

DCC638 - Introdução à Lógica Computacional  
2023.2

# Lógica Proposicional: Aplicações, Equivalências

Área de Teoria DCC/UFMG

# Aplicações da Lógica Proposicional

# Aplicações da lógica proposicional: Introdução

- A lógica tem importantes aplicações na matemática, ciência da computação, e diversas outras disciplinas:
  - ➊ tradução de sentenças em linguagem natural, frequentemente ambíguas, para uma linguagem precisa,
  - ➋ especificação de circuitos lógicos,
  - ➌ solução de quebra-cabeças (o que é essencial para inteligência artificial),
  - ➍ automatização do processo de construção de demonstrações matemáticas,
  - ➎ ...
- Nesta seção vamos exemplificar algumas destas aplicações práticas da lógica proposicional.

# Traduzindo sentenças em linguagem natural

- Sentenças em linguagem natural são frequentemente ambíguas, o que pode causar problemas de comunicação.
- Traduzir sentenças em linguagem natural para proposições compostas remove a ambiguidade.
- Uma vez traduzidas para proposições lógicas, estas sentenças podem ser analisadas quanto ao seu valor de verdade.

# Traduzindo sentenças em linguagem natural

- Exemplo 1 Seja a sentença em linguagem natural:

*“Você não pode andar na montanha russa se você tiver menos que 1,50m de altura, a menos que você tenha mais de 16 anos.”*

Podemos traduzí-la para uma proposição composta, usamos as seguintes proposições:

- $q$  : “você pode andar na montanha russa”,
- $r$  : “você tem menos que 1,50m de altura”,
- $s$  : “você tem mais de 16 anos”.

A sentença em linguagem natural é, então, traduzida para:

$$(r \wedge \neg s) \rightarrow \neg q.$$

(Note que esta não é a única maneira de representar esta sentença.)



# Especificação de sistemas

- Traduzir sentenças de linguagem natural para linguagem lógica é parte essencial da especificação de sistemas de hardware e software.

**Exemplo 2** Expresse a especificação abaixo como uma proposição composta.

*“A resposta automática não pode ser enviada quando o sistema de arquivos está cheio.”*

# Especificação de sistemas

- Traduzir sentenças de linguagem natural para linguagem lógica é parte essencial da especificação de sistemas de hardware e software.

**Exemplo 2** Expresse a especificação abaixo como uma proposição composta.

*“A resposta automática não pode ser enviada quando o sistema de arquivos está cheio.”*

**Solução.** Podemos traduzir a especificação para uma proposição composta, usando as seguintes proposições:

- $r$  : “a resposta automática pode ser enviada”,
- $c$  : “o sistema de arquivos está cheio”.

# Especificação de sistemas

- Traduzir sentenças de linguagem natural para linguagem lógica é parte essencial da especificação de sistemas de hardware e software.

**Exemplo 2** Expresse a especificação abaixo como uma proposição composta.

*“A resposta automática não pode ser enviada quando o sistema de arquivos está cheio.”*

**Solução.** Podemos traduzir a especificação para uma proposição composta, usando as seguintes proposições:

- $r$  : “a resposta automática pode ser enviada”,
- $c$  : “o sistema de arquivos está cheio”.

A especificação fica, então, traduzida para:

$$c \rightarrow \neg r.$$



# Especificação de sistemas

- Especificações de sistemas devem ser **consistentes**.
  - Não devem conter requisitos conflitantes.
  - Senão, seria possível derivar uma contradição.

Quando as especificações não são consistentes, não é possível desenvolver um sistema que satisfaça todos os requisitos.

- Exemplo 3

 Determine se a seguinte especificação de sistema é consistente:
  - *"A mensagem de diagnóstico é armazenada no buffer ou é retransmitida."*
  - *"A mensagem de diagnóstico não está armazenada no buffer."*
  - *"Se a mensagem de diagnóstico estiver armazenada no buffer, ela será retransmitida."*

# Especificação de sistemas

- Especificações de sistemas devem ser **consistentes**.
  - Não devem conter requisitos conflitantes.
  - Senão, seria possível derivar uma contradição.

