

# Inteligência Artificial – ACH2016

## Aula 07 – Problemas de Satisfação de Restrições II

Norton Trevisan Roman  
(norton@usp.br)

21 de março de 2019

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:
  - Valores restantes mínimos

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:
  - Valores restantes mínimos
  - Grau

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:
  - Valores restantes mínimos
  - Grau
  - Valor Menos Restritivo

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:

- Valores restantes mínimos
- Grau
- Valor Menos Restritivo



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

- Suponha que temos o mesmo problema de coloração

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:

- Valores restantes mínimos
- Grau
- Valor Menos Restritivo



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

- Suponha que temos o mesmo problema de coloração
- Mas com restrições adicionais:

# Backtracking Search – Exemplo

## Busca + *forward checking* + heurísticas

- Vamos ver agora o algoritmo de busca retroativa com *forward checking*, usando as heurísticas:

- Valores restantes mínimos
- Grau
- Valor Menos Restritivo



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

- Suponha que temos o mesmo problema de coloração
- Mas com restrições adicionais:
  - NT e SA não aceitam azul



# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM:



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau:



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*
- De que cor?



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*
- De que cor?
  - VMR:



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*
- De que cor?
  - VMR: *vm* ou *vd*



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*
- De que cor?
  - VMR: *vm* ou *vd*
- Escolha:



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 1: Definir variável e seu valor

- Quem pintar?
  - VRM: *NT* ou *SA*
  - Grau: *SA*
- De que cor?
  - VMR: *vm* ou *vd*
- Escolha:
  - $SA = vm$



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 2: Propagar

- Propague essa escolha para os vizinhos do nó no grafo de restrição



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 2: Propagar

- Propague essa escolha para os vizinhos do nó no grafo de restrição



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Passo 2: Propagar

- Propague essa escolha para os vizinhos do nó no grafo de restrição
- Repita a operação



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
- VRM:



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
- VRM: *NT*



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *NT*
- De que cor?



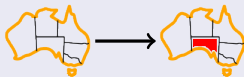
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *NT*
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *NT*
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:



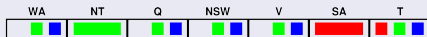
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *NT*
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:
  - $NT = vd$

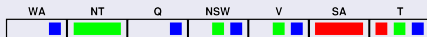


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *NT*
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:
  - $NT = vd$
- Propagar



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?



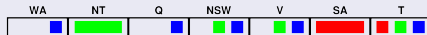
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

## Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
- VRM:



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.





# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q
  - Grau: Q (grau 1)



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q
  - Grau: Q (grau 1)
- De que cor?



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q
  - Grau: Q (grau 1)
- De que cor?
  - az (não há outra)



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q
  - Grau: Q (grau 1)
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:



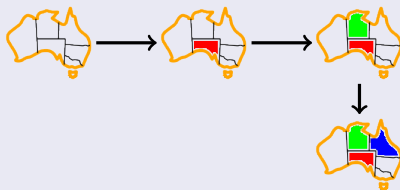
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou Q
  - Grau: Q (grau 1)
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:
  - $Q = az$

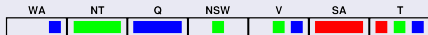
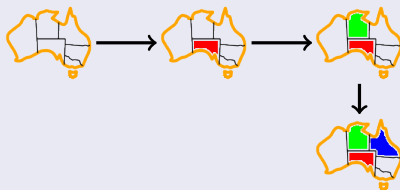


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

## Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM:  $WA$  ou  $Q$
  - Grau:  $Q$  (grau 1)
- De que cor?
  - $az$  (não há outra)
- Escolha:
  - $Q = az$
- Propagar

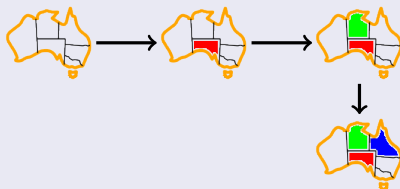


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

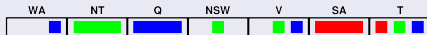
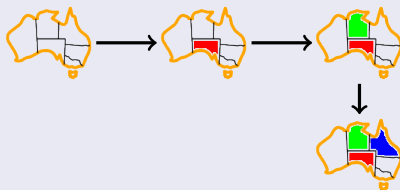
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
- VRM:



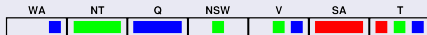
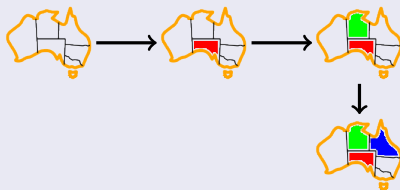
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



## Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau:



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)

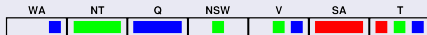


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)
- De que cor?

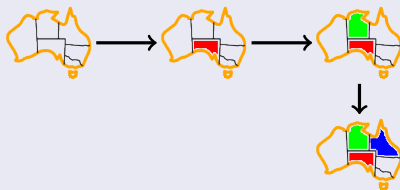


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)



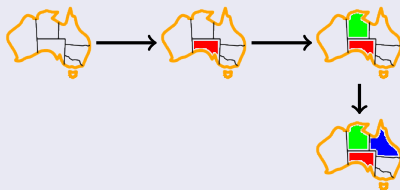
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:



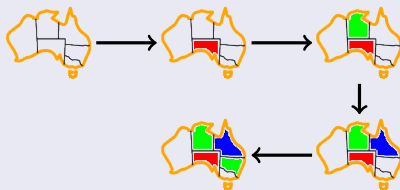
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:
  - *NSW = vd*



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

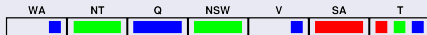
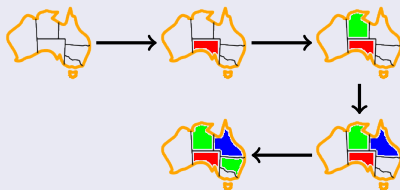
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: *WA* ou *NSW*
  - Grau: *NSW* (grau 1)
- De que cor?
  - *vd* (não há outra)
- Escolha:
  - *NSW = vd*
- Propagar

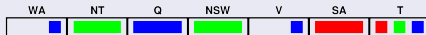
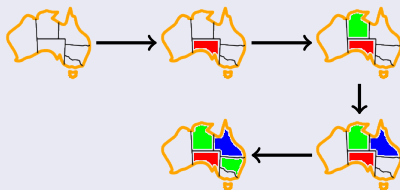


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

## Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?



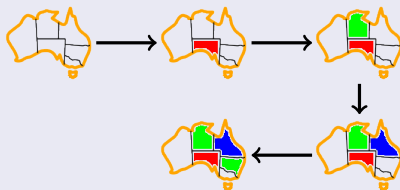
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V



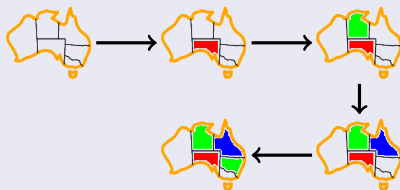
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau:



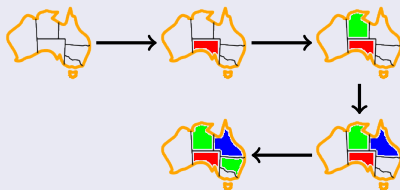
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA

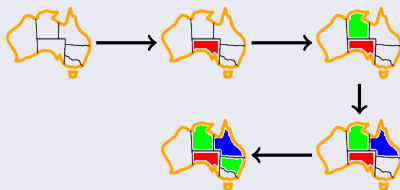


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA
- De que cor?

