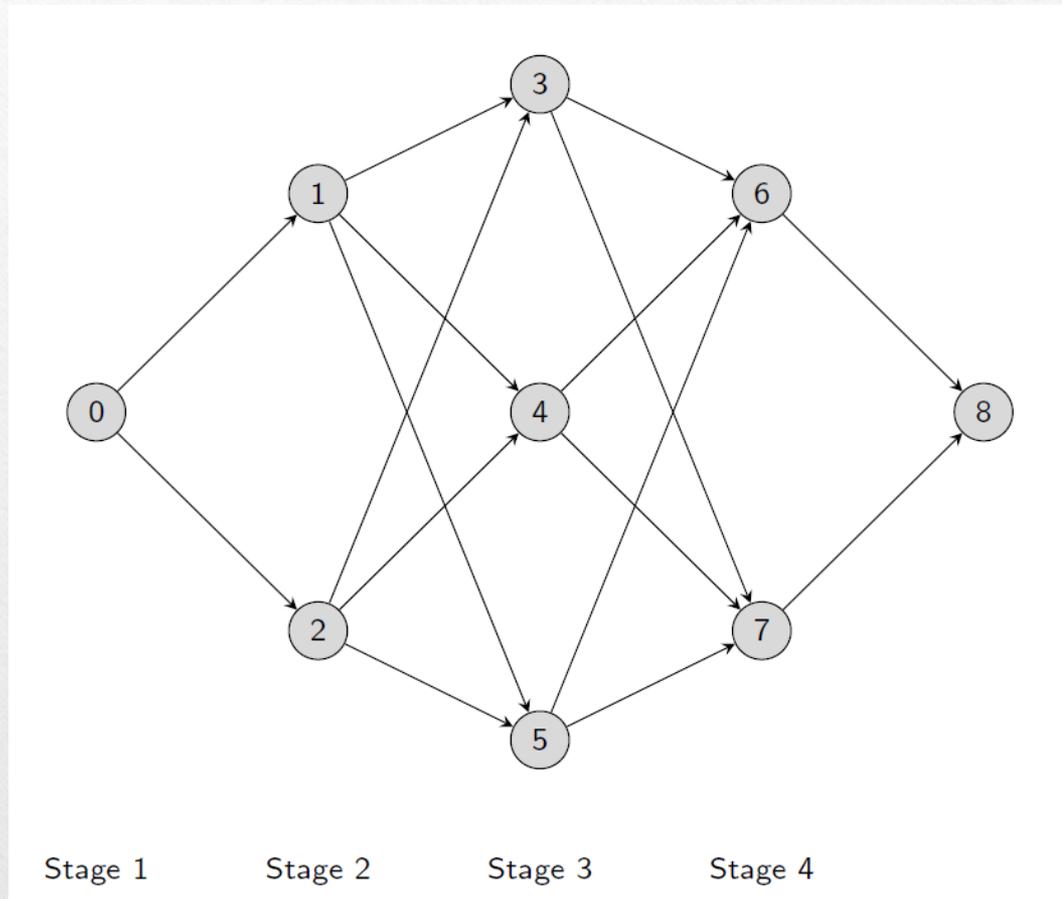
- **Objetivo** : identificar um caminho ideal dentro de uma rede - Rede de programação dinâmica:
- **Etapas**: posições no problema em que uma decisão deve ser tomada
- **Estados**: alternativas possíveis do problema em cada etapa
- cada alternativa é representada por um vértice (nó) em cada **etapa**
- **Arcos** vinculam **vértices** entre **etapas** consecutivos

| Introdução – passos

- ❑ O método envolve dividir o problema em uma sequência de sub-problemas:
 - Um problema pode ser resolvido pelo PD se tiver três características básicas:
 - Pode ser decomposto em etapas de decisão independentes
 - Em cada etapa da decisão é possível definir o estado da solução
 - O tomador de decisão decide para cada etapa qual é o estado na próxima etapa que oferece as melhores receitas / retornos.
 - “*Dinâmico*” não significa necessariamente séries de tempo ...
 - As soluções de cada sub- problema são então reunidas para encontrar a solução geral

Rede PD

ESTADOS



Stage 1

Stage 2

Stage 3

Stage 4

ETAPAS

PD Solução

- Para resolver um problema, o PD usa recursão para encontrar o caminho ideal dentro da rede
- O procedimento consiste numa **seleção do caminho ideal para chegar a cada nó em cada etapa**
- Isso implica que os caminhos ótimos para os nós de uma etapa são considerados para encontrar os caminhos ótimos para os nós da próxima etapa, sem considerar os detalhes do caminho ideal seguido para chegar aos nós da etapa anterior, conhecido como recursão para a frente

Relações recursivas:

- ❖ **Recursão para a frente (Forward recursive)** – move-se da primeira para a última etapa
- ❖ **Recursão para trás (Backward recursive)** – move-se da última para a primeira etapa

|Exemplo 1: planning an evening

Planear uma saída a noite ... para estudar e lazer

- Uma noite, um estudante planeia **sair de casa** com o seu carro
- Então, ele / ela quer ir buscar um **café** ou um **refrigerante**
- Depois disso, ele / ela irá estudar na **biblioteca**, na **associação de estudantes** ou na **escola florestal**
- Depois, ele / ela vai visitar alguns amigos para assistir seu **programa de TV favorito**, mas o aluno pode decidir onde eles se encontrarão entre **dois locais de encontro**
- Finalmente, ele / ela vai **voltar para casa**

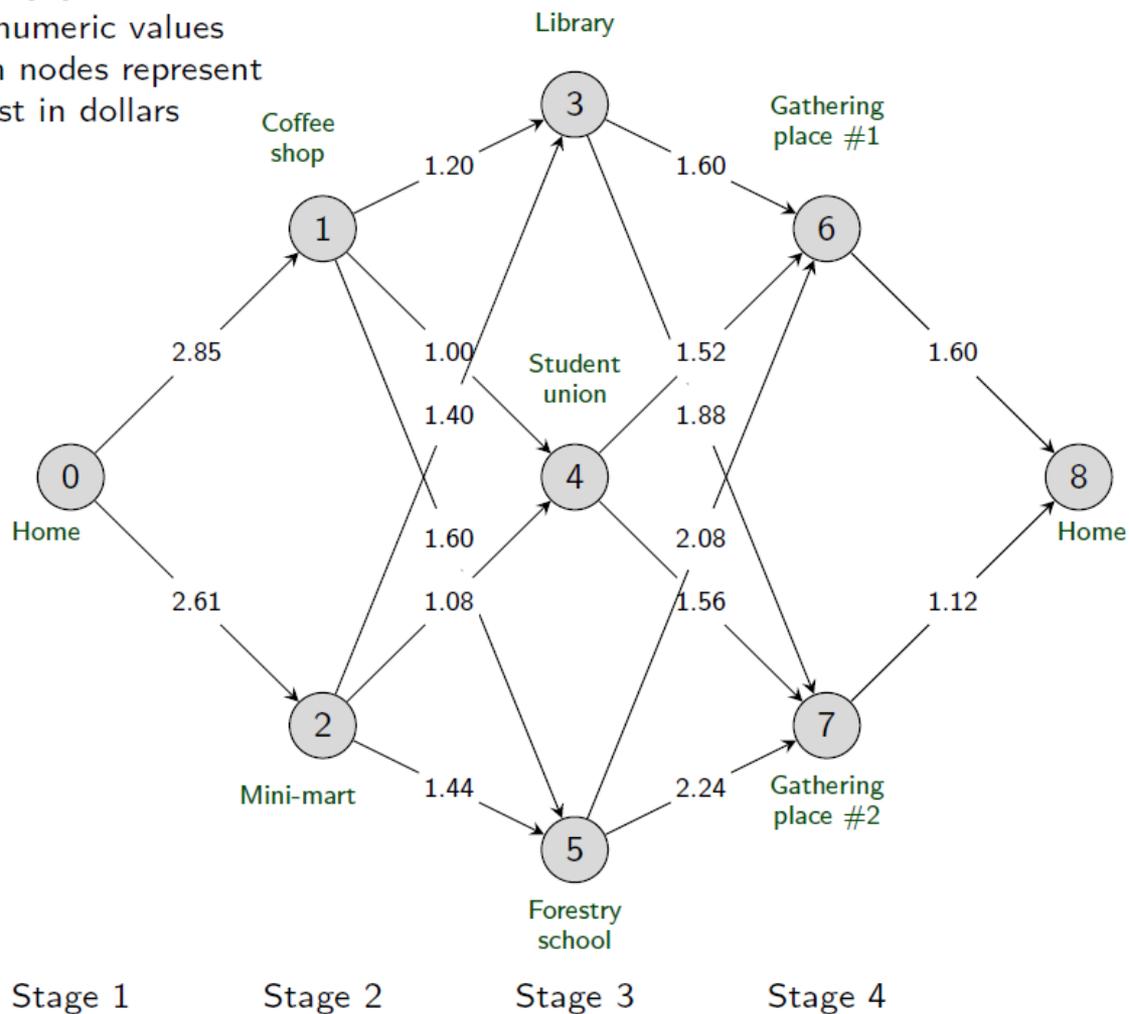
- Para este exercício, vamos supor que os custos associados à gasolina, seguro e desgaste no carro sejam estimados em cerca de 0.40 €/km

Example 1: Planear uma saída a noite ...

Casa (0)

Casa (8)

The numeric values
between nodes represent
cost in dollars



Example 1: Planear uma saída a noite ...

Casa (0)



casa (8)

| From-node | To-node | $r_{a \rightarrow b}$ | Comment |
|-----------|---------|-----------------------|---|
| 0 | 1 | \$2.85 | Coffee (\$1.65) + 3 miles @ \$0.40 per mile |
| 0 | 2 | \$2.61 | Soft drink (\$1.29) + 3.3 miles @ \$0.40 per mile |
| 1 | 3 | \$1.20 | 3.0 miles @ \$0.40 per mile |
| 1 | 4 | \$1.00 | 2.5 miles @ \$0.40 per mile |
| 1 | 5 | \$1.60 | 4.0 miles @ \$0.40 per mile |
| 2 | 3 | \$1.40 | 3.5 miles @ \$0.40 per mile |
| 2 | 4 | \$1.08 | 2.7 miles @ \$0.40 per mile |
| 2 | 5 | \$1.44 | 3.6 miles @ \$0.40 per mile |
| 3 | 6 | \$1.60 | 4.0 miles @ \$0.40 per mile |
| 3 | 7 | \$1.88 | 4.7 miles @ \$0.40 per mile |
| 4 | 6 | \$1.52 | 3.8 miles @ \$0.40 per mile |
| 4 | 7 | \$1.56 | 3.9 miles @ \$0.40 per mile |
| 5 | 6 | \$2.08 | 5.2 miles @ \$0.40 per mile |
| 5 | 7 | \$2.24 | 5.6 miles @ \$0.40 per mile |
| 6 | 8 | \$1.60 | 4.0 miles @ \$0.40 per mile |
| 7 | 8 | \$1.12 | 2.8 miles @ \$0.40 per mile |

Exemplo 1: Planear uma saída a noite ...