Quando as especificações não são consistentes, não é possível desenvolver um sistema que satisfaça todos os requisitos.

- **Exemplo 3** Determine se a seguinte especificação de sistema é consistente:
  - *"A mensagem de diagnóstico é armazenada no buffer ou é retransmitida."*
  - *"A mensagem de diagnóstico não está armazenada no buffer."*
  - *"Se a mensagem de diagnóstico estiver armazenada no buffer, ela será retransmitida."*

**Solução.** Para determinar se essas especificações são consistentes, primeiro vamos representar seus componentes como expressões lógicas:

- $p$  : *"A mensagem de diagnóstico é armazenada no buffer."*
- $q$  : *"A mensagem de diagnóstico é retransmitida."*

# Especificação de sistemas

- Exemplo 3 (Continuação)

Assim, a especificação do sistema pode ser reescrita como:

- $p \vee q$

- $\neg p$

- $p \rightarrow q$

Podemos verificar se especificação é consistente com uma tabela da verdade que mostra se é possível satisfazer todos os três requisitos ao mesmo tempo.

# Especificação de sistemas

- Exemplo 3 (Continuação)

Assim, a especificação do sistema pode ser reescrita como:

- $p \vee q$

- $\neg p$

- $p \rightarrow q$

Podemos verificar se especificação é consistente com uma tabela da verdade que mostra se é possível satisfazer todos os três requisitos ao mesmo tempo.

p	q	$p \vee q$	$\neg p$	$p \rightarrow q$
T	T	T	F	T
T	F	T	F	F
F	T	T	T	T
F	F	F	T	T

Note que a especificação do sistema é consistente, e ela é satisfeita quando  $p = F$  e  $q = T$ .



# Especificação de sistemas

- Exemplo 4

 Suponha que adicionemos à especificação do exemplo anterior o seguinte requisito:
  - *“A mensagem de diagnóstico não é retransmitida.”*

Neste caso a especificação do sistema continua consistente?

# Especificação de sistemas

- Exemplo 4 Suponha que adicionemos à especificação do exemplo anterior o seguinte requisito:

- “A mensagem de diagnóstico não é retransmitida.”*

Neste caso a especificação do sistema continua consistente?

**Solução.** O novo requisito pode ser representado logicamente como  $\neg q$ , e a tabela da verdade atualizada é a seguinte.

p	q	$p \vee q$	$\neg p$	$p \rightarrow q$	$\neg q$
T	T	T	F	T	F
T	F	T	F	F	T
F	T	T	T	T	F
F	F	F	T	T	T

Pode-se notar que agora é impossível satisfazer todos os requisitos ao mesmo tempo e, portanto, a especificação do sistema é inconsistente.

# Resolução de problemas e quebra-cabeças

- Exemplo 5 Considere uma ilha em que há apenas dois tipos de habitantes: cavaleiros, que só falam a verdade, e cavilosos, que só falam mentiras.

Você encontra duas pessoas,  $A$  e  $B$ .

A pessoa  $A$  diz:

*“ $B$  só diz a verdade”,*

enquanto a pessoa  $B$  diz:

*“ $A$  e eu somos pessoas de tipos diferentes”.*

Qual o tipo de  $A$  e o tipo de  $B$ ?

**Solução.**

Dever de casa.



# Equivalências Proposicionais



# Equivalência de proposições: Introdução

- Um passo importante na resolução de muitos problemas é a substituição de uma afirmação por outra com mesmo valor de verdade.
- Como determinar se duas fórmulas tem sempre o mesmo valor de verdade?
- Duas fórmulas são equivalentes quando elas têm o mesmo valor para qualquer atribuição de suas variáveis.
  - Ou seja, para quaisquer valores que as proposições atômicas possam tomar.

# Equivalência de proposições: Introdução

- Primeiro, vamos categorizar os tipos de fórmulas:
  - uma **tautologia** é uma expressão sempre verdadeira independentemente o valor de verdade das variáveis que nela aparecem;
  - uma **contradição** é uma expressão sempre falsa independentemente o valor de verdade das variáveis que nela aparecem;
  - uma **contingência** é uma expressão que não é nem uma tautologia, nem uma contradição.
- **Exemplo 6** A tabela da verdade abaixo mostra que  $(p \wedge \neg p)$  é uma contradição, enquanto a expressão  $(p \vee \neg p)$  é uma tautologia.