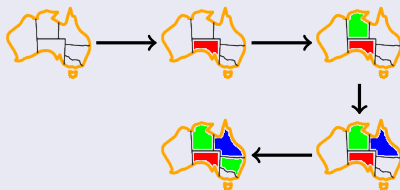


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA
- De que cor?
  - az (não há outra)



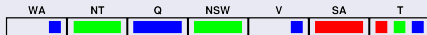
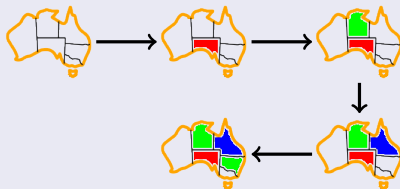
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:

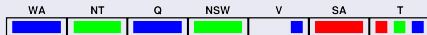
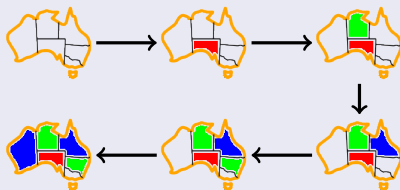


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:
  - WA = az

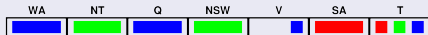
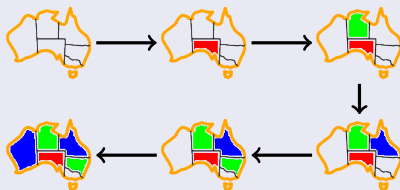


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: WA ou V
  - Grau: WA ou V  $\rightarrow$  WA
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:
  - WA = az
- Propagar

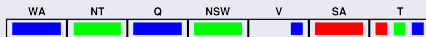
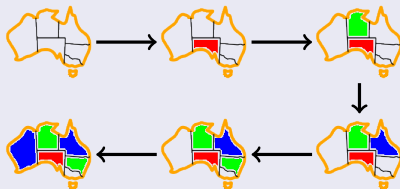


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?

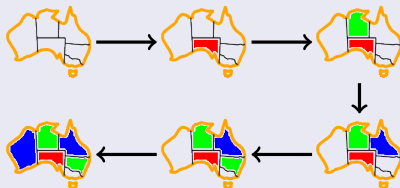


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
- VRM:



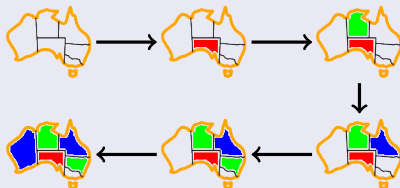
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V



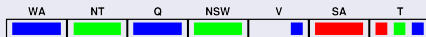
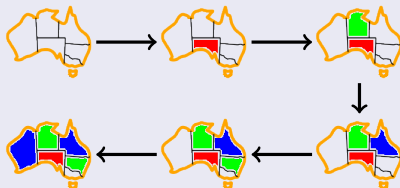
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V
- De que cor?

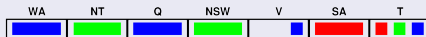
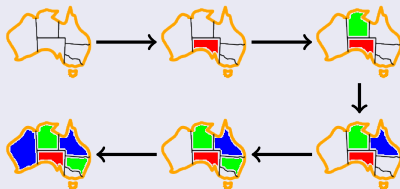


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V
- De que cor?
  - az (não há outra)



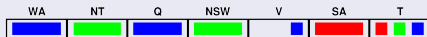
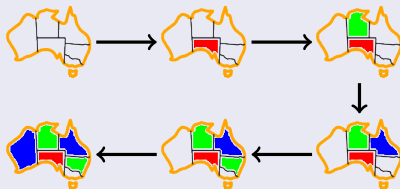
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:

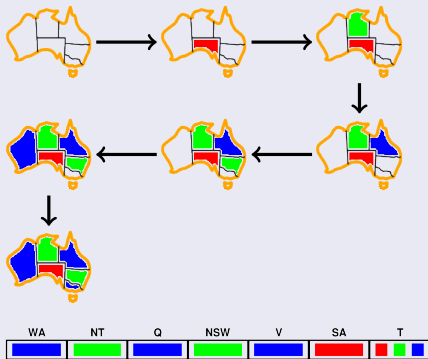


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:
  - $V = az$

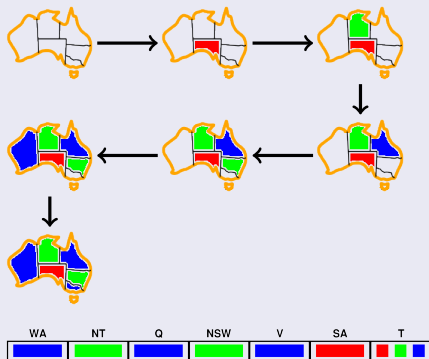


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Quem pintar?
  - VRM: V
- De que cor?
  - az (não há outra)
- Escolha:
  - $V = az$
- Propagar

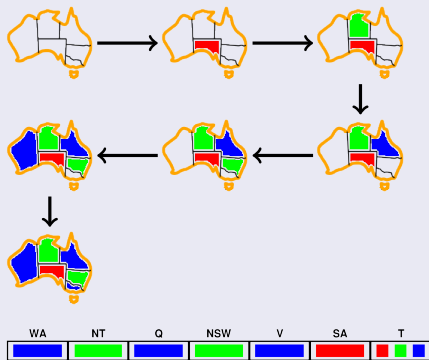


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Por fim, sobra apenas  $T$

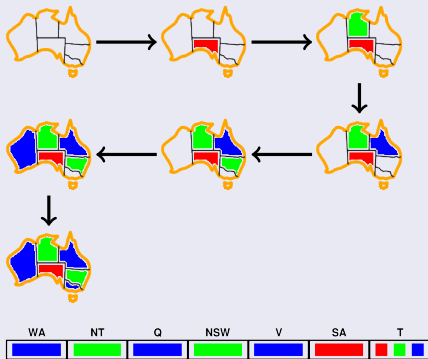


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search – Exemplo

## Definir variável e seu valor e propagar

- Por fim, sobra apenas  $T$
- Podemos dar qualquer cor a ela...



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou
  - Encontrar nó sem opções



# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou
  - Encontrar nó sem opções
- Nesse último caso:

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou
  - Encontrar nó sem opções
- Nesse último caso:
  - Volta ao nó pai (*backtracking*)

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou
  - Encontrar nó sem opções
- Nesse último caso:
  - Volta ao nó pai (*backtracking*)
  - Escolhe outro valor para a variável problemática

# Backtracking Search

## Em suma...

- O processo é repetido até:
  - Terminar o grafo, ou
  - Encontrar nó sem opções
- Nesse último caso:
  - Volta ao nó pai (*backtracking*)
  - Escolhe outro valor para a variável problemática
  - Se não houver outro valor, volta ao pai e repete o procedimento

# Forward Checking

## Vantagens

- Reduz o número de valores considerados em cada variável ainda sem valor

# Forward Checking

## Vantagens

- Reduz o número de valores considerados em cada variável ainda sem valor
- Bastante eficiente se usada com a heurística dos valores restantes mínimos

# Forward Checking

## Vantagens

- Reduz o número de valores considerados em cada variável ainda sem valor
- Bastante eficiente se usada com a heurística dos valores restantes mínimos

## Desvantagem

- Embora propague a informação das variáveis com atribuição para as sem atribuição, *forward checking* não consegue detectar todas as falhas de antemão

# Forward Checking

## Desvantagem – Exemplo

- Considere a aplicação pura do *forward checking*, conforme vista na aula passada



# Forward Checking

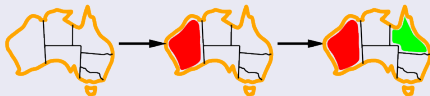
## Desvantagem – Exemplo

- Considere a aplicação pura do *forward checking*, conforme vista na aula passada
  - Ou seja, sua aplicação sem a ajuda das heurísticas vistas

# Forward Checking

## Desvantagem – Exemplo

- Considere a aplicação pura do *forward checking*, conforme vista na aula passada
- Ou seja, sua aplicação sem a ajuda das heurísticas vistas



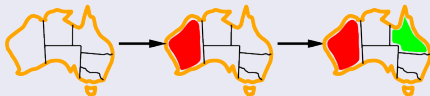
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Forward Checking

## Desvantagem – Exemplo

- Quando  $WA = vm$  e  $Q = vd$ ,  $NT$  e  $SA$  são forçados a serem azuis. *Forward checking* não olha adiante o suficiente para ver essa inconsistência