□ Pressupostos - *Algumas definições úteis de rede de programação dinâmica*

- O aluno quer minimizar o custo das atividades noturnas
- Do (vértice) nó - onde uma ramificação começa (*From-node*)
- Para o (vértice) nó - onde um ramo termina (*To-node*)
- Custo - custo acumulado de uma rota
- Rota - caminho através da rede
- $R_i - j$: custo associado à passagem do nó ij
- R_j - custo mínimo para chegar ao nó j = calculado como o mínimo valor de $R_i + r_{ij}$ para todos os nós i que levam ao nó j
- P_j - nó anterior que representa o caminho com o custo mínimo para obter nó j

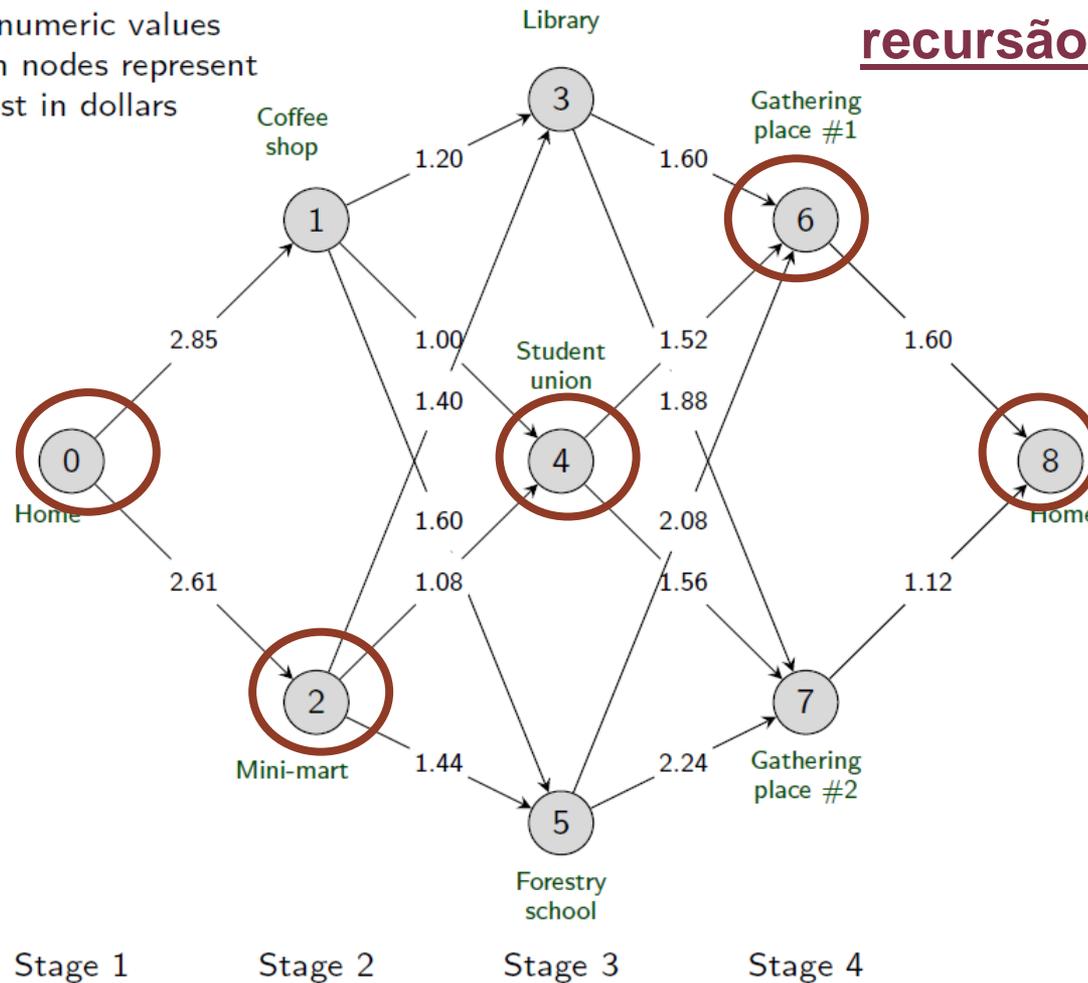
Exemplo 1: Planear uma saída a noite ...

Casa (0)

Casa (8)

The numeric values
between nodes represent
cost in dollars

recursão direta



Example 1: Planear uma saída a noite ...

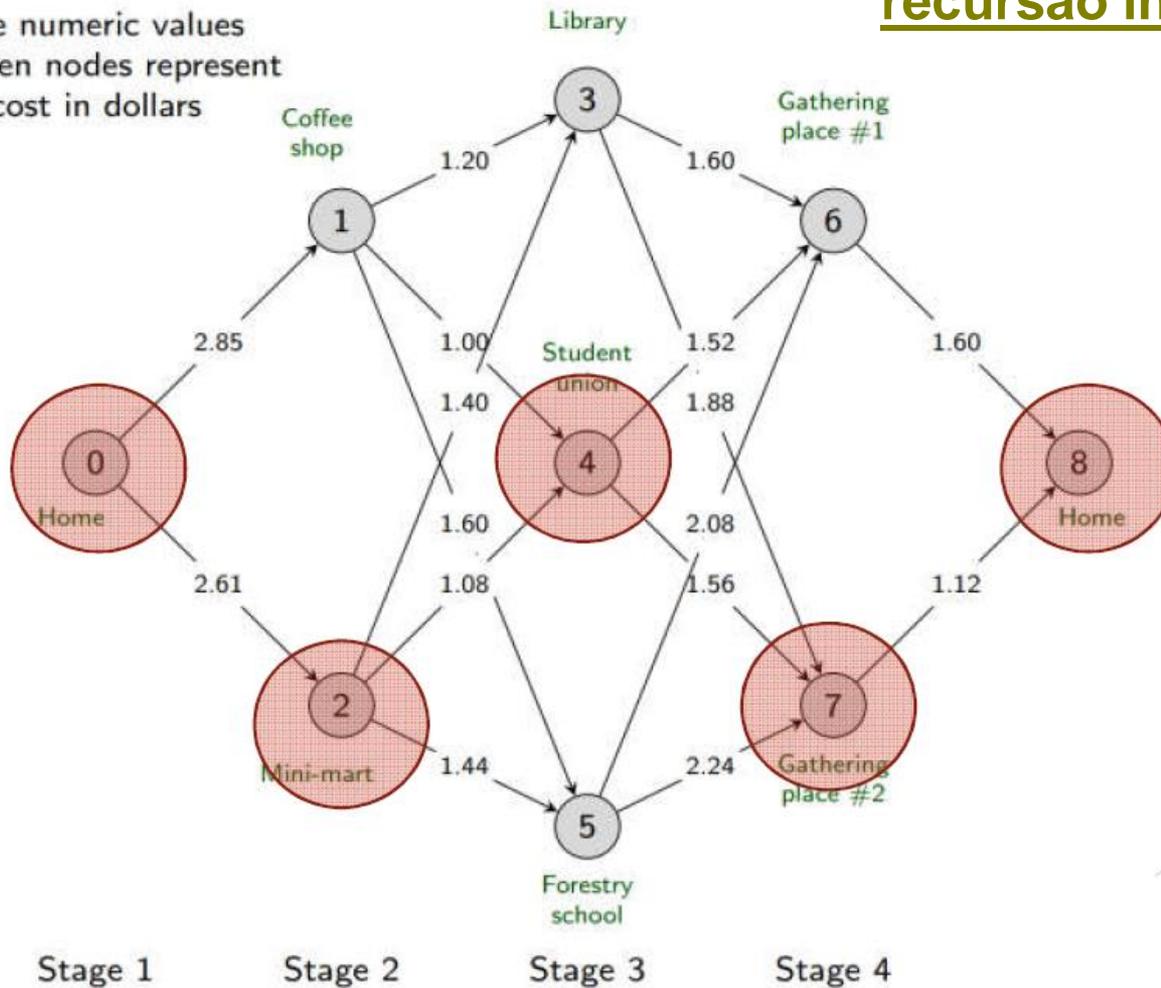
Casa (8)



Casa (0)

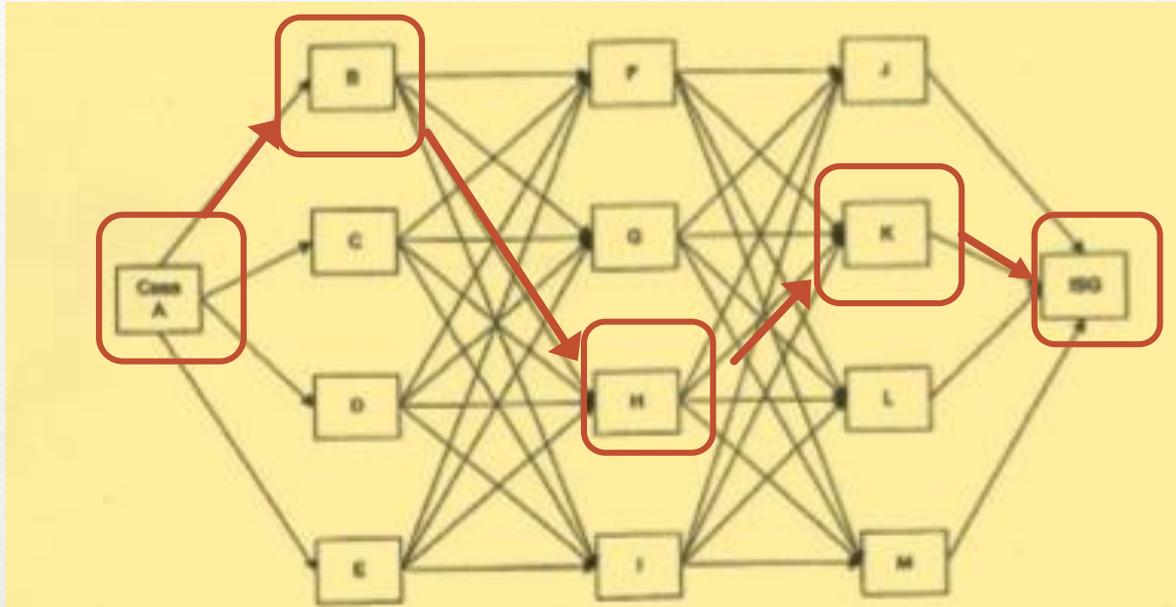
recursão inversa

The numeric values
between nodes represent
cost in dollars



Exemplo 2: Minimizar o custo de transporte

- Admita-se um aluno que pretende minimizar o custo de transporte entre a sua residência e o ISG utilizando os vários meios de transporte disponíveis na rede seguinte



