LÓGICA MATEMÁTICA AULA 26-10-2015

Universidade Federal de Goiás

Seminários

Lógicas não clássicas (Grupos de 3 alunos, tempo de apresentação 15 min.)

1. Lógica Temporal
2. Lógica Fuzzy
3. Dedução Natural
4. Lógica Linear
5. Tableux
6. Lógica Modal
7. Prolog
8. Lógica Paraconsistente
9. Lógica intuicionista

Exemplo de argumento

Se eu ganhar na Loteria, serei rico
Eu ganhei na Loteria
Logo, sou rico

Quais as premissas?
Qual a conclusão?

Argumentação válida

- **Argumentos válidos:** logicamente corretos
- **Argumentos não válidos:** logicamente incorretos

Tarefa central da lógica é permitir a discriminação entre argumentos válidos e argumentos não válidos

Distinção entre VERDADE E VALIDEZ

- A **verdade ou a falsidade** são propriedades das **proposições**
- A concepção de verdade não é única
- Uma proposição é verdadeira quando se adequa com a realidade.

  A proposição “O ferro é duro” é verdadeira se, e somente se, o ferro é duro.

A **lógica não tem muito a dizer sobre a verdade ou a falsidade das proposições**. Esta será afirmada com base em algum método, ou como um dogma, ou como resultado de senso comum, mas sempre por razões extralógicas.

Proposição

- “vem de propor” que significa submeter à apreciação
- requerer um juízo
- **sentença declarativa** – algo que será declarado por meio de termos, palavras ou símbolos (conteúdo poderá ser considerado verdadeiro ou falso)
- “a Terra é maior que a Lua” → proposição com lógico é verdadeiro

  Valor lógico → um dos dois possíveis juízos: verdadeiro (V) ou falso (F)
- “Feliz ano novo!” → proposição verdadeira ou falsa?
  - Nenhuma, pois não se trata de uma sentença para a qual se possa atribuir um valor lógico.

NÃO SÃO Proposição

- Sentenças exclamativas:

  “Caramba!” ;

  “Feliz aniversário!”

- Sentenças interrogativas:

  “como é o seu nome?” ;

  “o jogo foi de quanto?”

- Sentenças imperativas:

  “Estude mais.” :

  “Leia aquele livro”.

... não serão estudadas.

Exercícios

Quais das seguintes sentenças expressam uma proposição (têm valor de verdade)? Justifique.

1. Existe vida em outras galáxias.
2. 2 + 2 = 5.
3. 2 + 2 = 4.
4. Silêncio!
5. O atual presidente do Brasil é do PT.
6. Alguém pode me dizer as horas?
7. O primeiro europeu a pisar no continente americano não foi Colombo.
8. A China é um país distante.
9. Lisboa não é a capital de Portugal.
10. Eu moro no Rio de Janeiro.
11. Prometo que te devolvo o livro amanhã.
12. Quem me dera passar em lógica!

Exercícios

1. Existe vida em outras galáxias.

   Proposição (embora não saibamos se é verdadeira ou falsa)
2. 2 + 2 = 5.

   Proposição (com valor de verdade: falsa)
3. 2 + 2 = 4.

   Proposição (com valor de verdade: verdadeira)
4. Silêncio!

   Sentença imperativa: não expressa nenhuma proposição (sem valor de verdade)
5. O atual presidente do Brasil é do PT.

   Proposição (com valor de verdade: verdadeira)
6. Alguém pode me dizer as horas?

   Sentença interrogativa: não expressa nenhuma proposição (sem valor de verdade)

Exercícios

7. O primeiro europeu a pisar no continente americano não foi Colombo.

   Proposição (com valor de verdade: falsa) [talvez seja verdadeira...]

8. A China é um país distante.

   Proposição (com valor de verdade contextual: é verdadeira ou falsa dependendo do local de enunciação).

9. Lisboa não é a capital de Portugal.

   Proposição (com valor de verdade: falsa)

10. Eu moro no Rio de Janeiro.

    Proposição (com valor de verdade contextual: é verdadeira ou falsa dependendo do sujeito da enunciação).

11. Prometo que te devolvo o livro amanhã.

    Sentença promissiva: não expressa nenhuma proposição (sem valor de verdade)

12. Quem me dera passar em lógica!

    Sentença exclamativa: não expressa nenhuma proposição (sem valor de verdade)

Distinção entre VERDADE E VALIDEZ

Validez é a noção central da lógica.