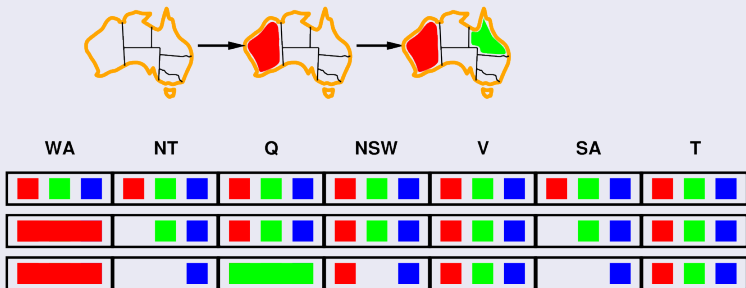
WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Forward Checking

## Desvantagem – Exemplo

- Solução:

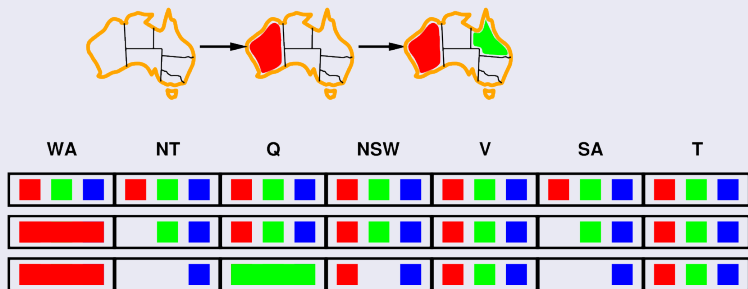


Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Forward Checking

## Desvantagem – Exemplo

- Solução:
- **Consistência de Arestas** (*Arc Consistency*)



Fonte: Slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Arestas Consistentes

- Uma aresta  $X \rightarrow Y$  será consistente se e somente se, para **todo** valor  $x \in X$ , houver **algum** valor  $y \in Y$  permitido

# Consistência de Arestas

## Arestas Consistentes

- Uma aresta  $X \rightarrow Y$  será consistente se e somente se, para **todo** valor  $x \in X$ , houver **algum** valor  $y \in Y$  permitido

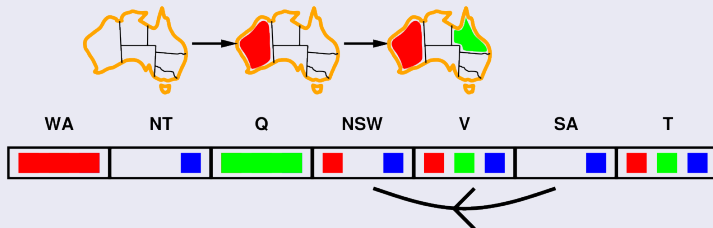
## Consistência de Arestas

- A ideia da consistência de arestas é, a cada decisão, tornar cada aresta do grafo consistente

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Se  $SA = az$ , há um valor consistente para  $NSW$  (vermelho)



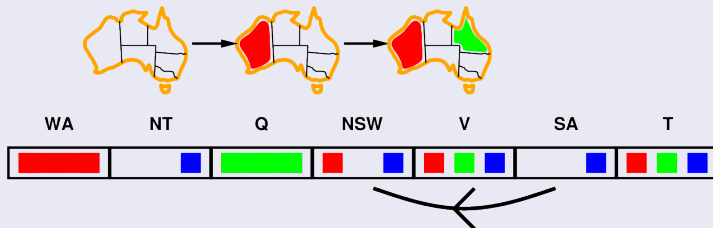
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Se  $SA = az$ , há um valor consistente para  $NSW$  (vermelho)
- $SA \rightarrow NSW$  é consistente

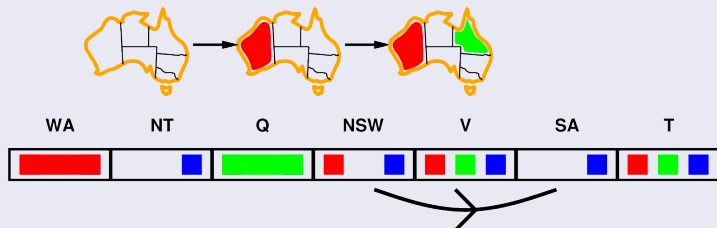


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Contudo, nem todo valor de *NSW* tem valor válido em *SA*

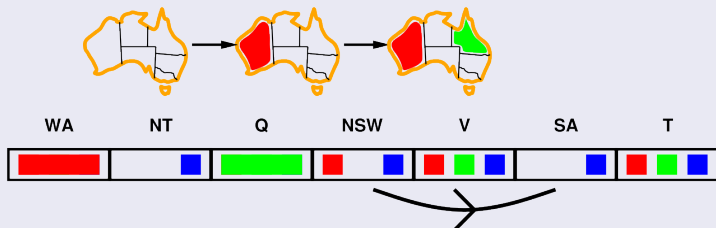


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Contudo, nem todo valor de *NSW* tem valor válido em *SA*
- Se *NSW* = *az*, não há valor válido para *SA*

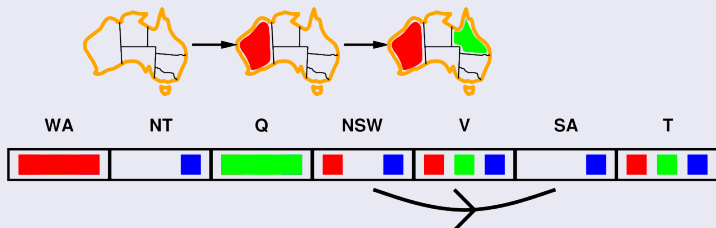


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Contudo, nem todo valor de *NSW* tem valor válido em *SA*
- Se *NSW* = *az*, não há valor válido para *SA*
- *NSW*  $\rightarrow$  *SA* não é consistente

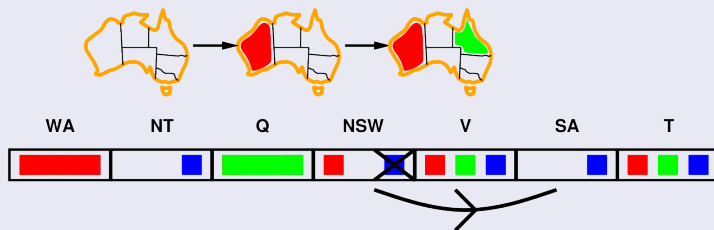


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Podemos tornar a aresta  $NSW \rightarrow SA$  consistente removendo o valor azul do domínio de  $NSW$

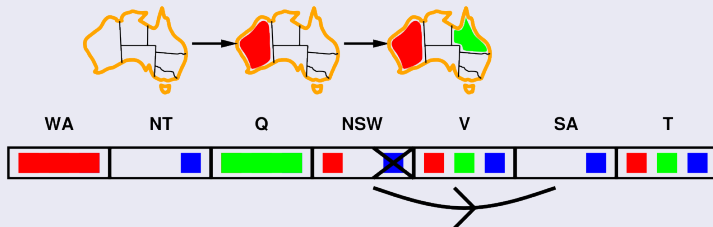


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Isso, no entanto, pode ter gerado inconsistências com os vizinhos de *NSW*

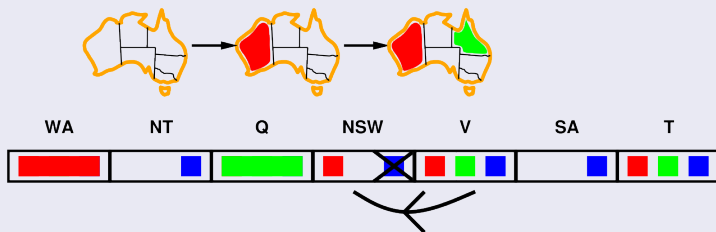


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Isso, no entanto, pode ter gerado inconsistências com os vizinhos de *NSW*
- Não há valor válido em *NSW* para  $V = vm$

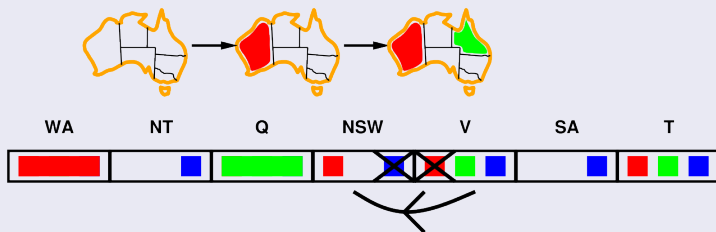


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Isso, no entanto, pode ter gerado inconsistências com os vizinhos de *NSW*
- Não há valor válido em *NSW* para  $V = vm$
- Repetimos então o processo