- As Matrizes de custos associadas as Ligações anteriores :

| | B | C | D | E |
|----------|----|----|----|----|
| Casa (A) | 20 | 25 | 15 | 30 |

| | F | G | H | I |
|---|----|----|-----|----|
| B | 90 | 85 | 70 | 75 |
| C | 75 | 70 | 85 | 80 |
| D | 85 | 75 | 80 | 90 |
| E | 95 | 90 | 105 | 95 |

| | J | K | L | M |
|---|----|----|----|----|
| F | 55 | 60 | 70 | 65 |
| G | 70 | 75 | 65 | 80 |
| H | 75 | 55 | 70 | 65 |
| I | 65 | 70 | 75 | 60 |

| | ISG (N) |
|---|---------|
| J | 30 |
| K | 30 |
| L | 30 |
| M | 30 |

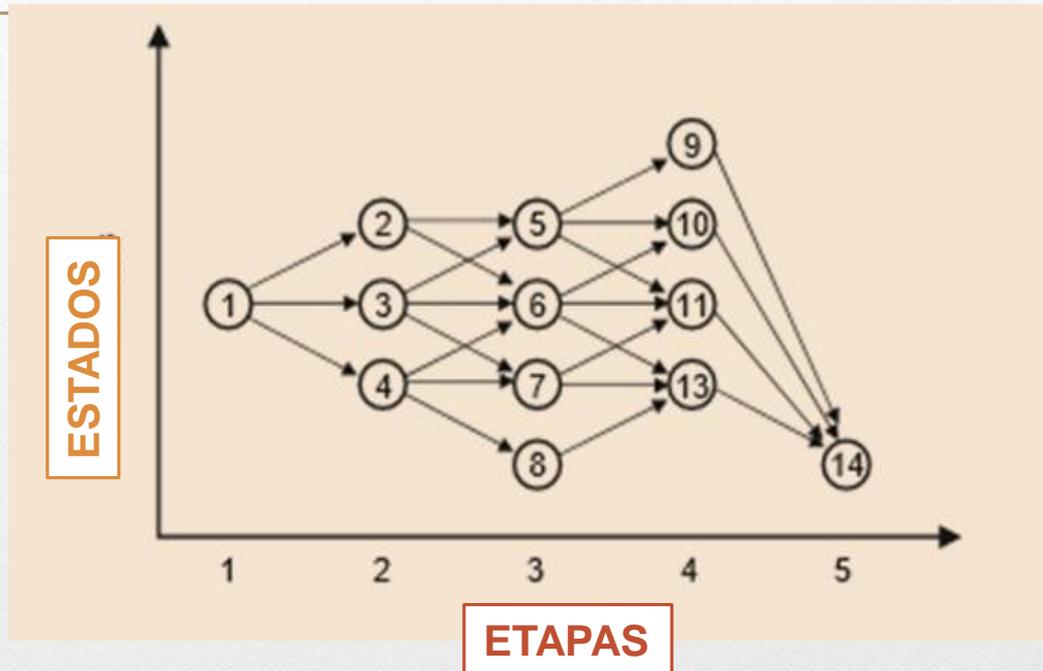
Itinerário ótimo = $\Sigma 175\text{€}$

Outline:

|Tópico 4 Aula #6

- ❑ **Planeamento da gestão de povoamentos composição pura e regular**
 - Rede Programação Dinâmica: Soluções óptimas de gestão
 - Exercícios de aplicação :
 - #3. Minimizar distância a Universidade
 - Forward Recursive
 - Backward Recursive

Rede Programação Dinâmica



- A etapa 1 possui apenas **um estado**,
- enquanto a etapa 2 dois contém **três estados**.
- Os Estados devem descrever as características do povoamento que afetam o valor da função objetivo

□ Soluções ótimas de gestão

- A PD tem sido frequentemente usada para maximizar o potencial biológico (incremento médio anual - IMA) e os retornos econômicos (valor esperado do solo - VET) relacionados a um conjunto de árvores
- representa uma técnica para a determinação sistemática de combinações ótimas de decisões.
- A PD também é um método para resolver numericamente um sistema dinâmico de equações

□ Soluções ótimas de gestão

- Os estados da PD são as posições no problema em que várias condições diferentes do povoamento podem existir;
- Na otimização ao nível do povoamento, os estados podem ser: a idade de um povoamento
- Como alternativa, se lidarmos com povoamento irregular para fins de tomada de decisão, os estados podem ser definidos como o número de anos a partir do momento atual
- Em cada estado, uma decisão deve ser tomada.
- No caso de gestão ao nível do povoamento, isso envolve a seleção de uma ação de gestão (que inclui não fazer nada).

Relações Recursivas

- A PD usa a recursão direta ou inversa para resolver um problema de gestão.
- A recursão direta envolve mover-se na direção da primeira etapa para a última etapa (stage) = **Recursão para a frente** (Forward recursive)
- A recursão para trás é o oposto, onde o problema é resolvido da última etapa para a primeira etapa = **Recursão para trás** (Backward recursive)
- A recursão direta é vantajosa para problemas que **envolvem horizontes de tempo incertos**.
- A recursão recursiva (inversa) é vantajosa para resolver problemas que contenham opções no mesmo horizonte de tempo

Relações Recursivas

- Em gestão florestal, a recursão inversa (de trás para a frente) de um problema de gestão de povoamentos regulares começa com a **idade mais antiga** possível reconhecida e procura resolver um plano de gestão /decisão ótima /ideal **até a idade mais jovem** identificada.
- A recursão direta começa com a **idade mais jovem** conhecida e determina para cada revolução possível o caminho ideal
 - Nota: Para problemas de gestão com idades irregulares a idade é substituída pelo tempo
 - Uma vantagem da recursão direta é a integração com os modelos de crescimento das espécies é facilitada porque as funções de crescimento dos povoamentos são um processo de recursão direta.

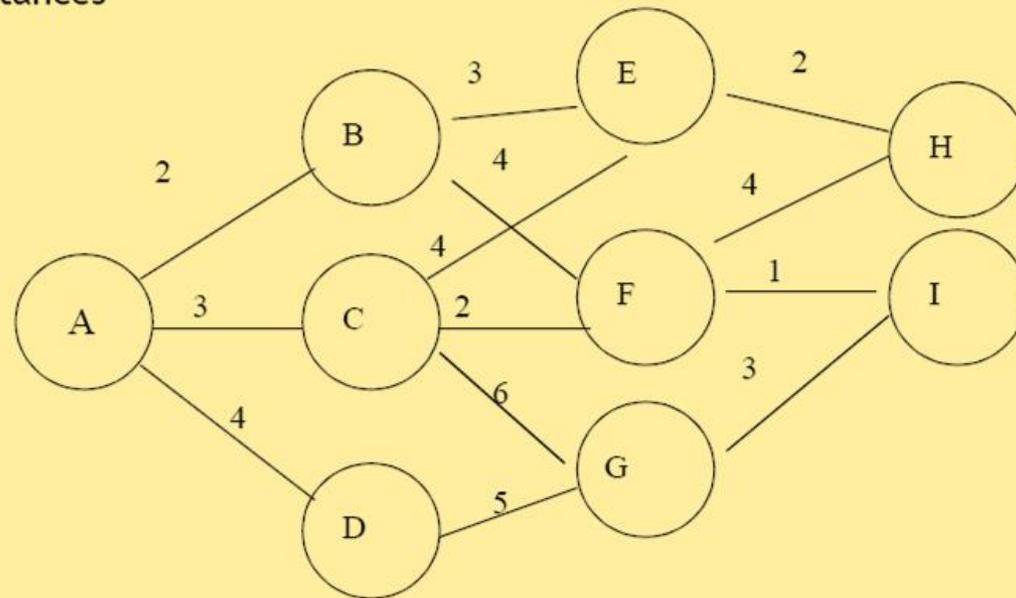
Exemplo 3: Minimizar a distância a universidade

Casa (A)



Universidade - Metro final (H ou I)

Numbers in the arcs represent distances



Stage 1

Stage 2

Stage 3

Stage 4

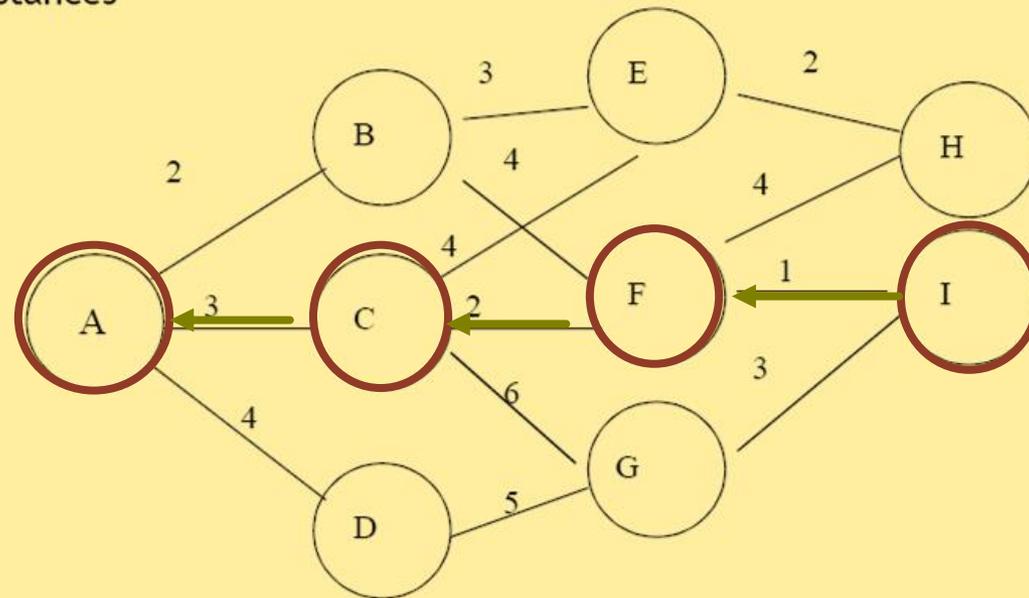
- Qual o itinerário que minimiza a distância? **Método recursão inversa**

Exemplo 3: Minimizar a distância a universidade

Casa (A)  Universidade - Metro final (H ou I)