Validez se aplica aos **argumentos** e depende apenas da forma dos mesmos (independentemente do conteúdo e da verdade ou não de suas proposições)

Exemplo:

Rafael viajará de carro ou de trem.

<u>Não viajou de carro</u>

Viajou de trem.

Embora não tenhamos estudado método algum que nos permita demonstrar que esse argumento é válido, podemos perceber intuitivamente que o mesmo o é.

Exemplo:

A lua é de queijo ou de mercúrio.
Não é de queijo
É de mercúrio.

Podemos ainda de maneira genérica escrever:

A é B ou C
A não é B
A é C

Este **argumento é sempre válido**, quaisquer que sejam A, B, e C, donde a validez do argumento ser dada pela forma do mesmo.

Validez aplica-se apenas aos **argumentos dedutivos**.

Exercício

No argumento abaixo: identifique as **premissas** e a **conclusão** e diga se o **argumento é válido ou inválido**.

"É verdade que alguns políticos usam argumentos falaciosos. **Ora,** somente os bons oradores são políticos, e alguns bons oradores usam argumentos falaciosos."

Exercício

No argumento abaixo: identifique as premissas e a conclusão e diga se o argumento é válido ou inválido.

É verdade que alguns políticos usam argumentos falaciosos. Ora, somente os bons oradores são políticos, e alguns bons oradores usam argumentos falaciosos.

Premissa 1: Somente os bons oradores são políticos. [Todos os políticos são bons oradores]

Premissa 2: Alguns bons oradores usam argumentos falaciosos.

Conclusão: Logo, alguns políticos usam argumentos falaciosos.

Argumento inválido: é possível que os bons oradores que usam argumentos falaciosos não sejam políticos.

ARGUMENTOS DEDUTIVOS E INDUTIVOS

ARGUMENTO INDUTIVO

A prata é bom condutor de eletricidade.
A platina é bom condutor de eletricidade.
O cobre é bom condutor de eletricidade.
Todos os metais são bons condutores de eletricidade.

ARGUMENTO DEDUTIVO

Todo mamífero tem um coração.
Todos os cavalos são mamíferos.
Todos os cavalos tem um coração.

ARGUMENTOS DEDUTIVOS E INDUTIVOS

Método para distinguir um argumento dedutivo de um indutivo: adicionemos premissas à premissa ou ao conjunto de premissas dadas.

- Se as **novas premissas debilitam ou fortalecem a conclusão**, trata-se de um **argumento indutivo**.
- Se a **conclusão** continua sendo afirmada com a **mesma força** que tinha no argumento original, trata-se de um **argumento dedutivo**.

Um **argumento dedutivo** será sempre **válido** ou **não válido.**

ARGUMENTOS DEDUTIVOS VÁLIDOS

Validade: forma **Veracidade:** conteúdo

Para um argumentos dedutivos ser válidos:

- Argumento com **premissas verdadeiras** e uma conclusão **verdadeira**.
- Argumento com algumas ou todas as **premissas falsas** e uma **conclusão verdadeira**.
- Argumento com algumas ou todas as **premissas falsas** e uma conclusão **falsa**.

Quarta combinação:

- Argumento com **premissas verdadeiras** e uma **conclusão falsa**.

Porém esta combinação**, premissas verdadeiras e conclusão falsa não pode existir numa forma válida**.

Exemplos de argumentos dedutivos válidos

(1) Todos os diamantes são duros. (verdadeira)
Alguns diamantes são jóias. (verdadeira)
Alguma jóias são duras. (verdadeira)

(2)Todos os gatos tem asas. (falsa)
Todos os pássaros são gatos. (falsa)
Todos os pássaros tem asas. (verdadeira)

(3)Todos os gatos tem asas. (falsa)
Todos os cães são gatos. (falsa)
Todos os cães tem asas. (falsa)

ARGUMENTOS DEDUTIVOS VÁLIDOS

Todos os arués são bobós.
Todos os caiapós são arués.
Todos os caiapós são bobós.

É válido, não importando o significado de arués, bobós e caiapós, não importando portanto se as proposições são verdadeiras ou falsas. Logo a forma define a validade ou não do argumento.

A forma desse argumento é:

Todos os A são B
Todos os C são A
Todos os C são B

Dizer que um argumento é válido é dizer que o mesmo tem forma válida.