$p$	$\neg p$	$p \wedge \neg p$	$p \vee \neg p$
$T$	$F$	$F$	$T$
$F$	$T$	$F$	$T$



# Equivalências lógicas

- Duas fórmulas  $\varphi$  e  $\psi$  são **logicamente equivalentes** se  $\varphi \leftrightarrow \psi$  é uma tautologia.

A notação  $\varphi \equiv \psi$  denota que  $\varphi$  e  $\psi$  são logicamente equivalentes.

- Uma maneira de determinar se  $\varphi \equiv \psi$  é usando tabelas da verdade.
- Exemplo 7

 Mostre que  $p \rightarrow q$  e  $\neg p \vee q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

Tabela da verdade para  $p \rightarrow q$  e  $\neg p \vee q$ :

p	q	$\neg p$	$\neg p \vee q$	$p \rightarrow q$
T	T	F	T	T
T	F	F	F	F
F	T	T	T	T
F	F	T	T	T

Como a coluna correspondente a  $p \rightarrow q$  e a coluna correspondente a  $\neg p \vee q$  possuem sempre o mesmo valor de verdade,  $(p \rightarrow q) \leftrightarrow (\neg p \vee q)$  é uma tautologia.

Logo  $p \rightarrow q \equiv (\neg p \vee q)$ .



# Equivalências lógicas

- Exemplo 8 Mostre que  $\neg(p \vee q)$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.** Tabela da verdade para  $\neg(p \vee q)$  e  $\neg p \wedge \neg q$ :

p	q	$p \vee q$	$\neg(p \vee q)$	$\neg p$	$\neg q$	$\neg p \wedge \neg q$
T	T	T	F	F	F	F
T	F	T	F	F	T	F
F	T	T	F	T	F	F
F	F	F	T	T	T	T

Uma vez que a coluna correspondente a  $\neg(p \vee q)$  e a coluna correspondente a  $\neg p \wedge \neg q$  possuem sempre o mesmo valor de verdade,  $\neg(p \vee q) \leftrightarrow (\neg p \wedge \neg q)$  é uma tautologia.

Logo,  $\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$ .

A equivalência que demonstramos é uma das **Leis de De Morgan**:

## Leis de De Morgan

$\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$
$\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$

# Equivalências lógicas

- Exemplo 9 Mostre que  $p \vee (q \wedge r)$  e  $(p \vee q) \wedge (p \vee r)$  são logicamente equivalentes.

**Solução.** Tabela da verdade para  $p \vee (q \wedge r)$  e  $(p \vee q) \wedge (p \vee r)$ :

p	q	r	$q \wedge r$	$p \vee (q \wedge r)$	$p \vee q$	$p \vee r$	$(p \vee q) \wedge (p \vee r)$
T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	F	F	T	T	T	T
T	F	T	F	T	T	T	T
T	F	F	F	T	T	T	T
F	T	T	T	T	T	T	T
F	T	F	F	F	T	F	F
F	F	T	F	F	F	T	F
F	F	F	F	F	F	F	F

Como as colunas correspondentes a  $p \vee (q \wedge r)$  e  $(p \vee q) \wedge (p \vee r)$  possuem sempre o mesmo valor de verdade,  $p \vee (q \wedge r) \equiv (p \vee q) \wedge (p \vee r)$ . •

A equivalência que demonstramos é a **lei da distributividade da disjunção sobre a conjunção**.