Numbers in the arcs represent distances

recursão inversa



Stage 1

Stage 2

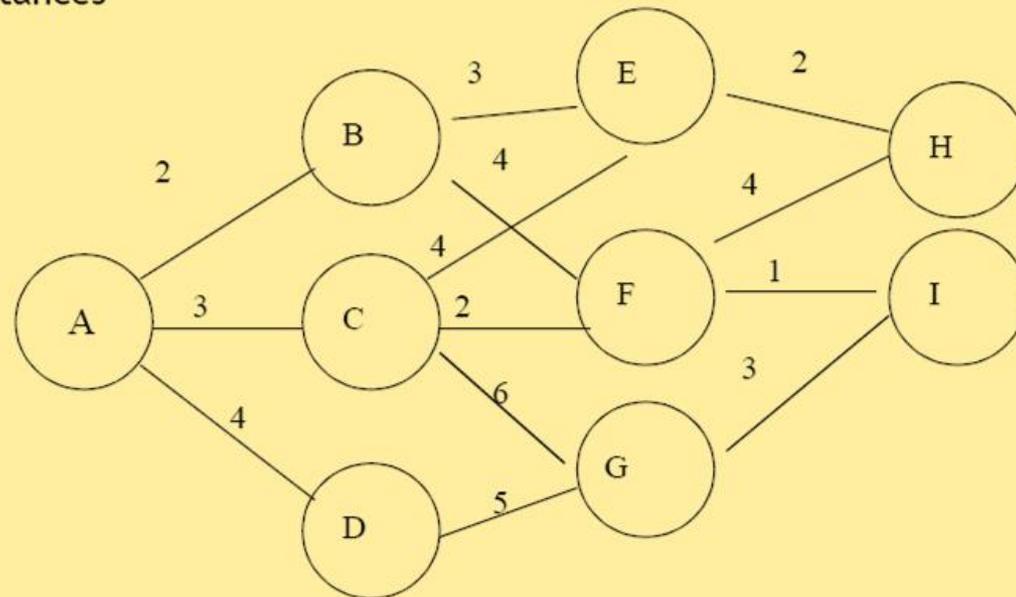
Stage 3

Stage 4

Exemplo 3: Minimizar a distância a universidade

Casa (A)  Universidade - Metro final (H ou I)

Numbers in the arcs represent distances



Stage 1

Stage 2

Stage 3

Stage 4

- Qual o itinerário que minimiza a distância? **Método recursão direta**

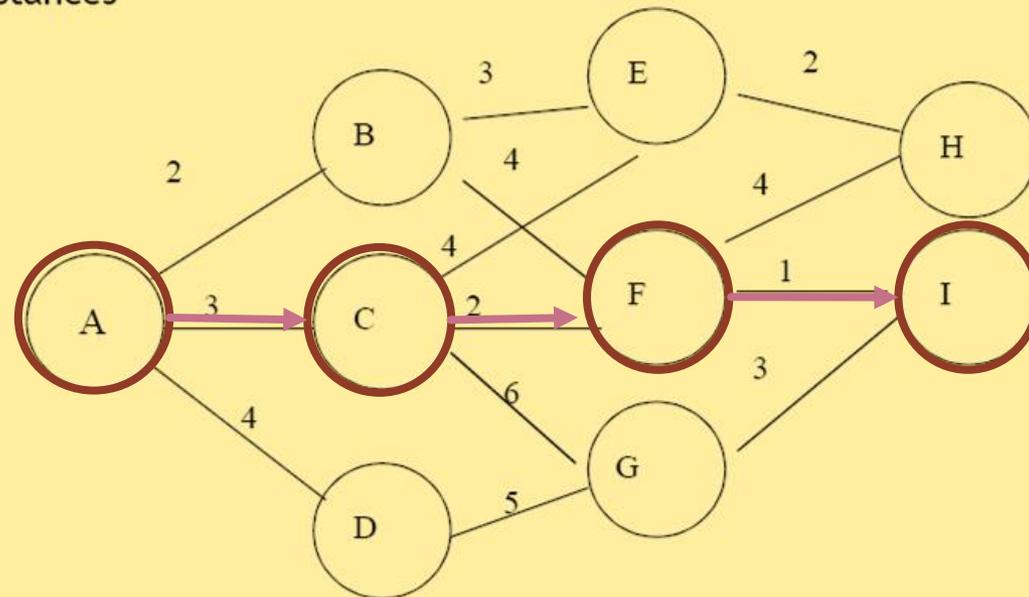
Exemplo 3: Minimizar a distância a universidade

Casa (A) 

Universidade - Metro final (H ou I)

Numbers in the arcs represent distances

recursão direta



Stage 1

Stage 2

Stage 3

Stage 4

Outline:

|Tópico 4 Aula #7

□ Planeamento da gestão de povoamentos regulares

- Rede Programação Dinâmica: Soluções óptimas de gestão

- Exercícios de aplicação :

#4. Desbaste de um povoamento com corte final aos 50 anos
(Rotação fixa)

Recurso inverso (Backward)

#5. Desbaste de um povoamento – com recurso a formulas em excel

- Recurso direto (Forward)

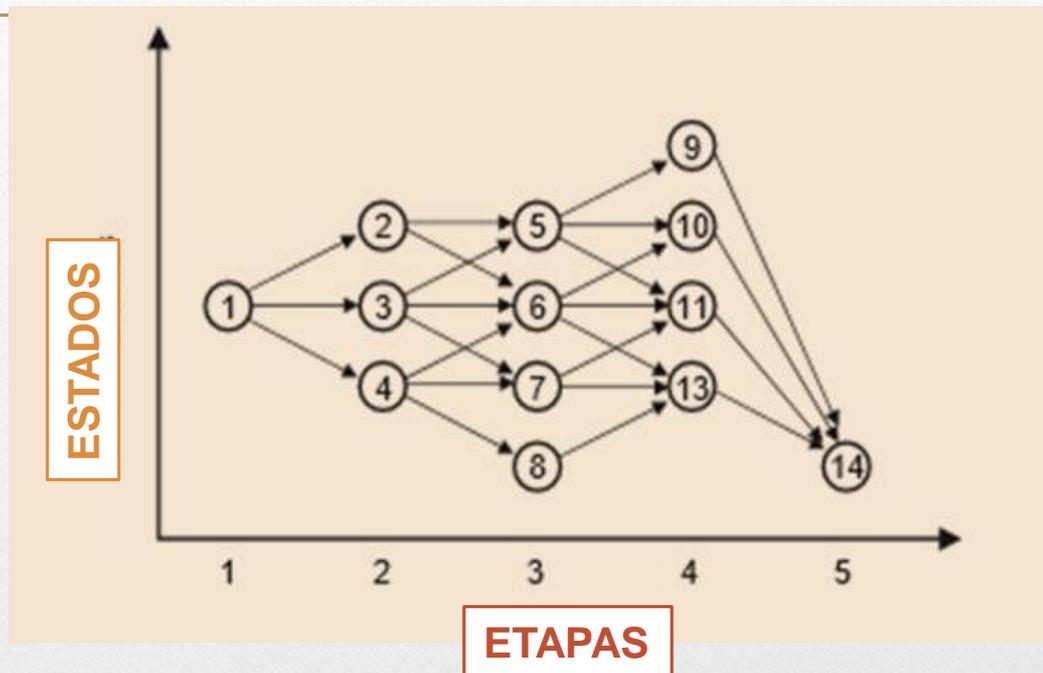
| Utilidade em gestão de povoamentos regulares

- Planeamento de gestão ao nível do povoamento
- São necessários módulos de crescimento, rendimento e desbaste no nível do povoamento :
 - ➔ previsão da evolução do povoamento ao longo do tempo
- Aplicação de prescrições e variáveis económicas
 - ➔ Critérios económicos : valor atual líquido (VAL) ou Valor esperado do Solo (VET)
- Pesquisa automática do procedimento ótimo de gestão ao nível do povoamento

□ Soluções ótimas de gestão

- **Estados** são as condições do problema que são reconhecidas em cada **etapa** (os nós em cada etapa).
- Para problemas de otimização no nível do povoamento, podem referir-se:
 - ✓ a diferentes níveis crescentes de stock de volume residual
 - ✓ a diferentes densidades residuais em cada idade do povoamento
- **Estados** são as várias condições estruturais possíveis que podem existir se um determinadas ações forem escolhidas
- Cada **etapa** possui um número específico de **estados**

Rede Programação Dinâmica



- Os Estados devem descrever as características do povoamento que afetam o valor da função objetivo

□ Num Problema de gestão Florestal

- **Etapa n** – idade do povoamento
- **Estado** pode ser a area basal (G) m²/ha no inicio da **etapa**
- Temos de considerar crescimento e produção :
- $G_n (S_n)$ = Crescimento da area basal na **etapa n** quando a area basal do povoamento é igual a S_n no inicio da etapa n
- $R_n (Z_n, S_{n+1}) = VALi_n$ na etapa n se, no final dessa etapa, o povoamento tiver uma area basal (G) m²/ha de Z_n e nesse povoamento, nesse momento, desbastarmos /cortarmos e teremos a área basal restante igual a S_{n+1} . O Ponto inicial de $n + 1$ é o ponto final da etapa n .
- $R_n (Z_n, S_{n+1}) = 0$, se não existir corte

□ Recursivo inverso

➤ Método de solução com início no último estágio

Relação recursiva:

$$F_n(S_n) = \underset{S_{n+1} = S_n + G_n(S_n)}{\text{MAX}} (R_n(S_n + G_n(S_n), S_{n+1}) + F_{n+1}(S_{n+1}))$$

- **Condição inicial:** é conhecido o valor de $F_n(0)$ qualquer que seja n (conhece-se o valor do solo)
- **Objectivo:** Determinar $F_1(S_1)$ para todos os estados S_n possíveis

□ Recursivo Direto

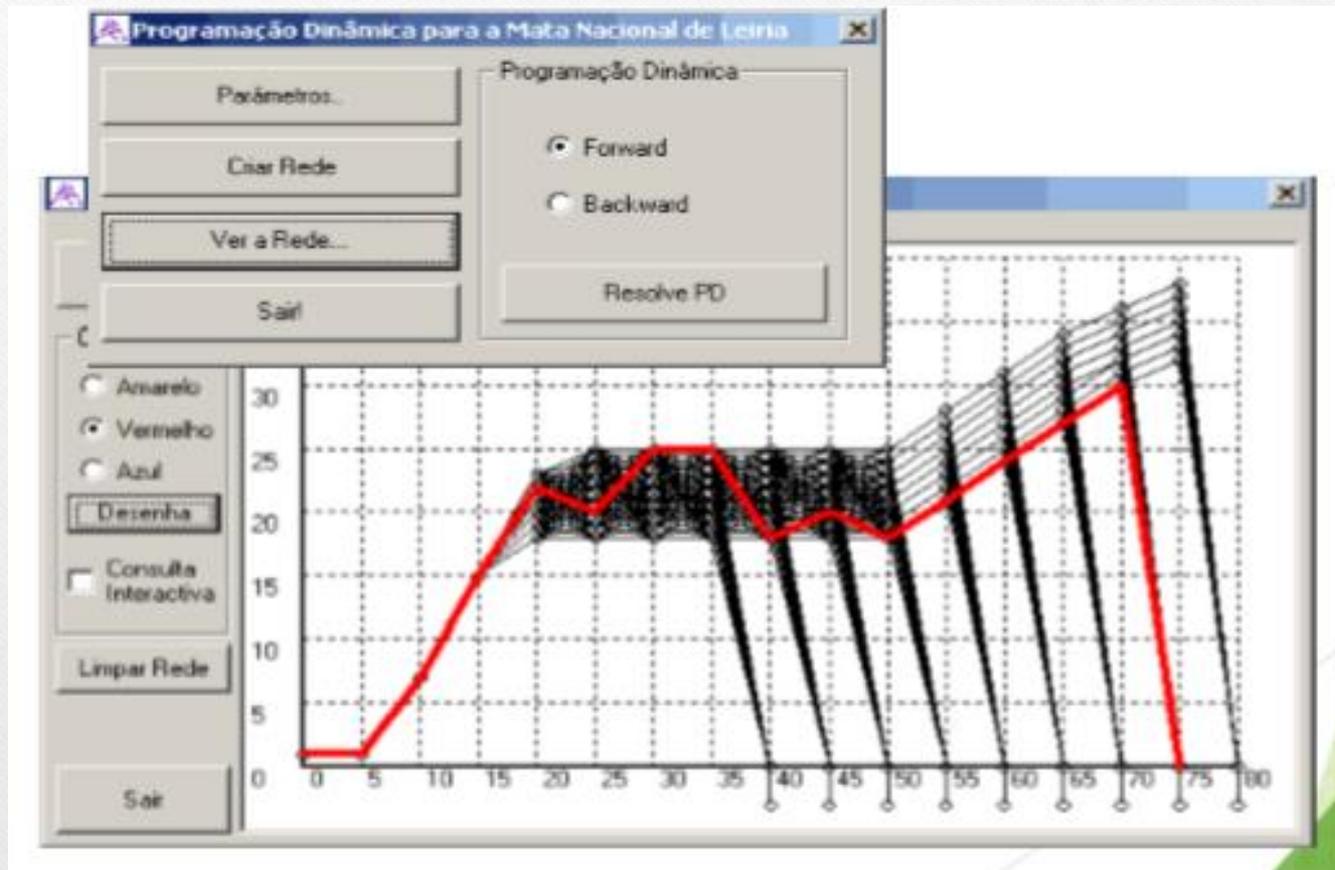
➤ Método de solução com início no primeiro estágio