Conclusão: ARGUMENTOS DEDUTIVOS VÁLIDOS

É possível nos argumentos dedutivos válidos:

- Argumento com premissas verdadeiras e uma conclusão verdadeira.
- Argumento com algumas ou todas as premissas falsas e uma conclusão verdadeira.
- Argumento com algumas ou todas as premissas falsas e uma conclusão falsa.

- Toda informação ou conteúdo fatual da conclusão, já estava nas premissas.

ARGUMENTOS DEDUTIVOS NÃO VÁLIDOS

Os argumentos logicamente incorretos ou não válidos podem combinar verdade e falsidade das premissas e da conclusão de modo arbitrário.

Isto significa que **um argumento não válido pode ter premissas verdadeiras e conclusão também verdadeira**.

O fato de as premissas e a conclusão serem verdadeiras não significa estarem as premissas sustentando a conclusão.

Argumento não válido

O **argumento abaixo tem premissas e conclusão verdadeiras** mas é um **argumento não válido pois as premissas não sustentam a conclusão**:

(1) Todos os mamíferos são mortais. (verdadeira)

Todos os cães são mortais. (verdadeira)

Todos os cães são mamíferos. (verdadeira)

A forma deste argumento é: (2)

Todos os A são B

Todos os C são B

Todos os C são A

Para mostrar que este argumento é não válido, ou é um argumento de forma não válida, vamos substituir A por mamíferos, B por mortais e C por cobras.

(3) Todos os mamíferos são mortais. (verdadeira)

Todas as cobras são mortais. (verdadeira)

Todas as cobras são mamíferos. (falsa)

O argumento (3) tem a mesma forma que o (1), mas as premissas do (3) são verdadeiras e a conclusão é falsa. Como premissas verdadeiras e conclusão falsa nunca pode ocorrer num argumento de forma válida, este argumento tem forma não válida, isto é, é não válido.

Falácia

Um argumento de **forma não válida** é chamado de **falácia**.

As falácias perigosas, aquelas que merecem maior atenção, são aquelas que tem aspecto enganoso, se assemelham às formas válidas podendo assim ser confundidas com argumentos válidos.

Exercícios

Distinguir, entre os argumentos abaixo, os dedutivos dos indutivos. Além disso, posicione-se diante do argumento, dizendo, acerca dos argumentos dedutivos, se são válidos ou não.

1) A grande maioria dos entrevistados declarou que não votará no candidato da oposição. Logo, a oposição não vai ganhar as eleições.
2) João é solteiro. Logo, João não é casado.
3) Há fumaça saindo do supermercado e vários carros do Corpo de Bombeiros indo naquela direção. Podemos concluir, portanto, que há um incêndio no supermercado.
4) Todos os miriápodes são marcianos. Todos os narápodes são miriápodes. Logo, todos os narápodes são marcianos.

1) A grande maioria dos entrevistados declarou que não votará no candidato da oposição. Logo, a oposição não vai ganhar as eleições.

Argumento indutivo.

2) João é solteiro. Logo, João não é casado.

Argumento dedutivo e informalmente válido.

3) Há fumaça saindo do supermercado e vários carros do Corpo de Bombeiros indo naquela direção. Podemos concluir, portanto, que há um incêndio no supermercado.

Argumento indutivo.

4) Todos os miriápodes são marcianos. Todos os narápodes são miriápodes. Logo, todos os narápodes são marcianos.

Argumento dedutivo válido, independentemente do significado desses termos.

5) Todos os portugueses são latinos. Luís Figo é latino, portanto Luís Figo é português.

6) Ou bem uma obra é religiosa, ou bem é científica, sendo que é impossível que uma obra seja simultaneamente religiosa e científica. A Bíblia é uma obra religiosa. Logo, não é uma obra científica.

7) *ABC* é um triângulo equilátero. Logo, cada um dos seus ângulos internos tem 60 graus.

5) Todos os portugueses são latinos. Luís Figo é latino, portanto Luís Figo é português.

Argumento dedutivo inválido (falácia da afirmação do consequente).

6) Ou bem uma obra é religiosa, ou bem é científica, sendo que é impossível que uma obra seja simultaneamente religiosa e científica. A Bíblia é uma obra religiosa. Logo, não é uma obra científica.

Argumento dedutivo e válido.

7) *ABC* é um triângulo equilátero. Logo, cada um dos seus ângulos internos tem 60 graus.

Argumento dedutivo e informalmente válido (conceitual ou semântico).