# Equivalências lógicas

- Algumas equivalências lógicas importantes:

Nome	Equivalência
Leis de identidade	$p \wedge T \equiv p$ $p \vee F \equiv p$
Leis de dominância	$p \wedge F \equiv F$ $p \vee T \equiv T$
Leis de idempotência	$p \wedge p \equiv p$ $p \vee p \equiv p$
Lei da dupla negação	$\neg(\neg p) \equiv p$
Leis de comutatividade	$p \wedge q \equiv q \wedge p$ $p \vee q \equiv q \vee p$
Leis de associatividade	$(p \wedge q) \wedge r \equiv p \wedge (q \wedge r)$ $(p \vee q) \vee r \equiv p \vee (q \vee r)$
Leis de distributividade	$p \wedge (q \vee r) \equiv (p \wedge q) \vee (p \wedge r)$ $p \vee (q \wedge r) \equiv (p \vee q) \wedge (p \vee r)$
Leis de De Morgan	$\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$ $\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$
Leis de absorção	$p \vee (p \wedge q) \equiv p$ $p \wedge (p \vee q) \equiv p$
Leis da negação	$p \wedge \neg p \equiv F$ $p \vee \neg p \equiv T$

# Equivalências lógicas

- Equivalências lógicas envolvendo proposições condicionais:

Equivalências
$p \rightarrow q \equiv \neg p \vee q$
$p \rightarrow q \equiv \neg q \rightarrow \neg p$
$p \vee q \equiv \neg p \rightarrow q$
$p \wedge q \equiv \neg(p \rightarrow \neg q)$
$\neg(p \rightarrow q) \equiv p \wedge \neg q$
$(p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r) \equiv p \rightarrow (q \wedge r)$
$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r) \equiv (p \vee q) \rightarrow r$
$(p \rightarrow q) \vee (p \rightarrow r) \equiv p \rightarrow (q \vee r)$
$(p \rightarrow r) \vee (q \rightarrow r) \equiv (p \wedge q) \rightarrow r$

- Equivalências lógicas envolvendo proposições bicondicionais:

Equivalências
$p \leftrightarrow q \equiv (p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$
$p \leftrightarrow q \equiv \neg p \leftrightarrow \neg q$
$p \leftrightarrow q \equiv (p \wedge q) \vee (\neg p \wedge \neg q)$
$\neg(p \leftrightarrow q) \equiv p \leftrightarrow \neg q$

# Usos das Leis de De Morgan

- A lei

$$\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$$

diz que a negação da disjunção é a conjunção das negações.

- Exemplo 10 Use as Leis de De Morgan para negar a proposição:

*“Danilo vai assistir a Star Wars ou vai assistir a O Senhor dos Anéis.”*



# Usos das Leis de De Morgan

- A lei

$$\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$$

diz que a negação da disjunção é a conjunção das negações.

- Exemplo 10 Use as Leis de De Morgan para negar a proposição:

*“Danilo vai assistir a Star Wars ou vai assistir a O Senhor dos Anéis.”*

**Solução.** Esta proposição pode ser escrita como  $p \vee q$ , onde  $p$  é *“Danilo vai assistir a Star Wars”*, e  $q$  é *“Danilo vai assistir a O Senhor dos Anéis”*.

Pela lei de De Morgan, a negação é  $\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$ , que se traduz em

*“Danilo não vai assistir a Star Wars e nem vai assistir a O Senhor dos Anéis.”*



# Usos das Leis de De Morgan

- A lei de De Morgan

$$\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$$

diz que a negação da conjunção é a disjunção das negações.

- Exemplo 11 Use as Leis de De Morgan para negar a proposição:

*“Estela tem um celular e um computador.”*

**Solução.** Esta proposição pode ser escrita como  $p \wedge q$ , onde  $p$  é *“Estela tem um celular”*, e  $q$  é *“Estela tem um computador”*.

Pelas Leis de De Morgan, a negação é  $\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$ , que se traduz em

*“Estela não tem um celular ou ela não tem um computador.”*



# Construindo novas equivalências lógicas

- A tabela de verdade de uma fórmula com  $n$  variáveis tem  $2^n$  linhas.
- Para  $n$  grande, é ineficiente construir a tabela da verdade. Por exemplo:
  - ❶ Quanto  $n = 3$ , temos  $2^n = 8$
  - ❷ Quando  $n = 10$ , temos  $2^n = 1024$
- Uma alternativa é utilizar equivalências lógicas já conhecidas para derivar novas equivalências lógicas.