Relação recursiva:

$$F_n(S_n) = \underset{S_{n-1} = S_n - G_{n-1}(S_{n-1})}{MAX} (R_{n-1}(S_{n-1} + G_{n-1}(S_{n-1}), S_n) + F_{n-1}(S_{n-1}))$$

- **Condição inicial:** é conhecido o valor de $F_1(S_1)$ existindo regra geral apenas um estado no primeiro estágio (área basal = 0)
- **Objectivo:** Determinar $F_n(0)$ para todos os n possíveis

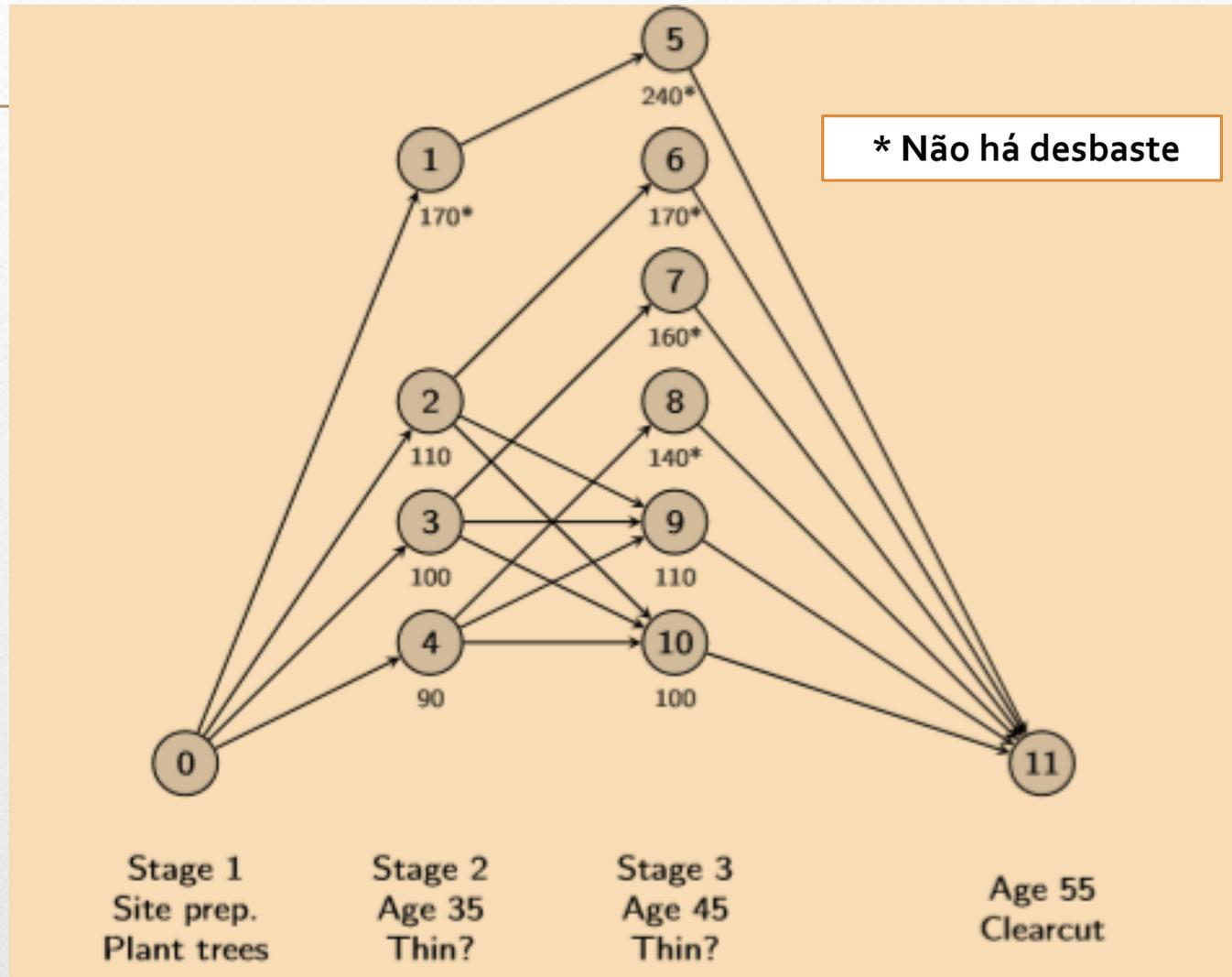
❑ Determinação de alternativa de gestão óptima



#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

- Um proprietário está interessado em maximizar o valor de um investimento num povoamento que será cortado aos 55 anos de idade
- Vários tratamentos alternativos são considerados quando o povoamento tem 35 e 45 anos de idade → cortes intermédios que variam em intensidade.
- Os estados intermediários da rede de programação dinâmica são caracterizados pela área basal residual deixada após um desbaste
- Somente uma rotação (R) é considerada → 55 anos
- Variáveis econômicas:
- Custo de plantação → 250 €
- Preço de volume madeira → 400 €/m³
- Taxa de desconto → 5%

#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa



#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

- Diversas alternativas para a gestão do povoamento podem ser exploradas sob a indicação de que o proprietário da terra decidiu não cortar o povoamento até os 55 anos de idade e que o proprietário deseja maximizar o valor do investimento.
- Não fazer nada antes do corte ;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos, para uma área basal residual de 90 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos, para uma área basal residual de 100 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos, para uma área basal residual de 110 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos, para uma área basal média de 90, seguido de novo desbaste pelo baixo aos 45 anos, para uma área basal residual de 100 m²/ha ;
 - Desbaste pelo baixo aos 35, para 90 m²/ha, seguido de novo desbaste aos 45 anos, para uma área basal residual de 110 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos para uma área basal média de 100 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos de idade, para uma área basal média de 100 m²/ha, seguido de novos desbaste aos 45 anos para uma área basal residual de 110 m²/ha;
 - Desbaste pelo baixo aos 35 anos, de 110 m²/ha, depois novo desbaste aos 45 anos para um resíduo área basal total de 100 m²/ha
 - Desbaste aos 35 anos pelo baixo, para uma área basal residual de 110m²/ha, seguido de novo desbaste aos 45 anos, para uma área basal de 110 m²/ha.

#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

■ Variáveis econômicas:

Custos de plantação → 250€ (ano 0)

Taxa de desconto → 5%

Preço volume de madeira → 400 €/m³

$$\text{VAL (NPV)} = \sum_{t=0}^R \frac{I_t - C_t}{(1+i)^t}$$

$$\text{VAL (NPV)} = \sum_{n=0}^i Rn(1+i)^i - n - \sum_{n=0}^i Cn(1+i)^i - n$$

#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

□ Pressupostos

Um proprietário está interessado em maximizar o valor de um investimento num povoamento

- **Do (vértice) nó de origem**- onde uma ramificação começa (*From-node*)
- **Para o (vértice) nó de destino** - onde um ramo termina (*To-node*)
- **Custo** - custo acumulado de uma rota
- **Rota** - caminho através da rede
- **$R_i - j$** : custo associado à passagem do nó ij
- **R_j** - custo máximo para chegar ao nó j = calculado como o valor máximo de $R_i + r_{ij}$ para todos os nós i que levam ao nó j
- **P_j** - nó anterior que representa o caminho com o custo máximo para obter nó j

#4: .Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

| From-node | To-node | Volume harvested | Revenues | $r_{i \rightarrow j}$ |
|-----------|---------|------------------|----------|-----------------------|
| 0 | 1 | | 0 | -250 |
| 0 | 2 | 3.378 | 1351.2 | -5.04 |
| 0 | 3 | 4.360 | 1744 | 66.17 |
| 0 | 4 | 5.352 | 2140.8 | 138.11 |
| 1 | 5 | | 0 | 0 |
| 2 | 6 | | 0 | 0 |
| 2 | 9 | 7.931 | 3172.4 | 353.08 |
| 2 | 10 | 9.343 | 3737.2 | 415.94 |
| 3 | 7 | | 0 | 0 |
| 3 | 9 | 6.188 | 2475.2 | 275.48 |
| 3 | 10 | 7.636 | 3054.4 | 339.94 |
| 4 | 8 | | 0 | 0 |
| 4 | 9 | 4.347 | 1738.8 | 193.52 |
| 4 | 10 | 5.762 | 2304.8 | 256.52 |
| 5 | 11 | 44.858 | 17943.2 | 1225.99 |
| 6 | 11 | 36.620 | 14648 | 1000.85 |
| 7 | 11 | 33.804 | 13521.6 | 923.88 |
| 8 | 11 | 31.031 | 12412.4 | 848.09 |
| 9 | 11 | 24.500 | 9800 | 669.60 |
| 10 | 11 | 23.000 | 9200 | 628.60 |