Lógica Clássica e Lógica Simbólica

No século XIX, alguns matemáticos e filósofos:

- George Boole (1815–1864)
- Augustus De Morgan (1806–1871)
- Gottlob Frege (1848–1925)
- Bertrand Russell (1872–1970)
- Alfred North Whitehead (1861– 1947)

A lógica formal era insuficiente para alcançar o rigor necessário no estudo da matemática, pois se apoiava na linguagem natural (do cotidiano, como a língua portuguesa – **bastante imprecisa e tornaria a lógica vulnerável a erros de deduções**)

Criar lógica simbólica, formada por uma linguagem estrita e universal, constituída por símbolos específicos.

O filósofo **Wittgeinstein** acreditava que **diversos problemas da filosofia só existiam devido a falhas na linguagem utilizada**, e que, portanto, eles seriam resolvidos à medida que melhorassemos a linguagem.

Foi partindo desse princípio que Wittgeinstein ajudou a desenvolver a **lógica matemática, como uma linguagem rigorosa e livre de ambiguidades**.

Paradoxos de Zenão (490–430a.c.)

Exemplos clássicos de como uma linguagem imprecisa pode trazer problemas inerentes a ela são os paradoxos, que são afirmações que apresentam, em si, contradições aparentemente insolúveis.

Paradoxos de Zenão de Eleia afirmavam não haver movimento:

- O corredor Aquiles nunca alcança a tartaruga, quando postos a correr simultaneamente, com a tartaruga à frente. Pois, cada vez que Aquiles alcança a posição onde a tartaruga estava anteriormente, essa última, por sua vez, já avança um pouco, de modo que nunca será possível alcançá-la.

- A flecha que voa nunca sai do lugar, pois, em cada instante de tempo ocupa uma só posição no espaço. Logo, ela está imóvel em todo o tempo.

Os argumentos de Zenão eram, na época, difíceis de serem rebatidos, por mais absurda que fosse sua conclusão.

Quando **um argumento parece correto, e sua conclusão é claramente falsa, mesmo partindo de premissas corretas**, temos um **sofisma**.

É necessário rever nossa linguagem e processo de argumentação se quisermos eliminar esses erros de raciocínio.

No caso dos paradoxos de Zenão, o **sofisma é oriundo da dificuldade de conceituar a infinitude**. Sendo o infinito um dos primeiros conceitos matemáticos totalmente abstratos, nota-se a necessidade de uma linguagem aperfeiçoada para tratar esses conceitos de maneira precisa.

Lógica Simbólica

- A utilização de uma **simbologia matemática** ajuda a expor, com maior clareza, as estruturas **lógicas das proposições e dos argumentos**, que podem não ficar suficientemente claras se expressas em linguagem natural.
- Uma **outra vantagem da utilização de uma linguagem simbólica para a Lógica é a possibilidade de utilização de recursos computacionais no tratamento de enunciados e argumentos**; os computadores digitais se mostram bastante adequados à manipulação de símbolos, enquanto apresentam extrema dificuldade no tratamento de linguagem natural. Em 1965, um pesquisador chamado Robinson desenvolveu um procedimento computacional para a dedução, chamado Resolução, evidenciando as vantagens da utilização de uma linguagem simbólica para a Lógica.

Períodos da Lógica

A lógica como a conhecemos hoje - e ao contrário do que se poderia pensar ao associarmos lógica e computação - tem sua origem a milhares de anos.

A grosso modo, podemos dividir a linha do desenvolvimento da lógica em três pontos marcantes:

- Período Aristotélico
- Período Booleano
- Período Atual

Períodos da Lógica (continuação)

Período Aristotélico (± 390 A.C. a ± 1840 D.C.)

- Criada pelo filósofo Aristóteles (384 - 322 A.C.)
- Baseada na teoria do Silogismo
- Primeira publicação é o Organon (Instrumento da ciência)
- Primeiro uso de sentenças enunciadas exclusivamente na forma afirmativa e negativa, resultando em grande simplificação e clareza.
- Ainda neste período, Leibniz (1646 - 1716) usou em vários de seus trabalhos o conceito de Calculus Rationator (ou, lógica matemática)

Períodos da Lógica (continuação)

Período Booleano (± 1840 a ± 1910)

- Iniciada por George Boole (1815 - 1864) e Augustus De Morgan (1806 a 1871)
- Criadores dos conceitos atuais de Lógica Simbólica
- Criação da Álgebra da Lógica ou Álgebra Booleana
- Embora existisse a mais de 100 anos, a primeira aplicação prática da lógica booleana se deu em 1937, quando foi utilizada para a análise de circuitos e relés.