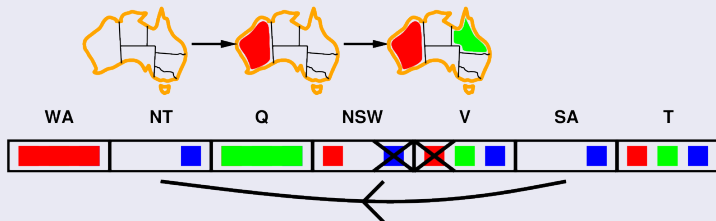
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Continuando de outra aresta (no mesmo passo da busca):

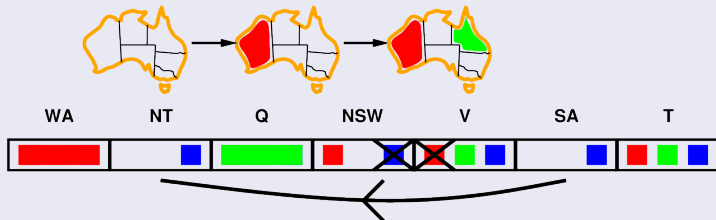


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Continuando de outra aresta (no mesmo passo da busca):
  - Azul deve ser apagado ou de *SA* ou de *NT* → domínio vazio

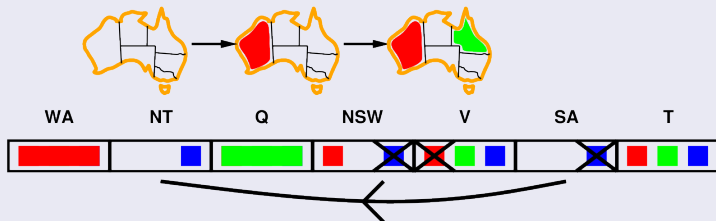


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Continuando de outra aresta (no mesmo passo da busca):
  - Azul deve ser apagado ou de *SA* ou de *NT* → domínio vazio

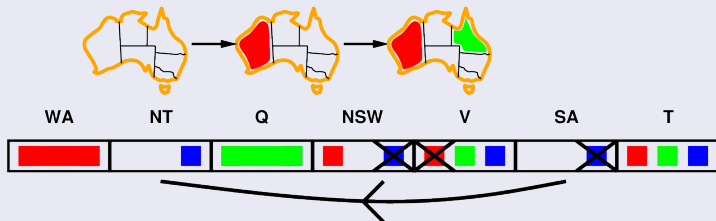


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Funcionamento – Exemplo

- Continuando de outra aresta (no mesmo passo da busca):
  - Azul deve ser apagado ou de *SA* ou de *NT* → domínio vazio
  - Repetimos até tratarmos todas as possíveis inconsistências

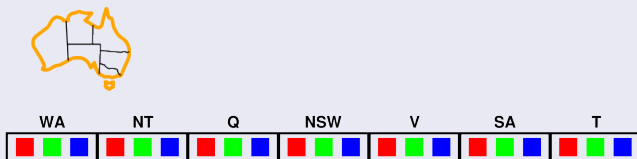


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada

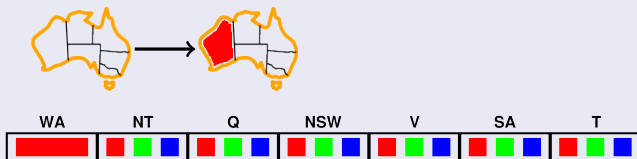


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável

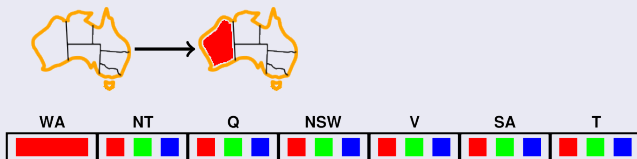


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

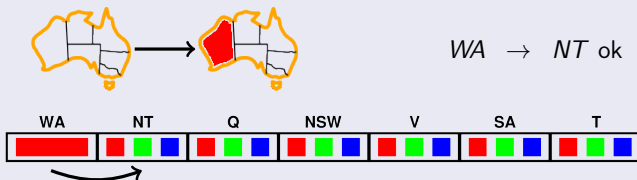


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



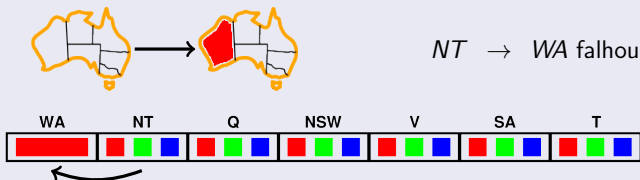
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

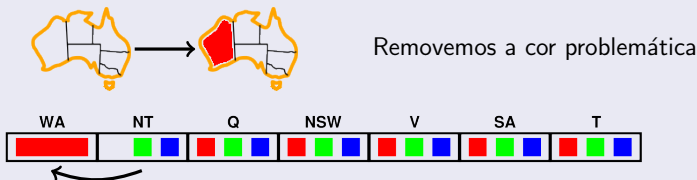


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

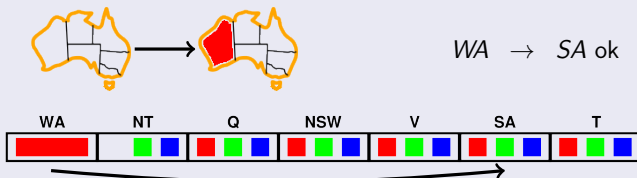


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

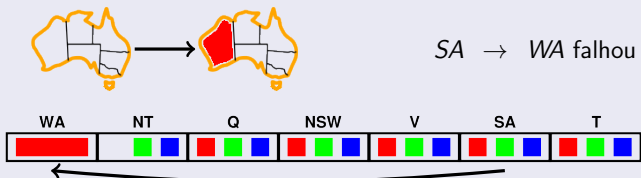


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

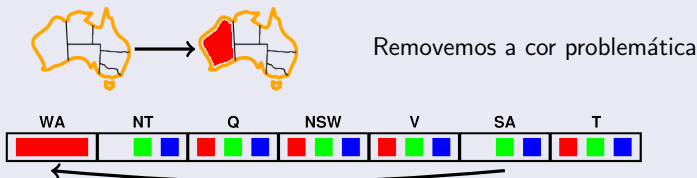


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

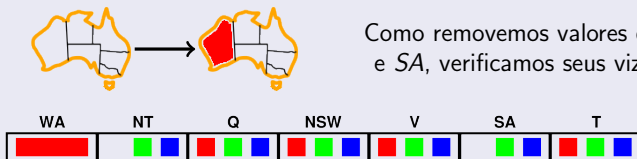


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

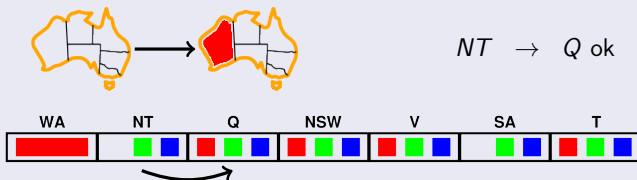


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

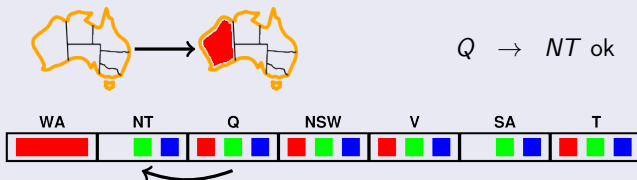


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



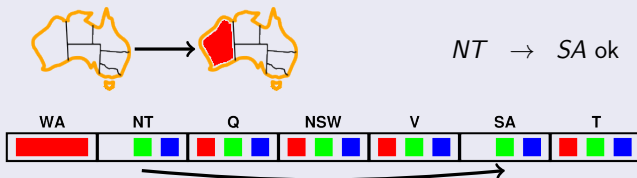
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