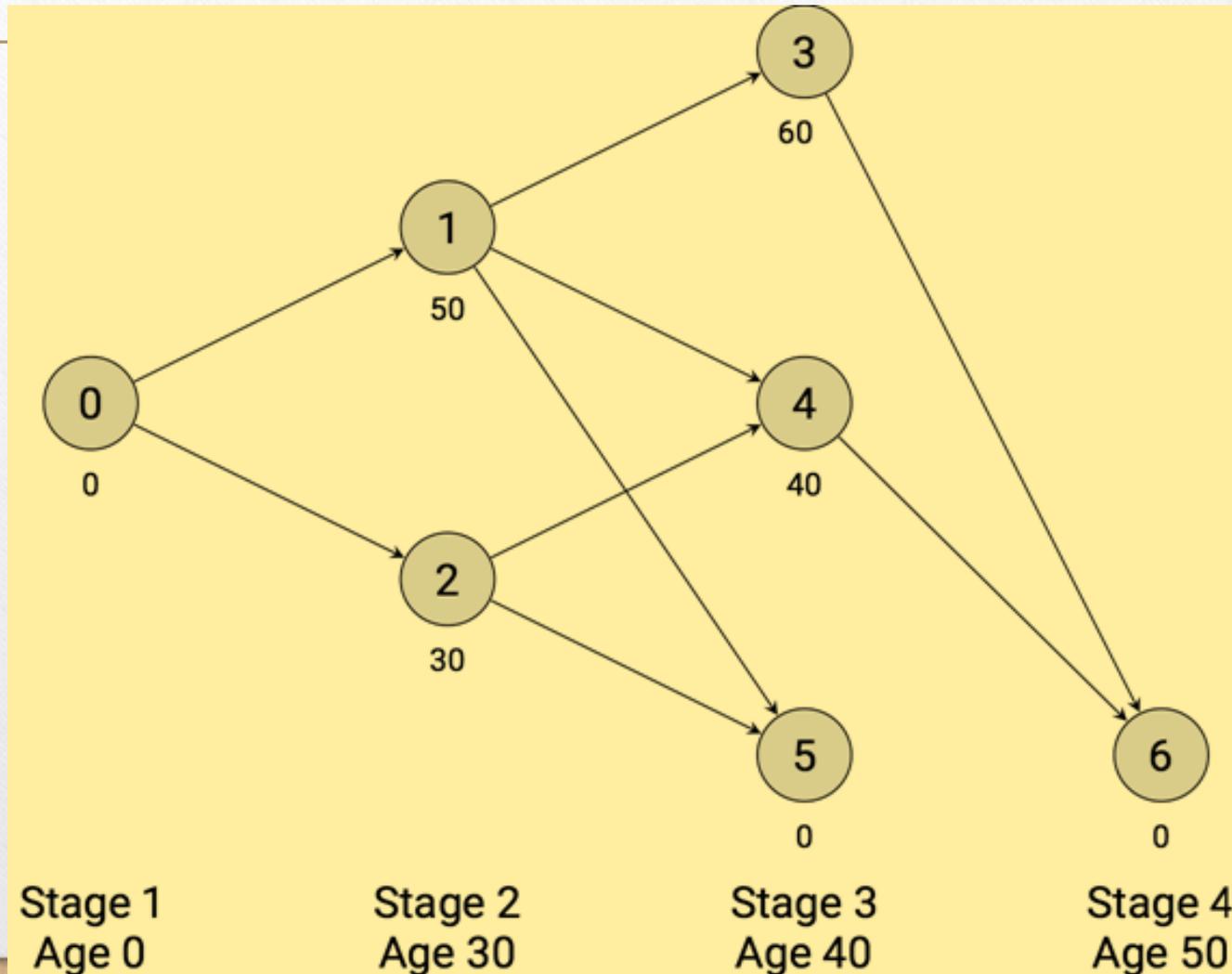
#5. Desbaste de um povoamento regular



- ❑ **A rede de programação dinâmica a seguir representa um problema de gestão ao nível do povoamento, onde o estado do povoamento é caracterizado pelo seu volume de madeira e as etapas representam a idade do povoamento**
 - o objetivo é maximizar o benefício econômico obtido com o povoamento.
 - O valor atual líquido associado a cada arco é mostrado em baixo na tabela. Foi assumida uma taxa de desconto de 5%
 - **Resolva usando o método recursivo direto**

#5. Desbaste de um povoamento regular

Rede de programação dinâmica para gestão ao nível do povoamento



#5. Desbaste de um povoamento regular

VAL associado a cada arco

| From | To | NPV (€/ha) |
|------|----|------------|
| 0 | 1 | -600 |
| 0 | 2 | -350 |
| 1 | 3 | 0 |
| 1 | 4 | 450 |
| 1 | 5 | 900 |
| 2 | 4 | 400 |
| 2 | 5 | 700 |
| 3 | 6 | 1100 |
| 4 | 6 | 850 |

#5. Desbaste de um povoamento regular

□ VAL associado a cada arco

| Nó -para - Nó Matrix do VAL (NPV) | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------|---------|------|--------|--------|---------|
| Node | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | | -600,00 | -350,00 | | | | |
| 1 | | | | 0,00 | 450,00 | 900,00 | |
| 2 | | | | | 400,00 | 700,00 | |
| 3 | | | | | | | 1100,00 |
| 4 | | | | | | | 850,00 |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |

| Forward recursion | | | | | | |
|-------------------|--------------|---------------|---------|----------|---------|-------|
| Estágio/etapa | nó de origem | Nó de destino | Custo | Percurso | R_j | P_j |
| 1 | 0 | 1 | -600,00 | 0,1 | -600,00 | 0 |
| | 0 | 2 | -350,00 | 0,2 | -350,00 | 0 |
| 2 | 1 | 3 | -600,00 | 0,1,3 | -600,00 | 1 |
| | 1 | 4 | -150,00 | 0,1,4 | 50,00 | 0 |
| | 2 | 4 | 50,00 | 0,2,4 | 50,00 | 2 |
| | 1 | 5 | 300,00 | 0,1,5 | 350,00 | 0 |
| | 2 | 5 | 350,00 | 0,2,5 | 350,00 | 2 |
| 3 | 3 | 6 | 500,00 | 0,1,3,6 | 900,00 | 0 |
| | 4 | 6 | 900,00 | 0,2,4,6 | 900,00 | 4 |

Alternativa ótima de gestão para revolução = 40 anos

Alternativa ótima de gestão para revolução = 50 anos

| Rotation | NPV | LEV |
|----------|--------|--------|
| 40 | 350,00 | 407,95 |
| 50 | 900,00 | 985,98 |

Discount rate (i) 5,00%

Alternativa de gestão ótima = revolução de 50 anos,
segundo os nós 0, 2, 4, 6

#4. Desbaste de um povoamento – Rotação fixa

■ Critérios econômicos:

$$VAL (NPV) = \sum_{n=0}^t Rn(1+i)^{t-n} - \sum_{n=0}^t Cn(1+i)^{t-n}$$

$$VET = \frac{NFV}{(1+i)^t - 1}$$

NFV = Receita líquida futura no final da primeira rotação (1º corte final)

Rn = Receitas recebidas no ano *n*

Cn = custos referentes ao ano *n*

t = comprimento da revolução em anos

n = ano específico de uma receita ou custo

i = taxa de desconto real

Outline:

|Tópico 4 Aula #8

□ Planeamento da gestão de povoamentos puros e regulares

- Rede Programação Dinâmica: Soluções óptimas de gestão
- Exercícios de aplicação :

#6. Desenhar a rede de Programação Dinâmica

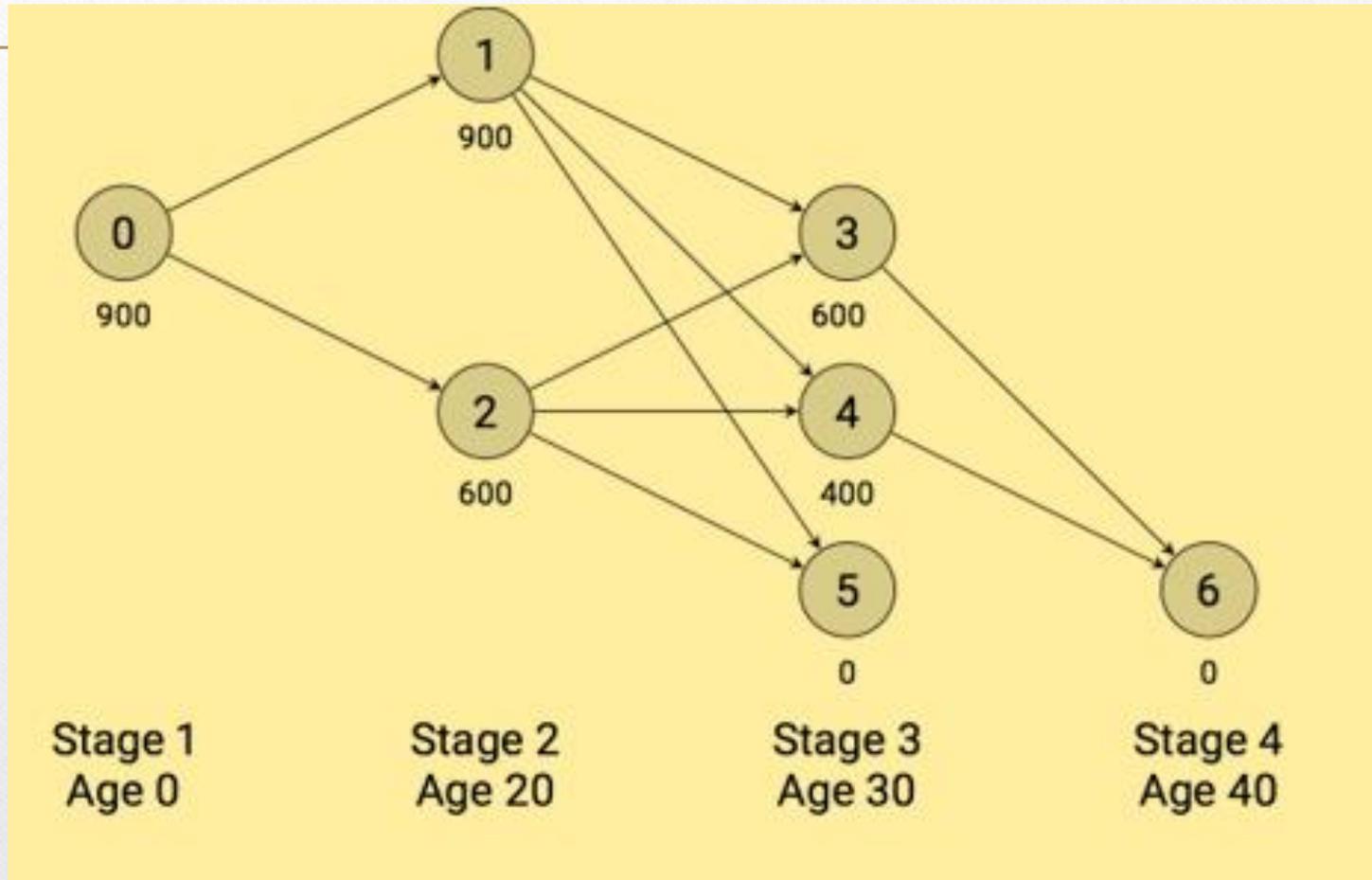
#7. Desbaste de um povoamento com recurso rotação variável

- Recursão direta (Forward)
- Aplicação da PD na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular

#6. Desenhar a rede PD

- Um proprietário deseja decidir a gestão ideal de uma floresta de 10 anos com 900 árvores por hectare. Para isso, ele decidiu usar a programação dinâmica, mas primeiro precisa criar a rede correspondente com base nas seguintes instruções:
 - A densidade do povoamento aos 20 anos será (1) 600 árvores ha^{-1} ou (2) 900 árvores ha^{-1} .
 - A densidade do povoamento aos 30 anos será (1) 600 hastes ha^{-1} , (2) 400 árvores ha^{-1} ou (3) 0 árvores ha^{-1} (corte).
 - A densidade do povoamento aos 40 anos será 0 árvores ha^{-1} (corte, apenas para os casos em que o corte não foi aplicado aos 30 anos).