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 12 Mostre que  $\neg(p \rightarrow q)$  e  $p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\neg(p \rightarrow q) \equiv$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 12 Mostre que  $\neg(p \rightarrow q)$  e  $p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\neg(p \rightarrow q) \equiv \neg(\neg p \vee q) \quad (\text{pela tabela de equiv. de condicionais})$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 12 Mostre que  $\neg(p \rightarrow q)$  e  $p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\begin{aligned}\neg(p \rightarrow q) &\equiv \neg(\neg p \vee q) && \text{(pela tabela de equiv. de condicionais)} \\ &\equiv \neg(\neg p) \wedge \neg q && \text{(pelas Leis de De Morgan)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 12 Mostre que  $\neg(p \rightarrow q)$  e  $p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\begin{aligned}\neg(p \rightarrow q) &\equiv \neg(\neg p \vee q) && \text{(pela tabela de equiv. de condicionais)} \\ &\equiv \neg(\neg p) \wedge \neg q && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv p \wedge \neg q && \text{(pela lei da dupla negação)}\end{aligned}$$

Note a intuição por trás dessa equivalência:  
dizer que uma implicação é falsa ( $\neg(p \rightarrow q)$ ) é o mesmo que dizer que sua hipótese é verdadeira mas sua conclusão é falsa ( $p \wedge \neg q$ ).



# Construindo novas equivalências lógicas

- **Exemplo 13** Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) \equiv$$



# Construindo novas equivalências lógicas

- **Exemplo 13** Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) \equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) \quad (\text{pelas Leis de De Morgan})$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

**Solução.**

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (p \vee \neg q) && \text{(pela lei da dupla negação)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (p \vee \neg q) && \text{(pela lei da dupla negação)} \\ &\equiv (\neg p \wedge p) \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(pela lei da distributividade)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (p \vee \neg q) && \text{(pela lei da dupla negação)} \\ &\equiv (\neg p \wedge p) \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(pela lei da distributividade)} \\ &\equiv F \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(porque } \neg p \wedge p \equiv F \text{)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (p \vee \neg q) && \text{(pela lei da dupla negação)} \\ &\equiv (\neg p \wedge p) \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(pela lei da distributividade)} \\ &\equiv F \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(porque } \neg p \wedge p \equiv F) \\ &\equiv (\neg p \wedge \neg q) \vee F && \text{(pela lei da comutatividade)}\end{aligned}$$

# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 13 Mostre que  $\neg(p \vee (\neg p \wedge q))$  e  $\neg p \wedge \neg q$  são logicamente equivalentes.

## Solução.

$$\begin{aligned}\neg(p \vee (\neg p \wedge q)) &\equiv \neg p \wedge \neg(\neg p \wedge q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (\neg(\neg p) \vee \neg q) && \text{(pelas Leis de De Morgan)} \\ &\equiv \neg p \wedge (p \vee \neg q) && \text{(pela lei da dupla negação)} \\ &\equiv (\neg p \wedge p) \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(pela lei da distributividade)} \\ &\equiv F \vee (\neg p \wedge \neg q) && \text{(porque } \neg p \wedge p \equiv F) \\ &\equiv (\neg p \wedge \neg q) \vee F && \text{(pela lei da comutatividade)} \\ &\equiv \neg p \wedge \neg q && \text{(pela lei de identidade)}\end{aligned}$$



# Construindo novas equivalências lógicas

- Exemplo 14 Mostre que  $(p \wedge q) \rightarrow (p \vee q)$  é uma tautologia.

**Solução.**

$$\begin{aligned}(p \wedge q) \rightarrow (p \vee q) &\equiv \neg(p \wedge q) \vee (p \vee q) && \text{(equivalência de condicionais)} \\ &\equiv (\neg p \vee \neg q) \vee (p \vee q) && \text{(pela Lei de De Morgan)} \\ &\equiv (\neg p \vee p) \vee (\neg q \vee q) && \text{(comutatividade e associatividade)} \\ &\equiv T \vee T && \text{(pela lei de negação)} \\ &\equiv T && \text{(pela lei de dominância)}\end{aligned}$$