Períodos da Lógica (continuação)

Período Atual (± 1910 até os dias de hoje)

- Iniciada por Bertrand Russel (1872 - 1970) e Alfred North Whitehead (1861 - 1947)
- Surgimento de outros tipos de lógica não-clássicas: lógicas paraconsistentes, lógica Fuzzy
- Utilização maciça da lógica em aplicações de Inteligência Artificial
- Surgimento do Paradigma Lógico de Programação e a linguagem PROLOG.

Proposições e Predicados

Proposições

"eu ganhei na Loteria",

"José atirou uma pedra no lago",

"Sócrates é um homem".

Predicados

"todos os homens são mortais"

"alguns astronautas foram à Lua"

"nem todos os gatos caçam ratos".

Os termos "homens", "astronautas" e "gatos" são conceitos; não se referem a nenhum homem, astronauta ou gato em particular, mas sim ao conjunto de propriedades que faz com que um objeto esteja em uma categoria ou em outra

Como a Lógica que trata apenas das proposições singulares é mais simples que a que trata também com conjuntos de objetos, os autores preferiram separar o estudo da Lógica Matemática em duas partes:

- o **Cálculo Proposicional, ou Lógica Sentencial**, que se ocupa das proposições singulares
- o **Cálculo de Predicados, ou Lógica dos Predicados**, que trata dos conjuntos de objetos e suas propriedades.

Princípios da Lógica

Principio de Identidade:

O que é, é

Toda proposição verdadeira é sempre verdadeira, não podendo ser ora verdadeira ora falsa.

Princípio da Não Contradição

Um objeto não pode, simultaneamente, ser e não ser

Nenhuma proposição pode ser verdadeira e falsa simultaneamente.

Princípio do Terceiro Excluído

Todo objeto é ou não é

Toda proposição é necessariamente verdadeira ou falsa, não existindo outra possibilidade.

Esses **princípios são válidos em todas as chamadas lógicas clássicas, incluindo a lógica proposicional e a lógica de primeira ordem (lógica de predicado**s)

A negação de um ou mais desses princípios dá origem a outras lógicas, chamadas genericamente de Lógicas Não-Clássicas

Lógicas Não-Clássicas

- As lógicas fracas, como a **intuicionista**, que **não aceita o Principio do Terceiro Excluído**, e, para a qual, **a dupla negação não equivale à afirmação**, o que pode ser exemplificado pelo enunciado **"não tenho nada"** onde o termo "não" ao invés de se contrapor ao termo "nada" o reforça.
- Nos últimos anos as lógicas não clássicas têm sofrido enorme desenvolvimento, em virtude, principalmente, de novas aplicações, algumas das quais na área computacional, como a lógica nebulosa.

Raciocínio Lógico

À luz dos princípios da lógica, imagine que queiramos **analisar se a frase seguinte**, escrita na linguagem natural, é verdadeira ou falsa???

Eu estou mentindo

Raciocínio Lógico

À luz dos princípios da lógica, imagine que queiramos **analisar se a frase seguinte**, escrita na linguagem natural, é verdadeira ou falsa.

Eu estou mentindo

Se a frase é verdadeira, então é falsa, pois ela própria atesta isso.

Se dissermos que a frase é falsa, o que isso significa? Que não é verdade o que a frase diz, ou seja, significa que não é uma mentira. Então a frase é verdadeira.

Portanto, se a frase for verdadeira, ela será falsa, e, se for falsa, será verdadeira.

Então ou será simultaneamente verdadeira e falsa, ou não será nem verdadeira nem falsa, entrando em conflito ou com o **princípio da não-contradição** ou com o **princípio do terceiro excluído**.

Paradoxo do barbeiro de Servilha

Havia em Servilha um barbeiro que só cortava o cabelo de todas as pessoas que não cortavam o próprio cabelo.

Pergunta: o barbeiro de Servilha cortava o próprio cabelo?

Raciocínio Lógico

- Se eu não tenho carro, a afirmação “meu carro não é azul” é verdadeira ou falsa ?

- Existe um ditado popular que afirma que “toda regra tem exceção”. Considerando que essa frase é, por sua vez, também uma regra, podemos garantir que é verdadeira ? Ou que é falsa ?