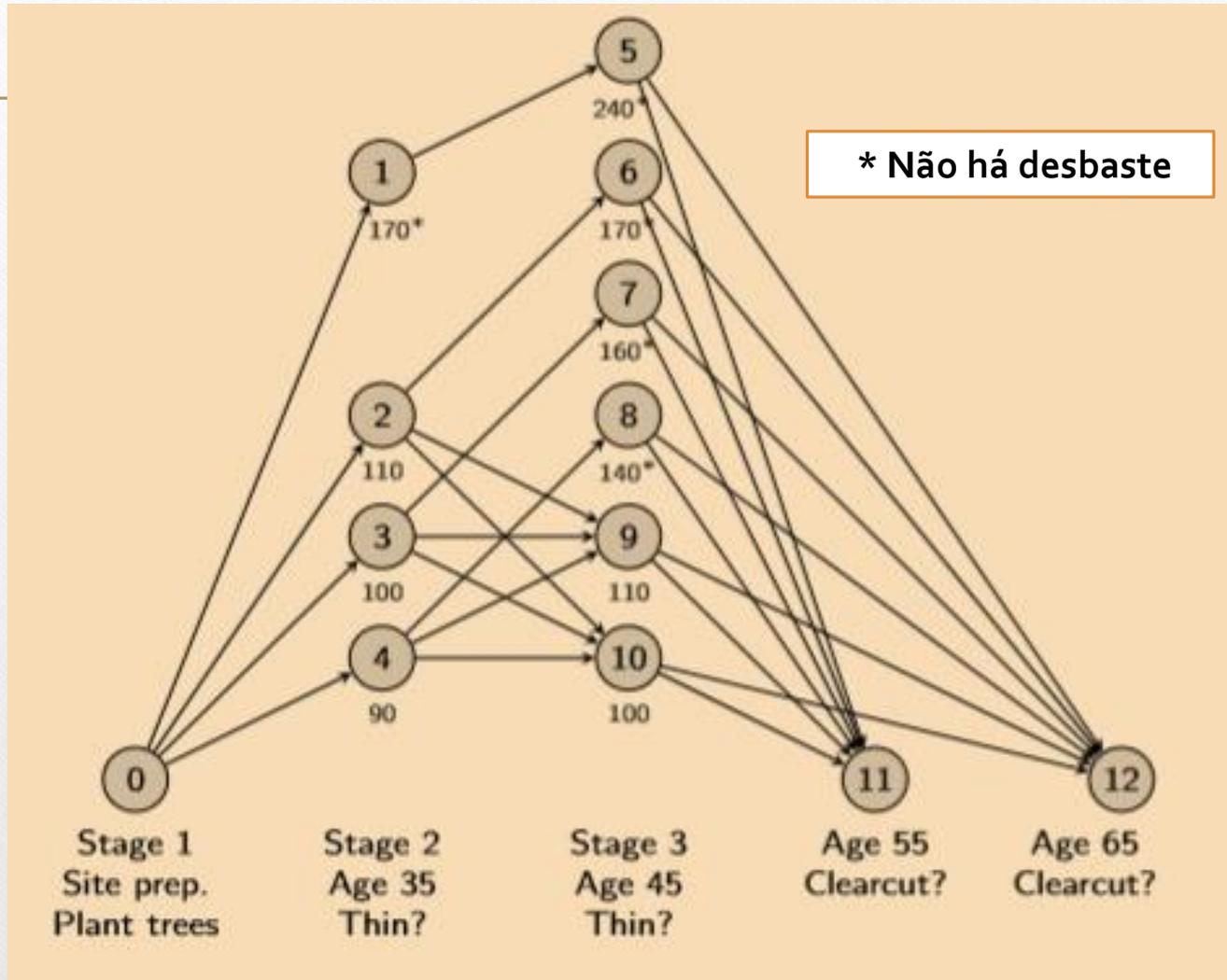
#6. Desenhar a rede PD



#7. Gestão florestal com rotação variável

- O proprietário do exemplo #4 está a considerar a possibilidade de corte quando o povoamento tiver 65 anos, ou seja, variando R entre 55 e 65 anos
- O objetivo é avaliar o caminho ideal através da rede, mas neste caso teremos dois nós finais :
- 55 e 65 anos → o caminho ideal também indicará neste caso quando é ideal cortar

#7. Gestão florestal com rotação variável



* Não há desbaste

#7. Gestão florestal com rotação variável

- Extensão para corte aos 65 anos

| From-node | To-node | Volume harvested | Revenues | $r_{i \rightarrow j}$ |
|-----------|---------|------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 12 | 50.625 | 20250 | 849.42 |
| 6 | 12 | 43.236 | 17294.4 | 725.44 |
| 7 | 12 | 38.471 | 15388.4 | 645.49 |
| 8 | 12 | 34.612 | 13844.8 | 580.74 |
| 9 | 12 | 27.851 | 11140.4 | 467.30 |
| 10 | 12 | 25.692 | 10276.8 | 431.08 |

#7. Gestão florestal com rotação variável

- Como comparar quando temos diferentes rotações ?

- Valor Esperado da Terra (VET)
- Converter o Valor Atual Líquido (VAL) num valor futuro no final de cada rotação

$$LEV = \frac{NPV (1 + i)^R}{(1 + i)^R - 1} = \frac{NPV}{1 - \frac{1}{(1 + i)^R}}$$

$$NPV = \sum_{t=0}^R \frac{I_t - C_t}{(1 + i)^t}$$

|Tópico 4 Aula #9 e#10

□ Planeamento da gestão de povoamentos puros e regulares

- Determinação da alternativa de gestão ótima - Demonstração: #8. Pinhal com 60 anos
- Aplicação da PD na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular, utilizando os dois métodos considerados na programação dinâmica : Recursivo direto e recursivo inverso
- Ficha de exercício #6.
- Ficha de exercício#7.

- **Análise de decisão em povoamentos florestais com composição pura e estrutura regular**
-

Questões:

- Qual é o valor do povoamento?
- Como gerir o povoamento por forma a maximizar o valor da produção lenhosa? Outros valores?
- Qual é o custo em termos de produção lenhosa da selecção de outra alternativa de gestão?
- Qual a idade de corte final, qual o regime de desbastes e que modalidade de regeneração?

Definição do problema:

- Número de alternativas de gestão a considerar
- Informação necessária (funções de produção e de conservação, preços,...)

- **Análise de decisão em povoamentos florestais com composição pura e estrutura regular**

Revolução biológica (expl. absoluta) = **Idade correspondente a acréscimo médio anual máximo** ⇔ **Implica produção máxima**

Revoluções económicas (expl. financeiras):

1. **Maturidade financeira** = Idade correspondente a Valor Atual máximo

- Crescimento em valor do povoamento = taxa de juro (custo de oportunidade do capital plantações)

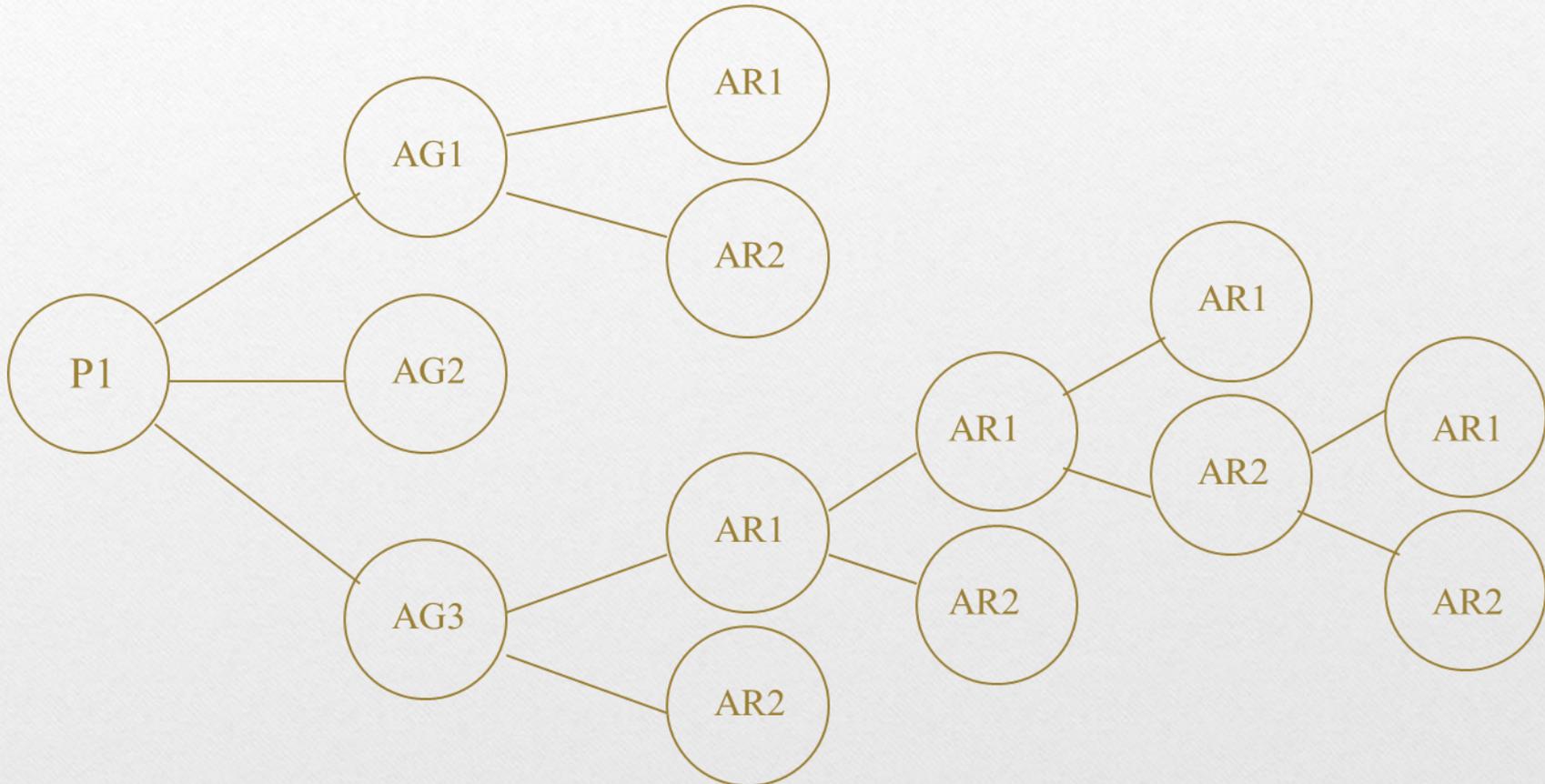
2. **Considerando o valor do solo** = Idade correspondente a Valor Atual máximo considerando um horizonte de planeamento que se estende à perpetuidade