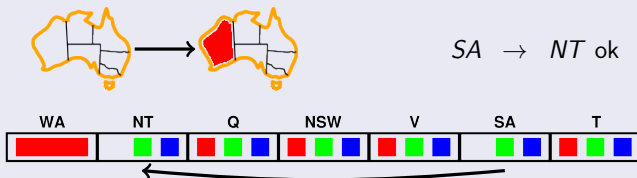


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

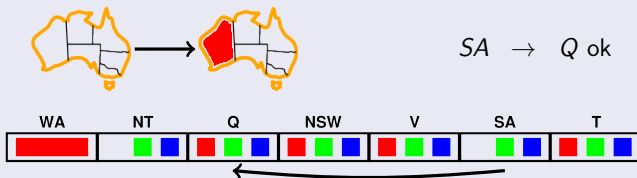


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

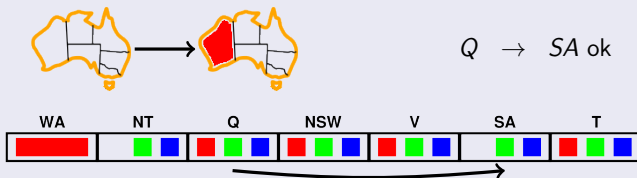


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

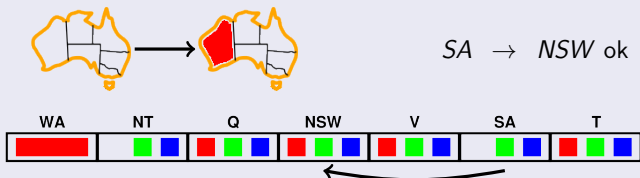


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

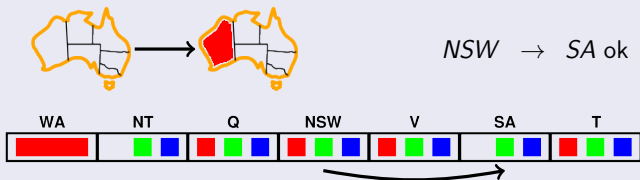


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

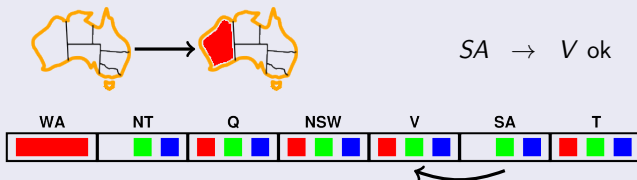


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

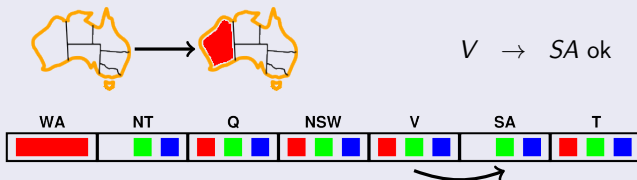


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



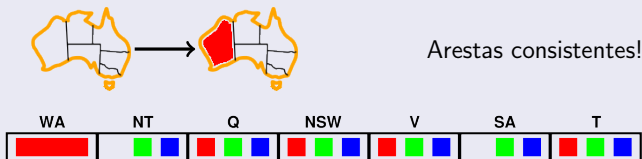
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Voltemos ao exemplo da aula passada
- Definimos a cor da primeira variável
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

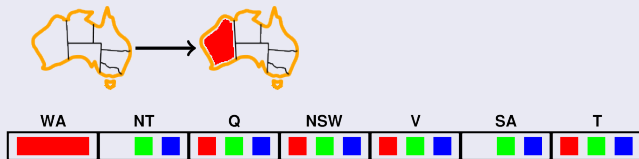


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor

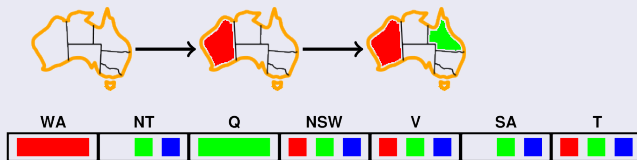


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$

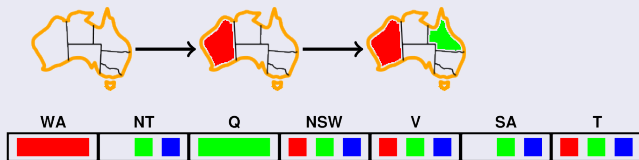


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

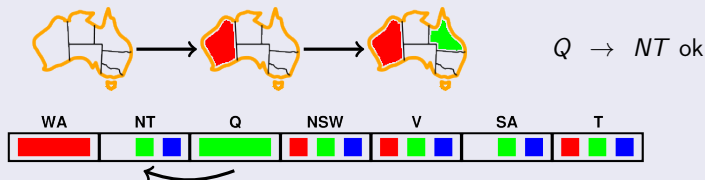


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

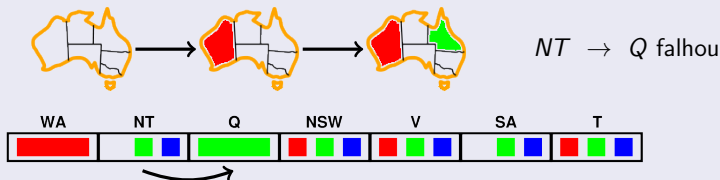


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

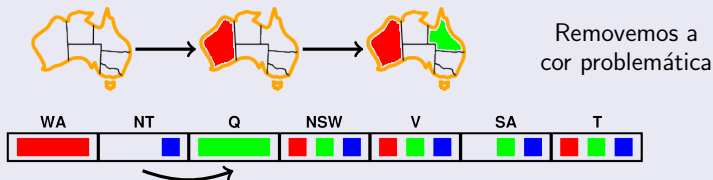


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

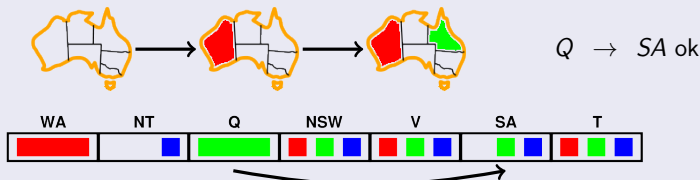


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



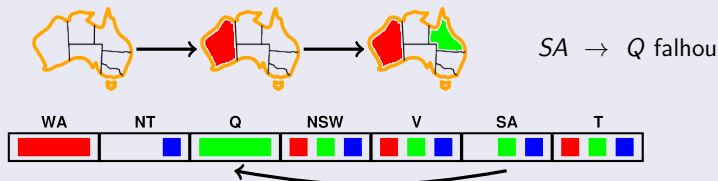
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

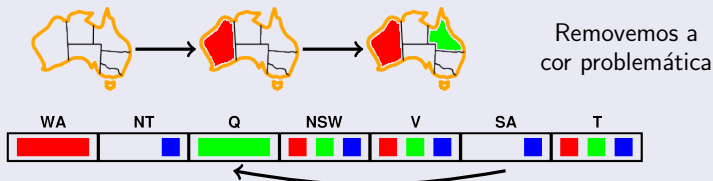


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

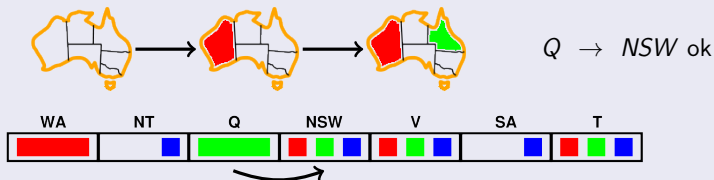


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

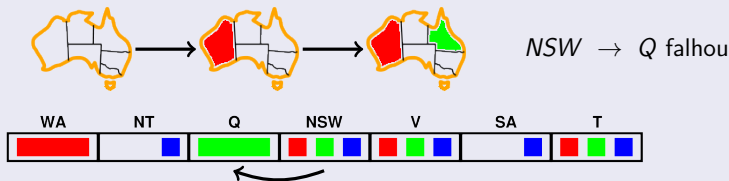


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

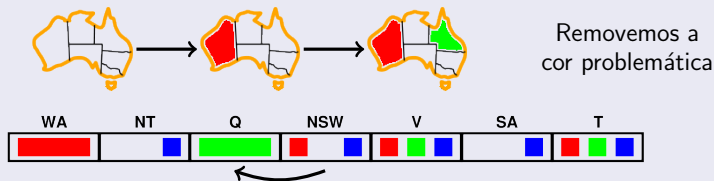


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

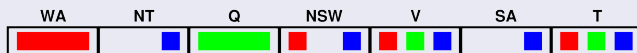
# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