- Um rei resolveu dar a um prisioneiro a oportunidade de obter a liberdade. Levou−o até uma sala, com duas portas de saída, chamadas A e B, cada uma com um guarda. Disse: “Uma das portas leva à liberdade, enquanto a outra leva à fôrca; alem disso, um dos guardas fala sempre a verdade, enquanto o outro só fala mentiras. Voce pode fazer uma única pergunta a um dos guardas e escolher uma porta para sair.” O prisioneiro pensou durante alguns segundos; depois, dirigiu−se a um dos guardas e disse: “Se eu perguntasse a seu companheiro qual a porta que leva à liberdade, o que ele me diria ?”. Depois de alguns segundos, o guarda respondeu: “A”. “Obrigado”, disse o prisioneiro, e passou pela porta B. O prisioneiro obteve a liberdade ou foi para a fôrca ? Como saber ?

Lógica das proposições

- Fórmulas atômicas: são os elementos “indivisíveis” da lógica, e as representamos pelas letras minúsculas, geralmente a partir da letra p:

$$p, q, r, s, \ldots$$

- Quando precisamos usar muitas fórmulas atômicas, e as letras tornam-se insuficientes, costumamos usar a letra p indexada por um número natural:

$$p_0, p_1, p_2, \ldots$$

Conectivos lógicos

São os símbolos que nos permitem construir novas fórmulas a partir de outras

Operação	Conectivo	Símbolo
Conjunção	e	$\wedge$
Disjunção	ou	$\vee$
Negação	não	$\neg$ ou $\sim$
Condicional	se ... então	$\rightarrow$
Bicondicional	se e somente se	$\leftrightarrow$

Símbolo | para ou exclusivo

Delimitadores: São os parênteses, que servem para evitar ambiguidades na linguagem

(parêntese esquerdo

) parêntese direito

A partir das sentenças (proposições atômicas):

Está chovendo

A rua está molhada

Podemos construir as sentenças (proposições compostas):

Não está chovendo

Se está chovendo, então a rua está molhada

Fórmulas

- Todas as proposições são fórmulas.
- Se α e β são fórmulas, então também são fórmulas:
  - $\neg\alpha$ (negação)
  - $\alpha \land \beta$ (conjunção)
  - $\alpha \lor \beta$ (disjunção)
  - $\alpha \rightarrow \beta$ (implicação)

Passos para formalização de sentenças

- Identificamos as palavras da sentença que correspondem a conectivos.
- Identificamos as partes da sentença que correspondem a proposições atômicas e associamos a cada uma delas um símbolo proposicional.
- Escrevemos a fórmula correspondente à sentença, substituindo suas proposições atômicas pelos respectivos símbolos proposicionais e seus conectivos lógicos pelos respectivos símbolos conectivos

Exemplo de sentenças e argumentos

Está chovendo.
Se está chovendo, então a rua está molhada.
Se a rua está molhada, então a rua está escorregadia.

Vocabulário

c : “está chovendo”
m : “a rua está molhada”
e : “a rua está escorregadia”

Formalização

$\Delta = \{c, c \rightarrow m, m \rightarrow e\}$

Um argumento é uma sequência de premissas seguida de uma conclusão

Se neva, então faz frio.

Está nevando.
Logo, está fazendo frio.

Vocabulário

n : “neve”

f : “frio”

Formalização

$\{n \rightarrow f, n\} \models f$

Exercício: Formalização de argumentos

(1) Se o time joga bem, ganha o campeonato.
(2) Se o time não joga bem, o técnico é culpado.
(3) Se o time ganha o campeonato, os torcedores ficam contentes.
(4) Os torcedores não estão contentes.
(5) Logo, o técnico é culpado.

Escreva as fórmulas correspondentes às sentenças e formalize o argumento.

Resolução

Seja

p : “o time joga bem”
q : “o time ganha o campeonato”
r : “o técnico é culpado”
s : “os torcedores ficam contentes”

(1) $p \rightarrow q$
(2) $\neg p \rightarrow r$
(3) $q \rightarrow s$
(4) $\neg s$
(5) r

Finalmente, podemos representar o argumento como:

$$\{p\rightarrow q,\ \neg p\rightarrow r,\ q\rightarrow s,\ \neg s\} \models r,$$

sendo que a notação $\Delta \models \varphi$ estabelece que a fórmula φ é uma consequência lógica do conjunto de fórmulas Δ.