- (inclui custos de oportunidade capitais terra e plantações)

☐ Análise de decisão em povoamentos florestais com composição pura e estrutura regular

1. Cálculo do **valor atual** associado às alternativas de gestão para o povoamento existente (VA_i).
2. Cálculo do **valor do solo** associado às alternativas de gestão para revoluções futuras: S_j .
 - 2.1. Determinação do valor máximo do solo (alternativa de gestão a considerar para as revoluções futuras): $VMS = \text{MAX } S_j$
3. Cálculo do valor atual das prescrições para o povoamento fazendo o somatório $VA_i + VMS$. Não esquecer que VMS deve ser atualizado.
 - 3.1. Determinação do $\text{MAX } VA_i + VMS$ (atualizado) - **a alternativa de gestão óptima**

- Análise de decisão em povoamentos florestais com composição pura e estrutura regular



Alternativa de gestão: para ocupação actual (AG) e para a regeneração (AR)

Exemplo#8. Pinhal com 60 anos

$$i = 4\%$$

Alternativa 1 (AG1)

| Ano | Actividade | RL (€/ha) | K80 |
|-----|-------------|-----------|------|
| 0 | Regeneração | -14 | -323 |
| 20 | Desbaste | 40 | 288 |
| 40 | Desbaste | 249 | 1195 |
| 80 | Corte final | 651 | 651 |

$$VA1 (AG1) = 651 / (1+i)^{20} = 297$$

$$VA2 (AG2) = 456$$

$$S1 = (-323 + 288 + 1195 + 651) / ((1+i)^{80} - 1) = 82$$

$$S2 = (-323 + 288 + 1195 + 456) / ((1+i)^{60} - 1) = 170 \gg VMS$$

Alternativa 2 (AG2)

| Ano | Actividade | RL (€/ha) | K60 |
|-----|-------------|-----------|------|
| 0 | Regeneração | -14 | -323 |
| 20 | Desbaste | 40 | 288 |
| 40 | Desbaste | 249 | 1195 |
| 60 | Corte final | 456 | 456 |

Alternativa de gestão óptima

$$A1 = VA1 + VMS / (1+i)^{20} = 297 + 78 = 375$$

$$A2 = VA2 + VMS = 456 + 170 = 626$$

Ficha de Exercício #6

- Aplicação da programação dinâmica na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular

Considere o problema caracterizado pelo seguinte:

- a) Idade mínima para desbaste: 40
- b) Volume máximo a sair em desbaste: 20
- c) Volume mínimo a sair em desbaste: 10
- d) Idade para o corte final: 40, 50 ou 60
- e) Volume residual mínimo depois de um desbaste: 30

f) Preço do material lenhoso é função da idade:

| Idade | Preço/u.v. |
|-------|------------|
| 40 | 32 |
| 50 | 48 |
| 60 | 64 |

g) Estados: intervalos de 10 u.v.

h) Estágios: idades de 0, 30, 40, 50 e 60 anos

i) Duas possibilidades de instalação do povoamento:

| Custo/ha | Volume/ha no ano 30 |
|----------|---------------------|
| 50 | 30 |
| 60 | 50 |

Ficha de Exercício #6.

- Aplicação da programação dinâmica na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular

j) $(1 + i)^{10} = 2$

l) Crescimento em volume em intervalos de 10 anos e definição das alternativas de gestão

| Volume | Idade | | |
|--------|-------|----|----|
| | 30 | 40 | 50 |
| 30 | 20 | 20 | 20 |
| 40 | 20 | 20 | 10 |
| 50 | 10 | 10 | 10 |
| 60 | 10 | 10 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 |

m) Método de solução com início no primeiro estágio

n) Método de solução com início no último estágio

Ficha de Exercício #6.

- Aplicação da programação dinâmica na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular

| Idade inicial | Volume inicial | Volume final | Custo actual | Volume antes do corte | Volume após o corte | Volume cortado | Preço actual | P*Vc-C |
|---------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------------|----------------|--------------|--------|
| 0 | 0 | 30 | 50 | | | | | -50 |
| 0 | 0 | 50 | 60 | | | | | -60 |
| 30 | 30 | 50 | | 50 | 50 | 0 | 32/16=2 | 0 |
| 30 | 30 | 40 | | 50 | 40 | 10 | 2 | 20 |
| 30 | 30 | 30 | | 50 | 30 | 20 | 2 | 40 |
| 30 | 30 | 0 | | 50 | 0 | 50 | 2 | 100 |
| 30 | 50 | 60 | | 60 | 60 | 0 | 2 | 0 |
| 30 | 50 | 50 | | 60 | 50 | 10 | 2 | 20 |
| 30 | 50 | 40 | | 60 | 40 | 20 | 2 | 40 |
| 30 | 50 | 0 | | 60 | 0 | 60 | 2 | 120 |
| 40 | 30 | 50 | | 50 | 50 | 0 | 48/32=1.5 | 0 |
| 40 | 30 | 40 | | 50 | 40 | 10 | 1.5 | 15 |
| 40 | 30 | 30 | | 50 | 30 | 20 | 1.5 | 30 |
| 40 | 30 | 0 | | 50 | 0 | 50 | 1.5 | 75 |
| 40 | 40 | 60 | | 60 | 60 | 0 | 1.5 | 0 |
| 40 | 40 | 50 | | 60 | 50 | 10 | 1.5 | 15 |
| 40 | 40 | 40 | | 60 | 40 | 20 | 1.5 | 30 |
| 40 | 40 | 0 | | 60 | 0 | 60 | 1.5 | 90 |
| 40 | 50 | 60 | | 60 | 60 | 0 | 1.5 | 0 |
| 40 | 50 | 50 | | 60 | 50 | 10 | 1.5 | 15 |
| 40 | 50 | 40 | | 60 | 40 | 20 | 1.5 | 30 |
| 40 | 50 | 0 | | 60 | 0 | 60 | 1.5 | 90 |
| 40 | 60 | 70 | | 70 | 70 | 0 | 1.5 | 0 |
| 40 | 60 | 60 | | 70 | 60 | 10 | 1.5 | 15 |
| 40 | 60 | 50 | | 70 | 50 | 20 | 1.5 | 30 |
| 40 | 60 | 0 | | 70 | 0 | 70 | 1.5 | 105 |
| 50 | 30 | 0 | | 50 | 0 | 50 | 64/64=1 | 50 |
| 50 | 40 | 0 | | 50 | 0 | 50 | 1 | 50 |
| 50 | 50 | 0 | | 60 | 0 | 60 | 1 | 60 |
| 50 | 60 | 0 | | 60 | 0 | 60 | 1 | 60 |
| 50 | 70 | 0 | | 70 | 0 | 70 | 1 | 70 |

Ficha de Exercício #7

- Aplicação da programação dinâmica na definição da alternativa de gestão ótima de um povoamento com composição pura e com estrutura regular
- Deve resolver este problema de otimização da gestão de um povoamento utilizando os dois métodos considerados na programação dinâmica: processo de solução iniciado no primeiro estágio ("forward method") e iniciado no último estágio ("backward method"). Utilize o conjunto de preços indicado.

| Idade | Área basal | Opção | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 30 | 80-100 | 32 | 48 | 48 | 40 | 64 | 48 | 72 | 70 | 44 | 36 | 56 | 60 | 52 | 70 | 44 | 66 |
| 30 | 101-120 | 32 | 48 | 48 | 40 | 64 | 48 | 64 | 62 | 44 | 36 | 56 | 60 | 56 | 60 | 44 | 66 |
| 30 | 120+ | 40 | 48 | 64 | 48 | 72 | 56 | 64 | 62 | 52 | 44 | 56 | 70 | 62 | 60 | 52 | 70 |
| 40 | 80-100 | 56 | 80 | 72 | 48 | 80 | 96 | 104 | 100 | 92 | 60 | 88 | 100 | 76 | 100 | 52 | 82 |
| 40 | 101-120 | 48 | 72 | 64 | 48 | 80 | 96 | 104 | 100 | 92 | 52 | 80 | 100 | 76 | 100 | 52 | 82 |
| 40 | 120+ | 48 | 64 | 64 | 48 | 80 | 80 | 96 | 90 | 86 | 52 | 72 | 92 | 76 | 96 | 52 | 82 |
| 50 | 80-100 | 80 | 144 | 128 | 96 | 144 | 136 | 144 | 140 | 132 | 84 | 144 | 140 | 92 | 142 | 100 | 138 |
| 50 | 101-120 | 72 | 120 | 120 | 88 | 128 | 128 | 136 | 132 | 124 | 76 | 126 | 132 | 90 | 138 | 90 | 122 |
| 50 | 120+ | 64 | 112 | 116 | 88 | 120 | 104 | 128 | 124 | 100 | 68 | 118 | 124 | 90 | 130 | 90 | 114 |
| 60 | 80-100 | 96 | 192 | 128 | 128 | 160 | 160 | 160 | 156 | 156 | 100 | 190 | 158 | 124 | 160 | 130 | 160 |
| 60 | 101-120 | 96 | 192 | 128 | 128 | 160 | 160 | 160 | 156 | 156 | 100 | 190 | 158 | 124 | 160 | 130 | 160 |
| 60 | 120+ | 96 | 192 | 128 | 128 | 160 | 160 | 160 | 156 | 156 | 100 | 190 | 158 | 124 | 160 | 130 | 160 |

- Preço da madeira: opção 5
- Preço da terra: 1920/ha

❑ Material e exercícios preparados com base na bibliografia:

- Bettinger, P, K Boston, J. Siry, and D. Grebner (2009). Forest management and planning. San Diego, CA.
- Borges, J. G., L. Diaz-Balteiro, M. E. McDill, and L. C. Rodriguez (2014). The Management of Industrial Forest Plantations. Ed. by J. G. Borges, L. Diaz-Balteiro, M. E. McDill, and L. C. Rodriguez. Vol. 33. Managing Forest Ecosystems. Dordrecht: Springer, p. 543.
- Buongiorno, J. and J. K. Gilless (2003). Decision methods for forest resource management. Academic Press, p. 439.
- Clutter, J., J. Fortson, L. Pienaar, G. Brister, and R. Bailey (1983). Timber management: a quantitative approach. Colorado: Wiley & Sons, p. 333.
- Davis, L. S., K. N. Johnson, P. S. Bettinger, and T. E. Howard (2001). Forest management. New York: McGraw-Hill, p. 804.

Atendimento

Envie um email para bbotequim@isa.ulisboa.pt
com sugestões de horários/dias

O meu gabinete fica no **Forchange 0.12**, DRAT (CEF).