Como removemos valores de NT, SA e NSW, verificamos seus vizinhos

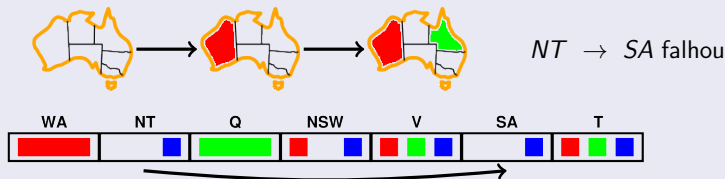


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências

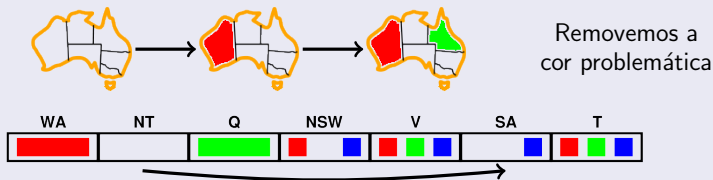


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



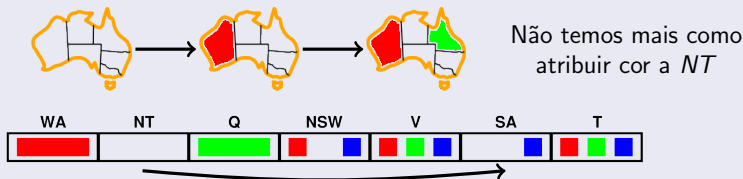
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# B.S. com Consistência de Arestas

## Exemplo (sem heurísticas)

- Definimos a próxima variável e sua cor
  - $Q = vd$
- Verificamos as arestas, removendo cores que geram inconsistências



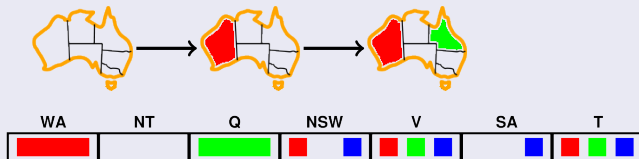
Teremos que voltar e atribuir outra cor a Q

WA	NT	Q	NSW	V	SA	T
Red	Green, Blue	Blue	Red, Green, Blue	Red, Green, Blue	Green, Blue	Red, Green, Blue

Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

## Consistência $\times$ *Forward Checking*

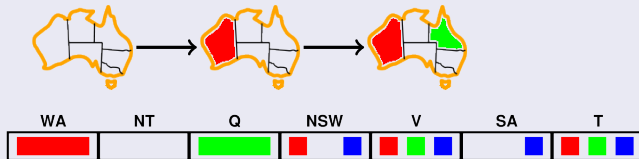
- Note que a inconsistência foi notada antes de escolhermos uma nova variável



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

## Consistência $\times$ *Forward Checking*

- Note que a inconsistência foi notada antes de escolhermos uma nova variável
- forward checking* falha somente após escolhermos a próxima variável ( $V = az$ )



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** AC-3( $csp, X_i$ ): **boolean**

$f \leftarrow$  fila das arestas ligadas a  $X_i$

**enquanto**  $f$  não vazia **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  em  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

                Adicione  $(X_k, X_i)$  a  $f$

**retorna**  $V$

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função AC-3(*csp*,  $X_i$ ): boolean**

$f \leftarrow$  fila das arestas ligadas a  $X_i$

**enquanto**  $f$  não vazia **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  em  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

            Adicione  $(X_k, X_i)$  a  $f$

**retorna**  $V$

Grafo do problema

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função AC-3(*csp*,  $X_i$ ): boolean**

$f \leftarrow$  fila das arestas ligadas a  $X_i$

**enquanto**  $f$  não vazia **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  em  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

            Adicione  $(X_k, X_i)$  a  $f$

**retorna**  $V$

Nó a partir do qual  
iniciamos o algoritmo

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** AC-3( $csp, X_i$ ): **boolean**

$f \leftarrow$  fila das arestas ligadas a  $X_i$

**enquanto**  $f$  não vazia **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  em  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

            Adicione  $(X_k, X_i)$  a  $f$

**retorna**  $V$

Retorna F se alguma variável terminar sem opção de valores (inconsistência). Caso contrário, retorna V



# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** AC-3( $csp, X_i$ ): **boolean**

$f \leftarrow$  **fila das arestas ligadas a  $X_i$**

**enquanto**  $f$  *não vazia* **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  **em**  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

**Adicione**  $(X_k, X_i)$  **a**  $f$

**retorna**  $V$

Se o grafo for bidirecional,  
isso significa as arestas  
 $(X_i, X_j)$  e  $(X_j, X_i)$ , para  
todo  $X_j$  vizinho de  $X_i$

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** AC-3( $csp, X_i$ ): **boolean**

$f \leftarrow$  fila das arestas ligadas a  $X_i$

**enquanto**  $f$  não vazia **faça**

$(X_i, X_j) \leftarrow \text{REMOVE\_PRIMEIRA}(f)$

**se**  $\text{REVISAR}(csp, X_i, X_j)$  **então**

**se**  $\text{DOMÍNIO}(X_i) = \emptyset$  **então**

**retorna**  $F$

**para cada**  $X_k$  em  $\text{VIZINHOS}(X_i) - \{X_j\}$  **faça**

            Adicione  $(X_k, X_i)$  a  $f$

**retorna**  $V$

Indica se houve mudança  
em alguma variável,  
caso em que precisa-  
mos revisar as arestas

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** *REVISAR*(*csp*,  $X_i$ ,  $X_j$ ): **boolean**

*revisado*  $\leftarrow$  F

**para cada** valor  $x$  em  $DOMÍNIO(X_i)$  **faça**

**se** não houver valor  $y \in DOMÍNIO(X_j)$  que satisfaça a  
        restrição entre  $X_i$  e  $X_j$  **então**

            Apague  $x$  de  $DOMÍNIO(X_i)$

*revisado*  $\leftarrow$  V

**retorna** *revisado*

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** *REVISAR*(*csp*,  $X_i$ ,  $X_j$ ): **boolean**

*revisado*  $\leftarrow$  F

**para cada** valor  $x$  em  $DOMÍNIO(X_i)$  **faça**

**se** não houver valor  $y \in DOMÍNIO(X_j)$  que satisfaça a  
    restrição entre  $X_i$  e  $X_j$  **então**

        Apague  $x$  de  $DOMÍNIO(X_i)$

*revisado*  $\leftarrow$  V

**retorna** *revisado*

Trata somente  
da aresta  $(X_i, X_j)$

# Consistência de Arestas

## Algoritmo AC-3 (*Arc Consistency* - 3)

**Função** *REVISAR*(*csp*,  $X_i$ ,  $X_j$ ): **boolean**

*revisado*  $\leftarrow$  F

**para cada** valor  $x$  em  $DOMÍNIO(X_i)$  **faça**

**se** não houver valor  $y \in DOMÍNIO(X_j)$  que satisfaça a  
    restrição entre  $X_i$  e  $X_j$  **então**

        Apague  $x$  de  $DOMÍNIO(X_i)$

*revisado*  $\leftarrow$  V

**retorna** *revisado*

Retorna T somente  
se precisarmos re-  
visar o domínio de  $X_i$

# Consistência de Arestas

Onde utilizar

# Consistência de Arestas

## Onde utilizar

- Como um pré-processador do grafo, antes da busca

# Consistência de Arestas

## Onde utilizar

- Como um pré-processador do grafo, antes da busca
  - Nesse caso,  $f$  receberá todas as arestas do grafo, inicialmente



# Consistência de Arestas

## Onde utilizar

- Como um pré-processador do grafo, antes da busca
  - Nesse caso,  $f$  receberá todas as arestas do grafo, inicialmente
- A cada passo da busca

# Consistência de Arestas

## Onde utilizar

- Como um pré-processador do grafo, antes da busca
  - Nesse caso,  $f$  receberá todas as arestas do grafo, inicialmente
- A cada passo da busca
  - Após atribuírmos um valor a uma variável, como fizemos com o *forward checking*

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas

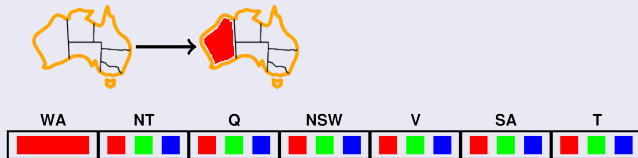


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas

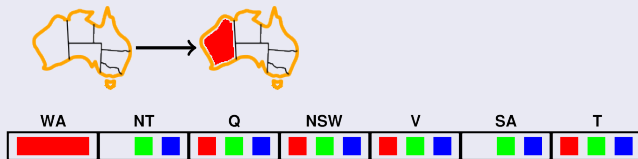


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas

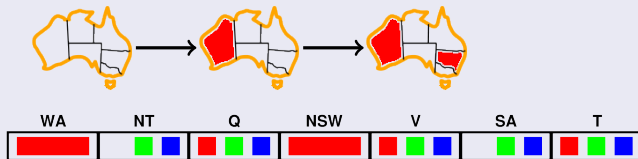


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas

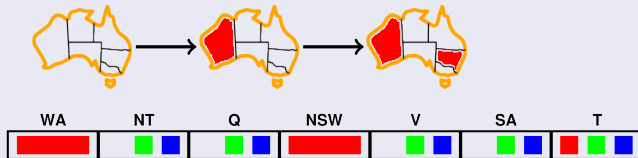


Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas



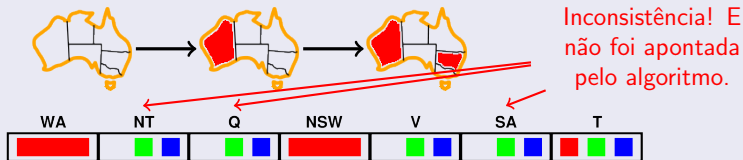
Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.



# Consistência de Arestas

## Problema

- Não necessariamente Consistência de Arestas aponta de antemão todas as possíveis inconsistências
- Ex: considere a sequência de escolhas



Fonte: Adaptado dos slides de AIMA. Russell & Norvig.

# Consistência de Arestas

*Forward Checking* × Consistência de Arestas

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente
  - Evita propagar as restrições no grafo todo

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente
  - Evita propagar as restrições no grafo todo
- Consistência de arestas:

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente
  - Evita propagar as restrições no grafo todo
- Consistência de arestas:
  - Propaga as restrições ao grafo como um todo



# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente
  - Evita propagar as restrições no grafo todo
- Consistência de arestas:
  - Propaga as restrições ao grafo como um todo
  - Detecta falhas antes do *forward checking*

# Consistência de Arestas

## *Forward Checking* × Consistência de Arestas

- *Forward checking*:
  - Propaga as restrições apenas aos vizinhos de variáveis com valor
  - Não é a técnica mais eficiente
  - Evita propagar as restrições no grafo todo
- Consistência de arestas:
  - Propaga as restrições ao grafo como um todo
  - Detecta falhas antes do *forward checking*
  - Não revela toda inconsistência possível

# Problemas de Solução de Restrições

## Metodologia Geral

# Problemas de Solução de Restrições

## Metodologia Geral

- Use busca retroativa para resolver o problema

# Problemas de Solução de Restrições

## Metodologia Geral

- Use busca retroativa para resolver o problema
- A cada passo da busca

# Problemas de Solução de Restrições

## Metodologia Geral

- Use busca retroativa para resolver o problema
- A cada passo da busca
  - Use um método de propagação de restrições para propagar os efeitos de cada tentativa de associação de valor a uma variável

# Problemas de Solução de Restrições

## Metodologia Geral

- Use busca retroativa para resolver o problema
- A cada passo da busca
  - Use um método de propagação de restrições para propagar os efeitos de cada tentativa de associação de valor a uma variável
  - *Forward checking* ou Consistência de arestas

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens



# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podem ser mais rápidos que uma busca tradicional

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podem ser mais rápidos que uma busca tradicional
  - Reduzem o número de ramos considerados na árvore original (com todas as possibilidades)

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podem ser mais rápidos que uma busca tradicional
  - Reduzem o número de ramos considerados na árvore original (com todas as possibilidades)
  - Ao dar valor a uma variável, podemos eliminar várias outras combinações que seriam tentadas por uma busca

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podem ser mais rápidos que uma busca tradicional
  - Reduzem o número de ramos considerados na árvore original (com todas as possibilidades)
  - Ao dar valor a uma variável, podemos eliminar várias outras combinações que seriam tentadas por uma busca
  - Uma vez que saibamos que uma associação parcial não é uma solução, podemos descartar refinamentos posteriores desta

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podemos ver por que uma associação parcial não é uma solução

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podemos ver por que uma associação parcial não é uma solução
  - Podemos ver que variáveis violam quais restrições

# Constraint Satisfaction Problems

## Vantagens

- Podemos ver por que uma associação parcial não é uma solução
  - Podemos ver que variáveis violam quais restrições
  - E assim focar nossa atenção nas variáveis que importam

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs



## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:
  - Cada nó é uma associação completa de variáveis

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:
  - Cada nó é uma associação completa de variáveis
    - Não necessariamente uma solução (pode haver conflitos)

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:
  - Cada nó é uma associação completa de variáveis
    - Não necessariamente uma solução (pode haver conflitos)
  - O estado inicial associa então um valor a cada variável

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:
  - Cada nó é uma associação completa de variáveis
    - Não necessariamente uma solução (pode haver conflitos)
  - O estado inicial associa então um valor a cada variável
    - Tipicamente, violando várias restrições

## Formulação

- Busca local (ex: Subida da encosta) pode ser usada com CSPs
- Nesse caso, usam uma formulação de estado completo para o problema:
  - Cada nó é uma associação completa de variáveis
    - Não necessariamente uma solução (pode haver conflitos)
  - O estado inicial associa então um valor a cada variável
    - Tipicamente, violando várias restrições
  - O objetivo da busca é eliminar as violações de restrições

## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:

## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:
- Seleciona aleatoriamente uma variável com conflitos (seleção de variável)



## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:
  - Seleciona aleatoriamente uma variável com conflitos (seleção de variável)
  - Atribui novo valor a ela

## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:
  - Seleciona aleatoriamente uma variável com conflitos (seleção de variável)
  - Atribui novo valor a ela
- A questão então é: que valor escolher para uma variável com conflitos?

## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:
  - Seleciona aleatoriamente uma variável com conflitos (seleção de variável)
  - Atribui novo valor a ela
- A questão então é: que valor escolher para uma variável com conflitos?
  - Aquele que resultar no menor número de conflitos com outras variáveis

## Formulação

- Para ir de um estado a outro, o algoritmo de busca muda o valor de uma variável de cada vez:
  - Seleciona aleatoriamente uma variável com conflitos (seleção de variável)
  - Atribui novo valor a ela
- A questão então é: que valor escolher para uma variável com conflitos?
  - Aquele que resultar no menor número de conflitos com outras variáveis
  - Heurística dos conflitos mínimos (*Min-Conflicts*)

## *Min-conflicts*

- Trata-se de uma subida da encosta

## *Min-conflicts*

- Trata-se de uma subida da encosta
  - Escolhe sempre o valor que viola o menor número de restrições

## *Min-conflicts*

- Trata-se de uma subida da encosta
  - Escolhe sempre o valor que viola o menor número de restrições
  - Se move em direção ao menor número de restrições violadas

## *Min-conflicts*

- Trata-se de uma subida da encosta
  - Escolhe sempre o valor que viola o menor número de restrições
  - Se move em direção ao menor número de restrições violadas
- Usada no Hubble para agendar uma semana de observações



## *Min-conflicts*

- Trata-se de uma subida da encosta
  - Escolhe sempre o valor que viola o menor número de restrições
  - Se move em direção ao menor número de restrições violadas
- Usada no Hubble para agendar uma semana de observações
  - Reduziu de 3 semanas para 10 minutos o tempo de agendamento

## *Min-conflicts* – Algoritmo

**Função** *MIN-CONFLICTS*(*csp*, *max*): **solução**

*atual*  $\leftarrow$  uma associação inicial completa para *csp*

**para** *i*=1 até *max* **faça**

**se** *atual* é solução para *csp* **então**

**retorna** *atual*

*var*  $\leftarrow$  escolha aleatoriamente uma variável com conflitos

*valor*  $\leftarrow$  escolha o valor para *var* que viola o menor número  
    de restrições com outras variáveis

    Faça *var*  $\leftarrow$  *valor* em *atual*

**retorna** *falha*

## Min-conflicts – Algoritmo

**Função** *MIN-CONFLICTS*(*csp*, *max*): **solução**

*atual*  $\leftarrow$  uma associação inicial completa para *csp*

**para** *i*=1 até *max* **faça**

**se** *atual* é solução para *csp* **então**

**retorna** *atual*

*var*  $\leftarrow$  escolha aleatoriamente uma variável com conflitos

*valor*  $\leftarrow$  escolha o valor para *var* que viola o menor número de restrições com outras variáveis

    Faça *var*  $\leftarrow$  *valor* em *atual*

**retorna** *falha*

Número máximo de passos  
antes de desistirmos

## Min-conflicts – Algoritmo

**Função** *MIN-CONFLICTS*(*csp*, *max*): **solução**

*atual*  $\leftarrow$  uma associação inicial completa para *csp*

**para** *i*=1 até *max* **faça**

**se** *atual* é solução para *csp* **então**

**retorna** *atual*

*var*  $\leftarrow$  escolha aleatoriamente uma variável com conflitos

*valor*  $\leftarrow$  escolha o valor para *var* que viola o menor número de restrições com outras variáveis

    Faça *var*  $\leftarrow$  *valor* em *atual*

**retorna** *falha*

Queremos introduzir o menor número de conflitos

## Min-conflicts – Algoritmo

**Função** *MIN-CONFLICTS*(*csp*, *max*): **solução**

*atual*  $\leftarrow$  uma associação inicial completa para *csp*

**para** *i*=1 até *max* **faça**

**se** *atual* é solução para *csp* **então**

**retorna** *atual*

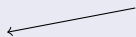
*var*  $\leftarrow$  escolha aleatoriamente uma variável com conflitos

*valor*  $\leftarrow$  escolha o valor para *var* que viola o menor número de restrições com outras variáveis

    Faça *var*  $\leftarrow$  *valor* em *atual*

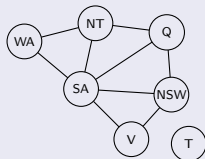
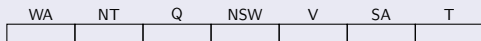
**retorna** *falha*

Se ainda não tiver  
uma associação válida,  
tente uma nova variável



# CSP – Busca Local

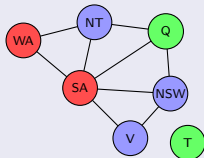
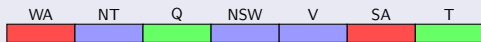
## *Min-conflicts* – Exemplo



# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

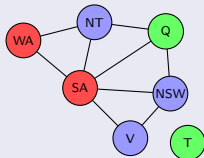
- Geramos um valor aleatório para as variáveis



# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

- Geramos um valor aleatório para as variáveis
- Verificamos quais estão em conflito

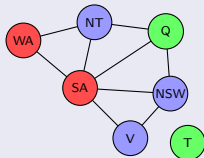




# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

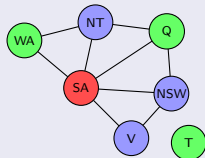
- Geramos um valor aleatório para as variáveis
- Verificamos quais estão em conflito
- Escolhemos uma variável conflitante (WA) e trocamos seu valor (pelo que gerar menos conflitos)



# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

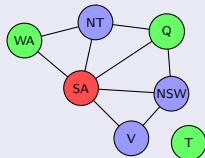
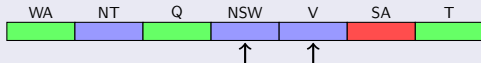
- Geramos um valor aleatório para as variáveis
- Verificamos quais estão em conflito
- Escolhemos uma variável conflitante (WA) e trocamos seu valor (pelo que gerar menos conflitos)



# CSP – Busca Local

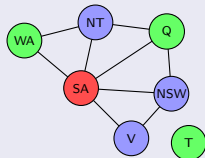
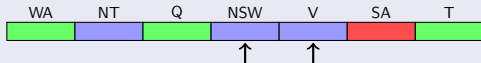
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos



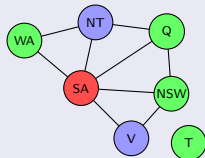
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (NSW) e trocamos seu valor



## *Min-conflicts* – Exemplo

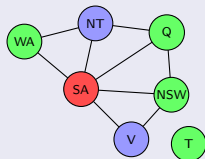
- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (NSW) e trocamos seu valor



# CSP – Busca Local

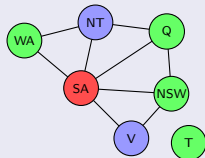
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos



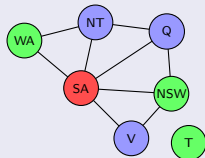
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (Q) e trocamos seu valor



## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (Q) e trocamos seu valor

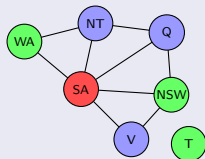




# CSP – Busca Local

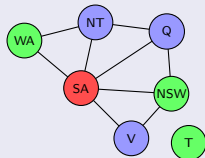
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos



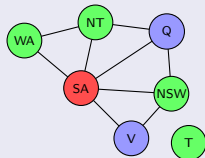
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (NT) e trocamos seu valor



## *Min-conflicts* – Exemplo

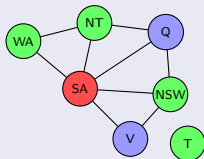
- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (NT) e trocamos seu valor



# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

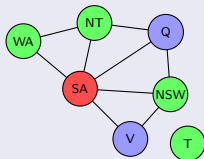
- Verificamos novamente os conflitos



# CSP – Busca Local

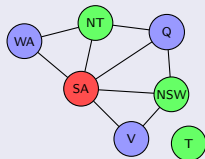
## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (WA) e trocamos seu valor



## *Min-conflicts* – Exemplo

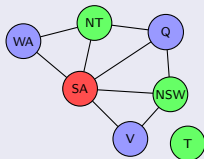
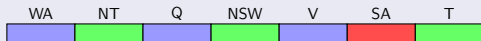
- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (WA) e trocamos seu valor



# CSP – Busca Local

## *Min-conflicts* – Exemplo

- Verificamos novamente os conflitos
- Escolhemos uma variável conflitante (WA) e trocamos seu valor
- Achamos uma resposta



## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos



## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos
- Ex: Agendamento de voos

## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos
- Ex: Agendamento de voos
  - Em uma semana, podemos ter que escalonar milhares de voos e tripulantes

## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos
- Ex: Agendamento de voos
  - Em uma semana, podemos ter que escalonar milhares de voos e tripulantes
  - Mas um mau tempo imprevisto pode alterar todo o problema

## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos
- Ex: Agendamento de voos
  - Em uma semana, podemos ter que escalonar milhares de voos e tripulantes
  - Mas um mau tempo imprevisto pode alterar todo o problema
  - Teremos que consertar a agenda com o menor número possível de mudanças (*min-conflicts*)

## Vantagem

- Pode ser usada em ambientes de tempo real para problemas dinâmicos
- Ex: Agendamento de voos
  - Em uma semana, podemos ter que escalonar milhares de voos e tripulantes
  - Mas um mau tempo imprevisto pode alterar todo o problema
  - Teremos que consertar a agenda com o menor número possível de mudanças (*min-conflicts*)
  - Basta rodarmos o algoritmo começando da agenda atual

# Referências

- Russell, S.; Norvig P. (2010): Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall. 3a ed.
- Slides do livro:  
<http://aima.eecs.berkeley.edu/slides-pdf/>
- <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-034Spring-2005/LectureNotes/index.htm>